

ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Практикум

Для студентов учреждений
высшего образования

ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Практикум

Допущено
Министерством образования Республики Беларусь
в качестве учебного пособия
для студентов учреждений высшего образования
по машиностроительным специальностям

Под редакцией А.А. Жолобова



Минск
«Вышэйшая школа»
2015

УДК 621(076.58)

ББК 34.5я73

Т38

Авторы: *А.А. Жолобов, А.М. Федоренко, Ж.А. Мрочек, В.Т. Высоцкий, В.А. Лукашенко, А.В. Капитонов*

Рецензенты: кафедра «Технология металлов» Белорусского государственного аграрного технического университета (доктор технических наук, профессор *Л.М. Акулович*); доктор физико-математических наук, профессор Белорусского государственного университета *В.И. Прокошин*

Все права на данное издание защищены. Воспроизведение всей книги или любой ее части не может быть осуществлено без разрешения издательства.

Технология машиностроения : практикум : учеб. пособие /
Т38 А. А. Жолобов [и др.] ; под ред. А. А. Жолобова. — Минск :
Вышэйшая школа, 2015. — 335 с. : ил.
ISBN 978-985-06-2410-9.

Написано в соответствии с программой дисциплины «Технология машиностроения». Состоит из пяти глав и приложений информационного и справочного характера. Охватывает проблемы технологии машиностроения, проектирования операций механической обработки и разработки технологических процессов изготовления деталей, а также сборки узлов машин и механизмов.

Для студентов и преподавателей учреждений высшего образования по машиностроительным специальностям, научных и инженерно-технических работников, магистрантов и аспирантов. Может быть полезно для учащихся средних специальных учебных заведений.

УДК 621(076.58)

ББК 34.5я73

ISBN 978-985-06-2410-9

© Оформление. УП «Издательство
“Вышэйшая школа”», 2015

ПРЕДИСЛОВИЕ

В последние годы в различных издательствах Республики Беларусь вышло большое количество учебников и учебных пособий, направленных на улучшение подготовки студентов высших учебных заведений машиностроительного профиля по дисциплине «Технология машиностроения» или смежных с ней дисциплин. Тем не менее, несмотря на большое количество изданных в этом направлении книг, до настоящего времени отсутствовало комплексное учебное пособие со справочно-информационными приложениями для решения задач технологического характера на практических занятиях, которым в последнее время уделяется все большее внимание в подготовке современных специалистов.

В настоящем учебном пособии предложены многовариантные задачи технологии машиностроения, проектирования операций механической обработки и технологических процессов изготовления типовых деталей, а также сборки определенных комплектов и узлов машин. Как правило, они сопровождаются примерами решения. Все разделы практикума соответствуют образовательным стандартам, учебным планам и программам по дисциплине «Технология машиностроения» или ее отраслевым частям.

Авторы надеются, что настоящее учебное пособие будет способствовать лучшему освоению студентами одного из самых главных предметов в данной сфере.

1. ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

1.1. Структура технологических процессов и операций

Общие положения

Согласно ГОСТ 3.1109–82 *технологический процесс* — это часть производственного процесса, направленная на изменение предмета труда и (или) определение его состояния.

Технологические процессы подразделяются в соответствии с методами их выполнения. Могут быть технологические процессы механической обработки, штамповки, сборки, литья, термической обработки, нанесения покрытий гальваническими и химическими методами и т.п.

Любой технологический процесс представляет собой совокупность технологических операций.

Технологическая операция — законченная часть технологического процесса, выполняемая на одном рабочем месте. Основным признаком операции является непрерывность ее выполнения, т.е. отсутствие перехода к обработке другого изделия. В свою очередь операции могут состоять из установов, позиций, технологических и вспомогательных переходов.

Установ — часть технологической операции, выполняемая при неизменном закреплении обрабатываемых заготовок или собираемой сборочной единицы.

Позиция — фиксированное положение, занимаемое неизменно закрепленной обрабатываемой заготовкой или собираемой сборочной единицей совместно с приспособлением относительно инструмента или неподвижной части оборудования для выполнения определенной части операции. Понятие «позиция» относят в первую очередь к обработке на многопозиционных станках.

Технологический переход — законченная часть технологической операции, выполняемая одними и теми же средствами технологического оснащения при постоянных технологических режимах и установке.

Технологические переходы в свою очередь состоят из рабочего и вспомогательного ходов.

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

Вспомогательный ход — законченная часть технологического перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки, необходимого для подготовки рабочего хода.

Вспомогательный переход — законченная часть технологической операции, состоящая из действий человека и (или) оборудования, которые не сопровождаются изменением свойств предметов труда, но необходимы для выполнения технологического перехода (например, установка заготовки, снятие детали, смена инструмента и т.п.).

При проектировании технологического процесса и оформлении технологической документации важно определить структуру технологических операций и правильно сформулировать их наименование и содержание. Запись наименования и содержания операций следует выполнять в соответствии с требованиями ГОСТ 3.1702–79.

Наименование операции определяется видом используемого оборудования и записывается в именительном падеже. Перед наименованием операции указывается ее код (например, 4101 — агрегатная, 4110 — токарная, 4114 — токарно-винторезная, 4132 — внутришлифовальная и т.д.).

Структура технологических процессов и операций представлена на рис. 1.1.

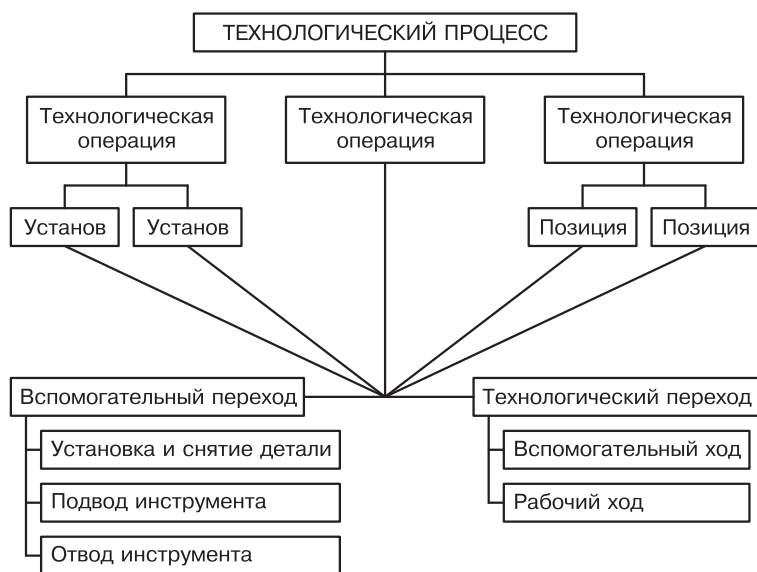


Рис. 1.1. Структура технологических процессов и операций

Коды различных техпроцессов и операций представлены в приложении А.

В *содержание операции* (перехода) должно входить следующее:

- ключевое слово, отражающее способ обработки и записываемое в форме неопределенного глагола (например, *фрезеровать, сверлить, шлифовать* и т.д.);

- данные о размерах или обрабатываемых поверхностях при возможных двух формах записи. При обозначении собственно поверхностей используют сокращенную форму записи (например, *фрезеровать поверхность 1*). При обозначении размеров (на продолжении размерных линий) применяют полную форму записи (например, *фрезеровать поверхность, выдерживая размеры 1, 2*).

Пример определения структуры технологической операции

Установить структуру сверлильной операции, выполняемой на вертикально-сверлильном станке. Заготовка установлена в приспособлении с поворотным кондуктором (рис. 1.2).

Рассматриваемая операция состоит из одного установа, двух позиций и двух технологических переходов. Код операции – 4214.

Наименование операции – вертикально-сверлильная.

Решение

Так как обозначены обрабатываемые поверхности, то используется сокращенная форма записи содержания переходов (рис. 1.2, а):

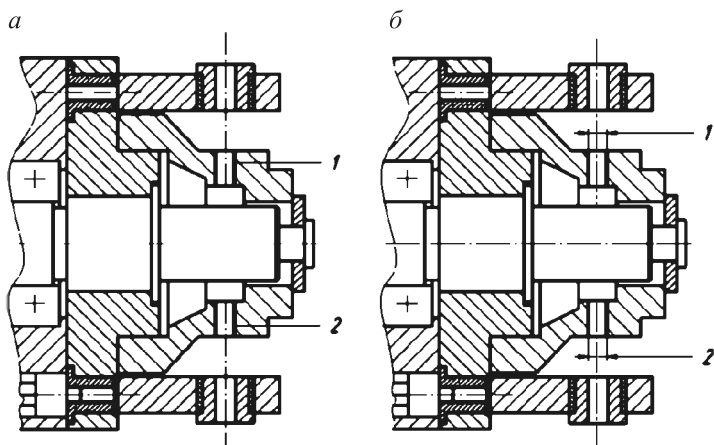


Рис. 1.2. Схема установки заготовки:

а – обрабатываемые поверхности 1, 2; б – размеры обрабатываемых поверхностей

Позиция I. Переход 1. Сверлить отверстие 1. Позиция II. Переход 2. Сверлить отверстие 2.

Так как обозначены размеры обрабатываемых поверхностей, то используется полная форма записи содержания переходов (рис. 1.2, б):

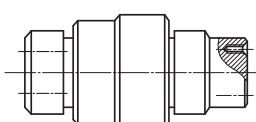
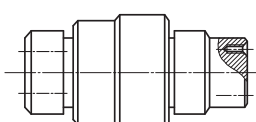
Позиция I. Переход 1. Сверлить отверстие, выдерживая размер 1. Позиция II. Переход 2. Сверлить отверстие, выдерживая размер 2.

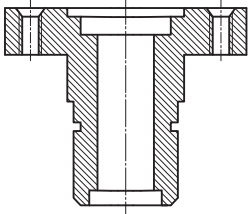
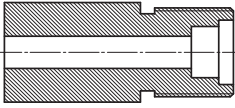
Задачи по установлению структуры технологических операций

Установить структуру технологических операций, определить их наименование и присвоить коды. Исходные данные приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Исходные данные

Вариант	Исходные данные		Эскиз
	Поверхности	Оборудование	
1	2	3	4
1	Наружные цилиндрические поверхности, фаски, канавки	Токарно-винторезный станок	
2		Токарный много-резцовый станок	
3		Токарный станок с ЧПУ	
4	Резьбовые отверстия в торцах с двух сторон	Радиально-сверлильный станок	
5		Вертикально-сверлильный станок	
6		Агрегатный двух-сторонний станок	
7	Наружная цилиндрическая поверхность, центральное отверстие	Токарно-винторезный станок	
8		Токарный, многошпиндельный горизонтальный станок	
9		Токарно-револьверный станок	
10	Шесть радиально расположенных отверстий	Вертикально-сверлильный станок	
11		Радиально-сверлильный станок	
12		Агрегатный станок	

1	2	3	4
13	Наружные цилиндрические поверхности, центральное отверстие	Токарный многошпиндельный вертикальный полуавтомат	
14		Токарно-винторезный станок	
15	Четыре резьбовых отверстия	Радиально-сверлильный станок	
16		Агрегатный станок	
17	Наружные и внутренние цилиндрические поверхности, резьбовая поверхность	Токарно-револьверный станок	
18		Токарно-винторезный станок	
19		Токарный многошпиндельный горизонтальный полуавтомат	
20		Токарный станок с ЧПУ	

1.2. Определение типа производства

Общие положения

Основным принципом построения технологических процессов является принцип совмещения технических, экономических и организационных задач, решаемых в конкретных производственных условиях. Наименьшие затраты при изготовлении изделий могут быть достигнуты только в случае построения технологического процесса в полном соответствии с типом данного производства и его возможными техническими условиями.

В зависимости от номенклатуры, регулярности, стабильности и объема выпуска изделий современное производство подразделяется на единичное, массовое и серийное.

Единичное производство характеризуется широкой номенклатурой и малым объемом выпуска изделий. На предприятиях единичного производства количество выпускаемых изделий исчисляется штуками и десятками штук, на рабочих местах выполняются разнообразные технологические операции, повторяющиеся нерегулярно или не повторяющиеся совсем.

Массовое производство характеризуется узкой номенклатурой и большим объемом выпуска изделий, непрерывно изготавливаемых в течение продолжительного времени.

Серийное производство характеризуется ограниченной номенклатурой изделий, изготавливаемых периодически повторяемыми партиями. Различают мелкосерийное, среднесерийное и крупносерийное производство. По всем технологическим и производственным признакам серийное производство занимает промежуточное положение между единичным и массовым производством. При этом мелкосерийное производство близко к единичному, а крупносерийное — к массовому. Тип производства можно определять по различным методикам (варианты 1 и 2).

Вариант 1

При проектировании технологического процесса необходимо установить тип производства. На начальной стадии тип производства устанавливают ориентировочно, используя данные, представленные в табл. 1.2 [1, 2].

Таблица 1.2

Ориентировочный выбор типа производства

Тип производства	Количество обрабатываемых деталей одного наименования в год		
	массой свыше 30 кг	массой от 8 до 30 кг	массой до 8 кг
Единичное	До 5	До 10	До 100
Мелкосерийное	Свыше 5 до 100	Свыше 10 до 200	Свыше 100 до 500
Среднесерийное	Свыше 100 до 300	Свыше 200 до 500	Свыше 500 до 5000
Крупносерийное	Свыше 300 до 1000	Свыше 500 до 5000	Свыше 5000 до 50 000
Массовое	Свыше 1000	Свыше 5000	Свыше 50 000

После разработки технологического процесса, расчета норм времени по операциям и числа рабочих мест тип производства уточняют по коэффициенту закрепления операций $K_{з.о}$:

$$K_{з.о} = \frac{\sum O_i}{\sum P_i}, \quad (1.1)$$

где $\sum O_i$ — суммарное число различных операций; $\sum P_i$ — суммарное число рабочих мест по операциям.

Для определения числа рабочих мест устанавливают расчетное количество станков по операциям:

$$m_{p_i} = \frac{N \cdot t_{шт(шт.-к)}}{60 \cdot F_d \cdot \eta_{з.н}}, \quad (1.2)$$

где N — годовой объем выпуска изделий, шт.; $t_{шт(шт.-к)}$ — штучное (штучно-калькуляционное) время на операции, мин; F_d — дей-

ствительный годовой фонд времени работы оборудования, ч;
 $\eta_{з.н}$ – нормативный коэффициент загрузки оборудования.

Нормативный коэффициент загрузки оборудования принимают:

- для мелкосерийного производства $\eta_{з.н} = 0,8...0,9$;
- среднесерийного производства $\eta_{з.н} = 0,75...0,85$;
- массового и крупносерийного производства $\eta_{з.н} = 0,65...0,75$.

При расчетах можно принимать усредненное значение $\eta_{з.н} = 0,75...0,8$.

Расчетное количество станков по операциям округляют до ближайшего большего целого числа и получают принятое количество станков $m_{пр i}$; при этом $\sum P_i = \sum m_{пр i}$.

Фактический коэффициент загрузки оборудования по операциям равен

$$\eta_{з.ф i} = \frac{m_{р i}}{m_{пр i}}. \quad (1.3)$$

Количество операций, которые можно выполнить на каждом рабочем месте, определяется из выражения

$$O_i = \frac{\eta_{з.н}}{\eta_{з.ф i}}. \quad (1.4)$$

Действительный годовой фонд времени работы оборудования зависит от его типа. Данные приведены в табл. 1.3.

Таблица 1.3

Фонд времени работы оборудования (в две смены)

Оборудование	Номинальный годовой фонд, ч	Действитель- ный годовой фонд, ч
Металлорежущие станки 1–30-й катего- рий ремонтной сложности	4154	4029
Металлорежущие станки свыше 30-й ка- тегории ремонтной сложности	4154	3904
Автоматические линии	4154	3738
Поточные линии	4154	3987
Рабочие места без оборудования (верста- ки, столы)	4154	4154

Рассчитанный коэффициент закрепления операций сравни-
 вают с его нормативным показателем и определяют тип произ-
 водства. Нормативные коэффициенты закрепления операций
 следующие:

- массовое производство — $K_{3,0} \leq 1$;
- крупносерийное производство — $1 < K_{3,0} \leq 10$;
- среднесерийное производство — $10 < K_{3,0} \leq 20$;
- мелкосерийное производство — $20 < K_{3,0} \leq 40$;
- единичное производство — $K_{3,0}$ не регламентируется [4], но составляет более 40.

Кроме того, для серийного производства определяют величину партии единовременного запуска, а для массового — такт выпуска.

Величина партии (расчетная):

$$n_p = \frac{N \cdot a}{F'_d}, \quad (1.5)$$

где N — годовой объем выпуска изделий одного наименования, шт.; a — периодичность запуска изделий в производство, дн.; F'_d — число рабочих дней в году, $F'_d = 254$ дня.

Рекомендуется следующая периодичность запуска:

- для крупных изделий — $a = 3-6$ дн.;
- средних изделий — $a = 12$ дн.;
- мелких изделий — $a = 24$ дн.

Размер партии должен быть скорректирован с учетом удобства в планировании и организации производства (его целесообразно принимать не менее сменной выработки).

Корректировка размера партии состоит в определении расчетного числа смен на обработку всей партии деталей на основных рабочих местах. Расчетное число смен при этом равно

$$C_p = \frac{t_{\text{шт.-к.ср}} \cdot n_p}{476 \cdot \eta_{3,н}}, \quad (1.6)$$

где $t_{\text{шт.-к.ср}}$ — среднее штучно-калькуляционное время по основным операциям, мин; 476 — действительный фонд времени работы оборудования в смену, мин.

Расчетное число смен округляют в большую сторону до принятого числа смен ($C_{\text{пр}}$) и определяют принятое число деталей в партии:

$$n_{\text{пр}} = \frac{476 \cdot \eta_{3,н} \cdot C_{\text{пр}}}{t_{\text{шт.-к.ср}}}. \quad (1.7)$$

Такт выпуска (мин/шт.) определяют из зависимости

$$T_v = \frac{60 \cdot F_d}{N}. \quad (1.8)$$

Вариант 2

Существует также и вторая методика определения типа производства, в соответствии с которой определяют коэффициент закрепления операций, величину партии и периодичность запуска изделий в производство [3, 4]. При этом коэффициент закрепления операций

$$K_{3.0} = \frac{\sum_{i=1}^n O_i}{\sum_{i=1}^n P_i}, \quad (1.9)$$

где $\sum_{i=1}^n O_i$ — суммарное число различных операций за месяц по участку из расчета на одного сменного мастера; $\sum_{i=1}^n P_i$ — явочное число рабочих участка, выполняющих различные операции при работе в одну смену; n — число операций обработки детали; i — номер операции обработки данной детали.

Условное число однотипных операций, выполняемых на одном рабочем месте в течение месяца при работе в одну смену, определяют так, как и в варианте 1. Нормативный коэффициент загрузки оборудования в среднем принимают равным 0,8.

Коэффициент загрузки станка проектируемой (заданной) операции:

$$\eta_{3.ф i} = \frac{t_{шт.-к i} \cdot N_M}{60 \cdot F_M \cdot K_B}, \quad (1.10)$$

где $t_{шт.-к i}$ — штучно-калькуляционное время выполнения операции, мин; N_M — месячный объем выпуска заданного изделия при работе в одну смену, шт.; F_M — месячный эффективный фонд времени работы оборудования в одну смену, ч; K_B — коэффициент выполнения норм ($K_B = 1, 1, \dots, 1, 5$).

Месячный фонд времени при работе участка в одну смену можно определить из зависимости

$$F_M = \frac{F_\Gamma}{24}, \quad (1.11)$$

где F_Γ — годовой фонд времени работы оборудования. При величине $F_\Gamma = 4015$ ч получают

$$F_M = \frac{4015}{24} = 167 \text{ ч.}$$

Подставляя значения F_M и K_B в формулу (1.10), получают, что коэффициент загрузки станков по операциям при значении $K_B = 1,1$ составляет

$$\eta_{3.фi} = \frac{t_{шт.-кi} \cdot N_M}{11\,022}, \quad (1.12)$$

и соответственно число однотипных операций, выполняемых на одном станке в течение месяца при работе в одну смену:

$$O_i = \frac{11\,022 \eta_{3.н}}{t_{шт.-кi} \cdot N_M}. \quad (1.13)$$

Необходимое число рабочих для обслуживания в течении одной смены одного станка, загруженного по плановому нормативному коэффициенту,

$$P_i = \frac{O_i \cdot N_M \cdot t_{шт.-кi}}{60 \cdot K_B \cdot \Phi}, \quad (1.14)$$

где Φ — месячный фонд времени рабочего, занятого в течение 22 рабочих дней ($\Phi = 176$ ч).

Подставляя в формулу (1.14) значения O_i (формула (1.13)) и Φ , получают, что P_i может быть определено как

$$P_i = 0,95 \cdot \eta_{3.н}, \quad (1.15)$$

а явочное число рабочих на участке при работе в одну смену

$$\sum_{i=1}^n P_i = P_i \cdot n_o. \quad (1.16)$$

При групповой форме организации в серийном производстве (крупно-, средне- и мелкосерийном) запуск изделий осуществляют партиями с определенной периодичностью. В данном случае рассчитывают предельно допустимые размеры партии n_1 и n_2 . При этом

$$n_1 = \frac{F_{э.м} \cdot n_o \cdot K_B}{K_{3.о} \cdot \sum_{i=1}^n t_{шт.-кi}}, \quad (1.17)$$

$$n_2 = \frac{F_{э.м} \cdot K_B}{K_{м.в} \cdot \sum_{i=1}^n t_{шт.-кi}}, \quad (1.18)$$

где $F_{э.м}$ — эффективный месячный фонд времени работы участка, мин, $F_{э.м} = 10\,560$ мин; n_o — число операций механической

обработки; $K_{3,0}$ — коэффициент закрепления операций;
 $\sum_{i=1}^n t_{\text{шт.-к } i}$ — суммарная трудоемкость техпроцесса, мин; $K_{\text{м.в}}$ — коэффициент, учитывающий затраты межоперационного времени в зависимости от габаритов и сложности изделий, $K_{\text{м.в}} = 1,5$.

Параметр n_1 характеризует производительность и уровень специализации рабочих мест, а параметр n_0 учитывает и ограничивает объем незавершенного производства и связывания оборотных средств. Меньший из двух параметров обозначают $n_{\min}$, а больший — $n_{\max}$.

В дальнейшем для расчета партии учитывается $n_{\min}$, который может быть округлен до размера партии сборочного производства ($n_{\text{сб}}$).

Далее определяют расчетную периодичность запуска деталей в производство:

$$a_p = \frac{22 \cdot n_{\min}}{N_{\text{м}}}. \quad (1.19)$$

Затем согласовывают a_p с ее допустимыми значениями $a_{\text{н}}$ по данным, представленным в табл. 1.4 [4].

Таблица 1.4

Нормативные значения периодичности запуска

Месяцы	1/22	1/8	1/4	1/2	1	3	6	12
$a_{\text{н}}$, дни	1	2,5	5	11	22	66	132	264

Ближайшее значение $a_{\text{н}}$ принимают к расчету.

Размер партии определяют по формуле

$$n = \frac{N_{\text{м}} \cdot a_{\text{н}}}{22}. \quad (1.20)$$

При этом должно быть выполнено условие

$$n_{\min} \leq n \leq n_{\max}. \quad (1.21)$$

Примеры определения типа производства

Расчеты по варианту 1

Пример 1. Определить тип производства для технологического процесса механической обработки вала массой 6,5 кг при годовом объеме выпуска 12 000 шт. Технологический процесс состоит из следующих четырех операций: 005 — фрезерно-цент-

ровальная – $t_{шт} = 1,8$ мин; 010 – токарно-копировальная – $t_{шт} = 2,8$ мин; 015 – резьбофрезерная – $t_{шт} = 2,6$ мин; 020 – шлифовальная – $t_{шт} = 1,8$ мин. Обработку производят на поточной линии.

Решение

По табл. 1.2 ориентировочно устанавливаем тип производства – крупносерийное. Уточняем тип производства по коэффициенту закрепления операций.

Определяем расчетное количество станков по операциям, принимая $F_d = 3987$ ч и $\eta_{з.н} = 0,75$:

- для операции 005

$$m_{p1} = \frac{N \cdot t_{шт}}{60 \cdot F_d \cdot \eta_{з.н}} = \frac{12\,000 \cdot 1,8}{60 \cdot 3987 \cdot 0,75} = 0,12;$$

- операции 010

$$m_{p2} = \frac{12\,000 \cdot 2,8}{60 \cdot 3987 \cdot 0,75} = 0,19;$$

- операции 015

$$m_{p3} = \frac{12\,000 \cdot 2,6}{60 \cdot 3987 \cdot 0,75} = 0,17;$$

- операции 020

$$m_{p4} = \frac{12\,000 \cdot 1,8}{60 \cdot 3987 \cdot 0,75} = 0,12.$$

Принятое количество станков:

- для операции 005 – $m_{пр1} = 1$;
- операции 010 – $m_{пр2} = 1$;
- операции 015 – $m_{пр3} = 1$;
- операции 020 – $m_{пр4} = 1$.

Суммарное число рабочих мест

$$\sum P_i = m_{пр1} + m_{пр2} + m_{пр3} + m_{пр4} = 1 + 1 + 1 + 1 = 4.$$

Определяем фактические коэффициенты загрузки:

- для операции 005

$$\eta_{з.ф1} = \frac{m_{p1}}{m_{пр1}} = \frac{0,12}{1} = 0,12;$$

- операции 010

$$\eta_{3.ф 2} = \frac{m_{п 2}}{m_{пр 2}} = \frac{0,19}{1} = 0,19;$$

- операции 015

$$\eta_{3.ф 3} = \frac{m_{п 3}}{m_{пр 3}} = \frac{0,17}{1} = 0,17;$$

- операции 020

$$\eta_{3.ф 4} = \frac{m_{п 4}}{m_{пр 4}} = \frac{0,12}{1} = 0,12.$$

Определяем число операций, которые можно выполнить на каждом рабочем месте:

- для операции 005

$$O_1 = \frac{\eta_{3.н}}{\eta_{3.ф 1}} = \frac{0,75}{0,12} = 6,25;$$

- операции 010

$$O_2 = \frac{\eta_{3.н}}{\eta_{3.ф 2}} = \frac{0,75}{0,19} = 3,95;$$

- операции 015

$$O_3 = \frac{\eta_{3.н}}{\eta_{3.ф 3}} = \frac{0,75}{0,17} = 4,41;$$

- операции 020

$$O_4 = \frac{\eta_{3.н}}{\eta_{3.ф 4}} = \frac{0,75}{0,12} = 6,25.$$

Суммарное число различных операций:

$$\sum O_i = O_1 + O_2 + O_3 + O_4 = 6,25 + 3,95 + 4,41 + 6,25 = 20,86.$$

Определяем коэффициент закрепления операций для рассматриваемого технологического процесса:

$$K_{3.о} = \frac{20,86}{4} = 5,21.$$

Следовательно, производство является крупносерийным.

Расчеты по варианту 2

Пример 2. Определить тип производства и величину партии единовременного запуска для участка, где выполняется пять операций механической обработки деталей, время выполнения которых составляет 5, 6, 8, 7 и 8 мин. Годовой объем выпуска — 3000 шт. Количество деталей в партии сборочного производства $n_{сб} = 20$ шт. Работа двухсменная.

Определяем месячный объем выпуска при работе участка в две смены:

$$N_m = \frac{3000}{12} = 250 \text{ шт.}$$

При этом при работе в две смены месячный объем выпуска в каждую смену составит 125 шт.

Возможное число операций на каждом рабочем месте при $\eta_{з.н} = 0,8$ (1.13) для односменной работы:

$$O_1 = \frac{11\,022 \cdot 0,8}{5 \cdot 125} = 14,1;$$

$$O_2 = \frac{11\,022 \cdot 0,8}{6 \cdot 125} = 11,7;$$

$$O_3 = \frac{11\,022 \cdot 0,8}{8 \cdot 125} = 8,8;$$

$$O_4 = \frac{11\,022 \cdot 0,8}{7 \cdot 125} = 10,0;$$

$$O_5 = \frac{11\,022 \cdot 0,8}{8 \cdot 125} = 8,8.$$

Общее число операций, выполняемых на участке в течение месяца составит

$$\sum_{i=1}^5 O_i = 14,1 + 11,7 + 8,8 + 10 + 8,8 = 53,4.$$

Число рабочих, обслуживающих каждый станок в отдельности (1.15):

$$P_i = 0,95 \cdot 0,8 = 0,76.$$

Явочное число рабочих

$$\sum_{i=1}^5 P_i = 0,76 \cdot 5 = 3,8.$$

Коэффициент закрепления операций (1.9)

$$K_{з.о} = \frac{53,4}{3,8} = 14,05.$$

Следовательно, производство среднесерийное.

Определяем размер партии единовременного запуска и периодичность запуска изделий в производство.

Суммарная трудоемкость операций равна

$$\sum_{i=1}^5 t_{\text{шт.-к } i} = 5 + 6 + 8 + 7 + 8 = 34 \text{ мин.}$$

Принимаем $n_o = 5$ шт.; $K_{м.в} = 1,5$; $K_b = 1,1$; $F_{э.м} = 10\,560$ мин.

По формулам (1.17, 1.18) получим

$$n_1 = \frac{10\,560 \cdot 5 \cdot 1,1}{14,05 \cdot 34} = 121,5 \text{ шт.} \rightarrow (n_{\min});$$

$$n_2 = \frac{10\,560 \cdot 1,1}{1,5 \cdot 34} = 228 \text{ шт.} \rightarrow (n_{\max}).$$

Округляем значение $n_{\min}$ до величины, кратной $n_{сб} = 20$ шт., и принимаем $n_{\min} = 120$ шт.

Расчетную периодичность повторения партий деталей (формула (1.19)) при двухсменной работе N_m нужно удвоить, тогда

$$a_p = \frac{22 \cdot 120}{250} = 10,56 \text{ дн.}$$

По табл. 1.4 принимаем $a_n = 11$ дн.

Рассчитываем размер партии единовременного запуска (формула (1.20)):

$$n = \frac{250 \cdot 11}{22} = 125 \text{ шт.}$$

Проверяем выполнение условия (1.21):

$$120 < 125 < 228.$$

Таким образом, 2 раза в месяц (через 11 рабочих дней) требуется запускать в производство очередную партию деталей в количестве 125 шт.

Задачи по определению типа производства

Определить ориентировочно и уточненно тип производства при работе участка в две смены. Необходимые данные представлены в табл. 1.5–1.14. Расчеты проводить по варианту 1.

Задача 1. Изготавливают зубчатое колесо массой 15 кг. Данные представлены в табл. 1.5.

Таблица 1.5

Исходные данные к задаче 1

Номер операции	Штучное время обработки, мин	Вариант задачи	Годовой объем выпуска, шт.	Организационная форма производства
005	20	1	2000	Станки 1–30-й категорий ремонтной сложности
010	5			
015	10			
020	15			
025	10	2	1000	Станки свыше 30-й категории ремонтной сложности
030	10			
035	12			

Задача 2. Изготавливают вал массой 6 кг. Данные представлены в табл. 1.6.

Таблица 1.6

Исходные данные к задаче 2

Номер операции	Штучное время обработки, мин	Вариант задачи	Годовой объем выпуска, шт.	Организационная форма производства
005	3,5	1	10 000	Станки свыше 30-й категории ремонтной сложности
010	4,6			
015	3,8			
020	8,6			
025	2,8	2	5000	Станки 1–30-й категории ремонтной сложности
030	3,6			
035	2,6			

Задача 3. Изготавливают вал-шестерню массой 20 кг. Данные представлены в табл. 1.7.

Таблица 1.7

Исходные данные к задаче 3

Номер операции	Штучное время обработки, мин	Вариант задачи	Годовой объем выпуска, шт.	Организационная форма производства
005	2,8	1	200	Станки 1–30-й категорий ремонтной сложности
010	6,4			
015	3,8			
020	2,6			
025	8,2			
030	4,0	2	800	Станки свыше 30-й категории ремонтной сложности
035	3,8			

Задача 4. Изготавливают корпус массой 35 кг. Данные представлены в табл. 1.8.

Таблица 1.8

Исходные данные к задаче 4

Номер операции	Штучное время обработки, мин	Вариант задачи	Годовой объем выпуска, шт.	Организационная форма производства
005	6,5	1	50	Станки 1–30-й категорий ремонтной сложности
010	2,4			
015	6,8			
020	10			
025	3,8			
030	4,6	2	250	Станки свыше 30-й категории ремонтной сложности
035	3,4			

Задача 5. Изготавливают шкворень массой 2,6 кг. Данные представлены в табл. 1.9.

Таблица 1.9

Исходные данные к задаче 5

Номер операции	Штучное время обработки, мин	Вариант задачи	Годовой объем выпуска, шт.	Организационная форма производства
005	3,9	1	80	Станки 1–30-й категорий ремонтной сложности
010	2,8			
015	3,6			
020	2,9			
025	3,1			
030	4,5	2	250	Станки свыше 30-й категории ремонтной сложности
035	5,2			

Задача 6. Изготавливают вал массой 12 кг. Данные представлены в табл. 1.10.

Таблица 1.10

Исходные данные к задаче 6

Номер операции	Штучное время обработки, мин	Вариант задачи	Годовой объем выпуска, шт.	Организационная форма производства
005	3,4	1	200	Станки 1–30-й категории ремонтной сложности
010	3,8			
015	4,6			
020	7,0			
025	2,8			
030	6,0	2	400	Станки свыше 30-й категории ремонтной сложности
035	4,8			
040	5,2			

Задача 7. Изготавливают ступицу массой 10 кг. Данные представлены в табл. 1.11.

Таблица 1.11

Исходные данные к задаче 7

Номер операции	Штучное время обработки, мин	Вариант задачи	Годовой объем выпуска, шт.	Организационная форма производства
005	6,6	1	200	Станки свыше 30-й категории ремонтной сложности
010	2,2			
015	3,6			
020	4,1			
025	3,6			
030	2,1	2	5000	Поточная линия
035	2,2			

Задача 8. Изготавливают вал-шестерню коническую массой 8,5 кг. Данные представлены в табл. 1.12.

Таблица 1.12

Исходные данные к задаче 8

Номер операции	Штучное время обработки, мин	Вариант задачи	Годовой объем выпуска, шт.	Организационная форма производства
005	3,6	1	2500	Станки свыше 30-й категории ремонтной сложности
010	5,8			
015	3,1			
020	4,2			
025	4,6			
030	3,1	2	5000	Поточная линия
035	4,6			

Задача 9. Изготавливают стакан массой 3,2 кг. Данные представлены в табл. 1.13.

Таблица 1.13

Исходные данные к задаче 9

Номер операции	Штучное время обработки, мин	Вариант задачи	Годовой объем выпуска, шт.	Организационная форма производства
005	3,8	1	400	Станки 1–30-й категорий ремонтной сложности
010	4,2			
015	4,6			
020	3,9			
025	2,8			
030	4,1	2	4500	Поточная линия
035	2,6			

Задача 10. Изготавливают шестерню коническую массой 10 кг. Данные представлены в табл. 1.14.

Таблица 1.14

Исходные данные к задаче 10

Номер операции	Штучное время обработки, мин	Вариант задачи	Годовой объем выпуска, шт.	Организационная форма производства
005	4,5	1	400	Станки 1–30-й категорий ремонтной сложности
010	2,0			
015	3,6			
020	4,2			
025	6,6			
030	3,8	2	6000	Поточная линия
035	3,1			

Задачи 11–20. Определить тип производства и величину партии единовременного запуска для участка при $\eta_{з.н} = 0,8$. Данные представлены в табл. 1.15. Расчеты проводить по варианту 2.

Таблица 1.15

Исходные данные к задачам 11–20

Номер задачи	Номер операции	Время обработки, мин	Вариант задачи	Годовой объем выпуска, шт.	Число смен	$n_{сб}$, шт.
1	2	3	4	5	6	7
11	005	6	1	3500	2	10
	010	4	2	2400	1	20
	015	5	3	3000	2	20
	020	8	4	3600	2	10
	025	7				

1	2	3	4	5	6	7
12	005	10	1	8400	1	10
	010	12	2	8400	2	20
	015	14	3	6000	2	10
	020	10	4	7200	1	20
	025	11				
13	005	8	1	6600	1	10
	010	10	2	5400	2	20
	015	11	3	6000	1	10
	020	7	4	4800	2	20
	025	9				
14	005	6	1	4200	2	20
	010	5	2	4560	2	20
	015	5	3	3000	1	10
	020	6	4	3900	1	10
	025	4				
15	005	7	1	4500	1	20
	010	6	2	5000	2	10
	015	7	3	5500	1	20
	020	4	4	6000	2	10
	025	5				
16	005	6	1	3600	2	10
	010	6	2	4600	1	10
	015	5	3	5000	1	20
	020	7	4	7200	2	10
	025	5				
17	005	10	1	9000	1	20
	010	9	2	7000	1	10
	015	11	3	5000	2	20
	020	9	4	6000	1	10
	025	8				
18	005	20	1	2400	1	10
	010	10	2	4800	2	20
	015	15	3	5000	2	10
	020	10	4	3000	1	20
	025	10				
19	005	4	1	480	1	10
	010	4	2	600	1	20
	015	3	3	1200	1	10
	020	5	4	1320	2	10
	025	5				
20	005	6	1	4200	2	20
	010	4	2	2400	1	20
	015	5	3	1800	1	10
	020	7	4	2160	2	10
	025	5				

1.3. Точность и погрешности механической обработки

Общие положения и расчетные зависимости

Погрешности механической обработки вызываются различными причинами систематического и случайного характера. К систематическим погрешностям относятся:

- погрешности, возникающие вследствие неточности, износа и деформации станков;
- погрешности, связанные с неточностью и износом режущего инструмента;
- погрешности формы, возникающие под влиянием закрепления в приспособлении заготовки;
- погрешности, обусловленные температурными деформациями технологической системы, и др.

Необходимо заметить, что наибольшее влияние на точность обработки оказывают погрешности, связанные с неточностью и износом режущего инструмента. Остальные из перечисленных погрешностей либо ничтожно малы, либо учитываются только при выполнении особо точных работ и при обработке нежестких деталей. Систематические погрешности для всех заготовок обрабатываемой партии остаются постоянными или закономерно изменяются при переходе от одной обрабатываемой заготовки к следующей и могут быть заранее учтены.

Случайные погрешности в отличие от систематических имеют для разных заготовок различные значения, что приводит к рассеянию размеров заготовок, обработанных при одних и тех же условиях. Эти погрешности и вызываемые ими рассеяния размеров включают:

- погрешность Δ_m (мгновенную), обусловленную видом обработки и полем ее рассеяния ω_m . Возникновение погрешности Δ_m связано с такими технологическими факторами случайного характера, как неравномерность припуска, неодинаковая твердость материала заготовки, недостаточная жесткость технологической системы, а также погрешность формы детали;
- погрешность установки Δ_y и поле ее рассеяния ω_y , состоящая из трех слагаемых: погрешности базирования $\Delta_б$, погрешности закрепления $\Delta_з$ и погрешности приспособления $\Delta_{пр}$. При этом

$$\Delta_y = \sqrt{\Delta_б^2 + \Delta_з^2 + \Delta_{пр}^2}. \quad (1.22)$$

Погрешность базирования появляется тогда, когда нарушен принцип совмещения (единства) баз, т.е. технологическая база не совпадает с конструкторской или измерительной.

Погрешность закрепления возникает, когда усилие закрепления по направлению совпадает с направлением измерения. Причиной ее появления является деформация стыка между заготовкой и установочными элементами приспособления.

Погрешность приспособления учитывают в том случае, если по технологии одну и ту же поверхность обрабатывают на нескольких операциях в различных приспособлениях. Если поверхность обрабатывают при установке заготовки в одном приспособлении, то эта погрешность не учитывается.

Погрешность настройки Δ_n и поле ее рассеяния ω_n в разных случаях определяют следующим образом.

При использовании мерного режущего инструмента (сверл, зенкеров, разверток, протяжек, пазовых и шпоночных фрез и др.) погрешность настройки определяют по формуле

$$\Delta_n = \sqrt{\Delta_{ин}^2 + \Delta_{у.ин}^2}, \quad (1.23)$$

где $\Delta_{ин}$ — погрешность изготовления инструмента, равная допуску на его изготовление по исполнительному размеру; $\Delta_{у.ин}$ — погрешность установки режущего инструмента (допустимое биение).

Погрешность $\Delta_{у.ин}$ учитывают лишь при жестком креплении инструмента. В случае использования самоцентрирующихся инструментов (плавающих разверток, протяжек и др.) $\Delta_{у.ин} = 0$.

При обработке деталей в специальных приспособлениях на фрезерных станках фреза устанавливается с помощью щупа по установу, закрепленному на его корпусе. Погрешность настройки по установу будет зависеть от совокупного влияния погрешностей изготовления установа $\Delta_э$ и щупа $\Delta_{щ}$, а также от точности установки фрезы по щупу $\Delta_{у.ин}$. В этом случае погрешность настройки определяют аналогично определению ее при статической настройке по эталону:

$$\Delta_n = \sqrt{\Delta_э^2 + \Delta_{щ}^2 + \Delta_{у.ин}^2}. \quad (1.24)$$

В случае обработки деталей в приспособлениях, не снабженных установками, расчет погрешности настройки следует проводить по зависимостям и таблицам, предназначенным для динамической настройки по пробным деталям:

$$\Delta_n = \sqrt{\Delta_{рег}^2 + \Delta_{изм}^2 + \Delta_{смещ}^2}, \quad (1.25)$$

где $\Delta_{рег}$ — погрешность регулирования; $\Delta_{изм}$ — погрешность измерения пробных заготовок; $\Delta_{смещ}$ — погрешность, вызываемая смещением центра группирования групповых средних при на-

стройке станков по пробным заготовкам с использованием универсального мерительного инструмента. В свою очередь

$$\Delta_{\text{смещ}} = \Delta_{\text{м}} / \sqrt{m}, \quad (1.26)$$

где m — число пробных заготовок, по которым проводится настройка станка.

Следует заметить, что $\Delta_{\text{смещ}}$ учитывают лишь при динамической настройке по пробным заготовкам в массовом производстве. При других методах настройки $\Delta_{\text{смещ}}$, как правило, не учитывается.

Погрешность $\Delta_{\text{ин}}$, возникающую в результате износа режущего инструмента, определяют по формулам:

- при односторонней обработке (обработка плоскостей)

$$\Delta_{\text{и}} = \frac{u_{\text{о}} \cdot l}{1000}; \quad (1.27)$$

- при двусторонней обработке

$$\Delta_{\text{и}} = \frac{2 \cdot u_{\text{о}} \cdot l}{1000}, \quad (1.28)$$

где $u_{\text{о}}$ — относительный износ инструмента, определяемый по таблицам (мкм/км); l — путь резания, м.

В то же время величину относительного износа инструмента при фрезеровании определяют по формуле

$$u_{\text{о.фр}} = \left(1 + \frac{100}{B} \right) u_{\text{о}}, \quad (1.29)$$

где B — ширина фрезерования, мм.

Расчетные формулы для определения длины пути резания представлены в табл. 1.16 [3].

Таблица 1.16

Расчетные формулы для определения длины пути резания l

Вид обработки	Расчетная формула	Принятые обозначения
1	2	3
Точение	$l = \frac{\pi \cdot d \cdot L \cdot n}{1000 \cdot S_0}$	d — диаметр обрабатываемой поверхности, мм; L — расчетная длина обработки с учетом врезания и перебега инструмента, мм; n — число деталей, обработанных за период

1	2	3
Торцовое фрезерование	$l = \frac{L \cdot B \cdot n}{1000 \cdot S_0}$	стойкости инструмента; S_0 – продольная подача инструмента или детали, мм/об; B – ширина фрезерования или шлифования, мм; D – диаметр режущего инструмента, мм.
Цилиндрическое фрезерование	$l = \frac{\pi \cdot D \cdot L \cdot n}{1000 \cdot S_0}$	
Бесцентровое шлифование с продольной подачей	$l = \frac{\pi \cdot D_{ш.к} \cdot n_{ш.к} \cdot n_{в.к} \cdot L \cdot n}{1000 \cdot S_0}$	$D_{ш.к}$ – диаметр шлифовального круга, мм; $n_{ш.к}$ – частота вращения шлифовального круга в минуту; n – частота вращения ведущего круга; t – припуск на сторону, мм; k – коэффициент на выхаживание, $k = 1, 1, \dots, 1, 3$; n_d – частота вращения детали в минуту; $S_{\text{поп}}$ – поперечная подача на один оборот, мм (на один двойной ход, мм); n_c – число двойных ходов стола в минуту; S_1 – подача круга на один двойной ход (по ширине обрабатываемой поверхности), мм; $L_{\text{пр}}$ – длина рабочей части протяжки
Круглое шлифование с продольной подачей	$l = \frac{\pi \cdot D_{ш.к} \cdot n_{ш.к} \cdot L \cdot t \cdot n \cdot k}{1000 \cdot n_d \cdot S_0 \cdot S_{\text{поп}}}$	
Круглое и бесцентровое шлифование с поперечной подачей	$l = \frac{\pi \cdot D_{ш.к} \cdot n_{ш.к} \cdot t \cdot n \cdot k}{1000 \cdot n_d \cdot S_{\text{поп}}}$	
Плоское шлифование дисковым кругом	$l = \frac{\pi \cdot D_{ш.к} \cdot n_{ш.к} \cdot B \cdot t \cdot n}{1000 \cdot n_c \cdot S_1 \cdot S_{\text{поп}}}$	
Сверление, зенкерование и развертывание	$l = \frac{\pi \cdot D \cdot L \cdot n}{1000 \cdot S_0}$	
Протягивание	$l = \frac{L_{\text{пр}}}{1000}$	

Таким образом, суммарная погрешность обработки может быть определена из зависимости

$$\Delta_{\Sigma} = K \sqrt{\Delta_M^2 + \Delta_y^2 + \Delta_n^2} + \Delta_n, \quad (1.30)$$

где K – коэффициент приведения распределения по закону Гаусса к другим законам (Симпсона, равной вероятности и др.).

Суммарная погрешность должна быть меньше или равной допуску выполняемого размера, т.е.

$$\Delta_{\Sigma} \leq Td, TD, TL, \quad (1.31)$$

где Td , TD , TL – соответственно допуски цилиндрических наружных поверхностей, внутренних поверхностей и линейных размеров.

При выполнении условия (1.31) точность обработки обеспечивается, в противном случае необходимо принимать меры по ее обеспечению.

Необходимо заметить, что подкоренное выражение (1.30) — это случайная часть суммарной погрешности, и если она уже больше допуска выполняемого параметра, то обеспечить точность без радикального изменения технологии нельзя. При этом необходимо изменять установку заготовки, применять более точные методы регулирования и измерения, применять более жесткую технологическую систему и др. Если же случайная часть меньше допуска, то достигнуть обеспечения точности можно, уменьшая систематические погрешности: использованием более износостойких материалов, уменьшением величины обрабатываемой с одной настройки партии заготовок и др.

Необходимые справочные материалы для расчета суммарной погрешности представлены в литературе [5–12] и приложении Б.

Примеры расчета суммарной погрешности обработки

Пример 1. Определить точность поверхности при обтачивании цилиндрической ступени вала $\varnothing 60_{-0,12}$ длиной 110 мм на токарном станке для обрабатываемой партии деталей в качестве 40 шт. Материал детали — сталь 45.

Условия обработки: жесткость станка 10 МН/м; резец с пластиной из твердого сплава Т30К4; припуск 0,5 мм; подача $S_o = 0,1$ мм/об; $P_Y = 60$ Н; настройка по пробным деталям при $m = 5$ (проводится с помощью микрометра); регулировка размеров по лимбу станка с ценой деления 0,05 мм; установка в центрах; длина обработки с учетом врезания и перебега $L = 110$ мм. При расчете из систематических погрешностей следует учесть только погрешность, возникающую вследствие износа инструмента.

Решение

Для расчета используем данные [5]. Суммарная погрешность обработки в этом случае равна

$$\Delta_{\Sigma} = 1,2 \sqrt{\Delta_M^2 + \Delta_Y^2 + \Delta_H^2} + \Delta_{\text{сист}}. \quad (1.32)$$

В рассматриваемом примере $\Delta_{\text{сист}} = \Delta_{\text{и}}$, где $\Delta_{\text{и}}$ — погрешность, вызванная износом резца. Определяем $\Delta_{\text{и}}$:

$$\Delta_{\text{и}} = \frac{2 \cdot u_o \cdot l}{1000}, \quad (1.33)$$

где $u_o = 3$ мкм/км (табл. Б.1 приложения);

$$l = \frac{\pi \cdot D \cdot L \cdot n}{1000 \cdot S_0}, \quad (1.34)$$

где $L = 110$ мм — длина обработки (рабочего хода инструмента);
 $n = 40$ шт. — количество деталей в партии,

$$l = \frac{3,14 \cdot 60 \cdot 110 \cdot 40}{1000 \cdot 0,1} = 8290 \text{ м.}$$

Тогда

$$\Delta_{\text{и}} = \frac{2 \cdot 3 \cdot 8290}{1000} = 50 \text{ мкм.}$$

Значение мгновенной погрешности $\Delta_{\text{м}}$ определяем по табл. Б.4 приложения:

$$\Delta_{\text{м}} = 32 \text{ мкм.}$$

Погрешность настройки (1.25):

$$\Delta_{\text{смещ}} = \Delta_{\text{м}} / \sqrt{m} = \frac{32}{\sqrt{5}} = 14,3 \text{ мкм};$$

$$\Delta_{\text{рег}} = 40 \text{ мкм (табл. 3.11, [5])};$$

$$\Delta_{\text{изм}} = 9 \cdot 2 = 18 \text{ мкм (табл. 3.13, [5])};$$

$$\Delta_{\text{н}} = \sqrt{14,3^2 + 40^2 + 18^2} = 46 \text{ мкм.}$$

Погрешность установки $\Delta_{\text{у}} = 0$ — установка в центрах (табл. Б.15–Б.17 приложения).

Суммарная погрешность обработки

$$\Delta_{\Sigma} = 1,2 \sqrt{32^2 + 46^2} + 50 = 117 \text{ мкм.}$$

Сравнивая Δ_{Σ} с точностью требуемого размера ($Td = 0,12$), можно сделать вывод о том, что в данных условиях точность обработки партии деталей в количестве 40 шт. будет обеспечена, так как $\Delta_{\Sigma} < Td$.

Пример 2. Определить точность фрезерования плоскости в размер $h = 50_{-0,12}$ торцевой фрезой. В партии 70 деталей, материал — сталь 45. Длина фрезерования с учетом врезания и перебега $L = 150$ мм, ширина фрезерования $B = 60$ мм.

Условия обработки: жесткость станка 15 МН/м, материал режущей части ножей Т15К6, припуск 1 мм, подача 0,2 мм/об, $P_{\text{у}} = 156$ Н. Деталь установлена на обработанные поверхности

в пневматическом приспособлении, установочная и измерительная базы совпадают. Настройка проводится по установкам с использованием шупа толщиной 3 мм. Усилие закрепления параллельно направлению измерения.

Решение

Погрешность, обусловленная размерным износом фрезы,

$$\Delta_{\text{и}} = \frac{u_{\text{о.фр}} \cdot l}{1000}. \quad (1.35)$$

Относительный износ фрезы

$$u_{\text{о.фр}} = \left(1 + \frac{100}{B}\right) u_{\text{о}}, \quad (1.36)$$

где $u_{\text{о}} = 7$ мкм (табл. Б.1 приложения). Следовательно,

$$u_{\text{о.фр}} = \left(1 + \frac{100}{60}\right) 7 = 18,66 \text{ мкм/км};$$

$$l = \frac{150 \cdot 60 \cdot 7}{1000 \cdot 0,2} = 3150 \text{ м},$$

тогда

$$\Delta_{\text{и}} = \frac{18,66 \cdot 3150}{1000} = 59 \text{ мкм}.$$

Мгновенную погрешность обработки для размера 50 при жесткости станка 15 МН/м и $P_Y > 150$ Н находим по табл. Б.6 приложения:

$$\Delta_{\text{м}} = 44 \text{ мкм}.$$

Погрешность настройки определим по формуле 1.24, приняв $\Delta_{\text{з}} = 10$ мкм — погрешность установка 8...12 мм, поле допуска h6 мкм (табл. Б.13 приложения); $\Delta_{\text{ш}} = 6$ — погрешность шупа 1...3 мм, поле допуска h6 (табл. Б.13 приложения); погрешность установки инструмента с помощью шупа $\Delta_{\text{у.ин}} = 7$ мкм (табл. Б.12 приложения). Тогда

$$\Delta_{\text{н}} = \sqrt{10^2 + 6^2 + 7^2} = 16,6 \text{ мкм}.$$

Погрешность установки — $\Delta_{\text{у}} = \Delta_{\text{з}}$, так как установочная и измерительная базы совпадают, и $\Delta_{\text{б}} = 0$, $\Delta_{\text{з}} = 60$ мкм (табл. Б.20 приложения). Таким образом:

$$\Delta_{\Sigma} = 1,2\sqrt{44^2 + 60^2 + 13,6^2} + 59 = 149,8 \text{ мкм.}$$

Точность не обеспечивается, так как $\Delta_{\Sigma} > Th$.

Как выход, для обеспечения точности необходимо, чтобы $\Delta_{\text{и.доп}} \leq 29,2 \text{ мкм}$, так как в общей погрешности $\Delta_{\Sigma} = 149,8 \text{ мкм}$ доля износа равна 59 мкм, а остальные погрешности занимают 90,8 мкм. Следовательно, допускаемая величина погрешности от износа не должна превышать $\Delta_{\text{и.доп}} = 120 - 90,8 = 29,2 \text{ мкм}$. Этого можно достичь уменьшением межнастроечного периода, т.е. уменьшением количества деталей партии деталей, обрабатываемых с одной настройки. Определим количество деталей этой партии. Если

$$\Delta_{\text{и}} = \frac{u_{\text{о.фр}} \cdot l}{1000},$$

то при $\Delta_{\text{и.доп}} = 29,2 \text{ мкм}$ величина l составит

$$l = \frac{1000 \cdot \Delta_{\text{и.доп}}}{u_{\text{о.фр}}} = \frac{1000 \cdot 29,2}{18,66} = 1564,9 \text{ м.}$$

Отсюда величина партии

$$n = \frac{1000 \cdot l \cdot S_o}{L \cdot B} = \frac{1000 \cdot 1564,9 \cdot 0,2}{150 \cdot 60} = 34,77 \text{ деталей.}$$

Поднастройку станка следует производить через 34 детали; при этом точность обработки партии будет обеспечена.

Задачи по обеспечению точности обработки поверхности

Определить, будет ли выдерживаться допуск обрабатываемой поверхности, если нет — предложить мероприятия по обеспечению заданной точности. Исходные данные представлены в табл. 1.17—1.21.

Задача 1. Партию заготовок обрабатывают в центрах на копировальном станке мод. 1Н713. Обработку осуществляют резцом с $\varphi = 90^\circ$; $\varphi_1 = 15^\circ$ при глубине резания $t = 0,5 \text{ мм}$, подаче $S_o = 0,15 \text{ мм/об}$. Настройку инструмента на размер производят по пробным деталям при $m = 4$ с применением микрометра. Жесткость станка — 10 МН/м. Остальные данные представлены в табл. 1.17.

Таблица 1.17

Исходные данные к задаче 1

Номер варианта	Обрабатываемый размер, мм	Длина L , мм	P_y , Н	Материал заготовки	Количество деталей в партии, шт.	Материал инструмента
1	40 _{-0,12}	60	100	Сталь 45	80	Т15К6
2	40 _{-0,2}	80	120		60	
3	35 _{-0,1}	40	80		50	
4	30 _{-0,15}	80	100	Сталь 25ХГТ	40	Т5К10
5	40 _{-0,3}	100	130		80	
6	38 _{-0,2}	85	110		70	
7	50 _{-0,2}	50	150	Сталь 40Х	60	Т15К6
8	60 _{-0,2}	80	115		45	
9	45 _{-0,3}	70	100		40	
10	25 _{-0,1}	80	60	Сталь 18ХГТ	70	Т5К10
11	35 _{-0,2}	70	80		60	
12	42 _{-0,15}	55	90		55	

Задача 2. Партию заготовок, предварительно обработанных по размеру A_{1h13} , фрезеруют на вертикально-фрезерном станке мод. 6Р12. Обработку проводят торцевой фрезой при глубине резания $t = 0,5$ мм, подаче $S_o = 0,4$ мм/об. Настройку инструмента на размер осуществляют с помощью установа и щупа толщиной 3 мм. Заготовку устанавливают на две опорные пластины приспособления ($b \times l = 20 \times 300$). Жесткость станка 15 МН/м. Ширина фрезерования B , длина L . Технологическая и измерительная базы совпадают. Усилие закрепления перпендикулярно направлению измерения. Остальные данные представлены в табл. 1.18.

Таблица 1.18

Исходные данные к задаче 2

Номер варианта	Выдерживаемый размер, мм	Размеры $B \times L +$ мм $\times$ мм	Материал заготовки	Количество деталей партии, шт.	Материал инструмента	P_y , Н
1	2	3	4	5	6	7
1	45 _{-0,1}	100 $\times$ 300	Сталь 40Х	40	Т15К6	80
2	60 _{-0,2}	120 $\times$ 250		50		100
3	70 _{-0,3}	140 $\times$ 200		50		120

1	2	3	4	5	6	7
4	55 _{-0,15}	150 × 200	СЧ 20	50	ВК6	90
5	65 _{-0,2}	130 × 210		45		110
6	66 _{-0,4}	100 × 220		70		105
7	100 _{-0,14}	200 × 300	СЧ 20	45	ВК3	140
8	90 _{-0,1}	100 × 200		50		150
9	95 _{-0,2}	120 × 180		40		160
10	60 _{-0,1}	120 × 250	Сталь 45	80	Т15К6	160
11	62 _{-0,2}	140 × 220		60		170
12	75 _{-0,3}	125 × 180		65		120

Задача 3. На цилиндрической поверхности заготовки диаметром d фрезеруют лыску длиной l . Обработку ведут на вертикально-фрезерном станке мод. 6Р11 концевой фрезой за один рабочий ход. При этом необходимо выдержать один из следующих размеров: A_1 – от верхней образующей цилиндра; A_2 – от оси цилиндра; A_3 – от нижней образующей цилиндра. Фрезерование осуществляют при подаче $S_0 = 0,6$ мм/об и перемещении стола станка в поперечном к оси детали направлении. Настройку фрезы на размер производят по установу и щупу толщиной 3 мм. Регулировку размеров осуществляют по лимбу станка с ценой деления 0,05 мм.

Усилие закрепления перпендикулярно направлению измерения. Заготовки устанавливают на призму длиной 120 мм. Жесткость станка 12 МН/м. Остальные данные приведены в табл. 1.19.

Таблица 1.19

Исходные данные к задаче 3

Но- мер ва- ри- ан- та	Выдержи- ваемый размер, мм	Заданные размеры, мм	Материал заготовки	Ко- ли- че- ство деталей пар- тии, шт.	Мате- риал инстру- мента	Угол призм- ы α , град	Уси- лие закреп- ления, Н	P_p , Н
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	$A_1 = 6_{-0,12}$	$d = 40_{-0,1}$, $l = 40$	Сталь 18ХГТ	80	Т15К10	90	700	120
2	$A_2 = 14_{-0,1}$			60				120
3	$A_3 = 34_{-0,2}$			50				120
4	$A_1 = 22_{-0,2}$	$d = 50_{-0,15}$, $l = 70$	Сталь 40Х	60	Т15К6	120	800	100
5	$A_2 = 30_{-0,1}$			45				100
6	$A_3 = 47_{-0,2}$			70				100

1	2	3	4	5	6	7	8	9
7	$A_1 = 10_{-0,2}$	$d = 60_{-0,15},$ $l = 70$	Сталь 45	40	Т15К6	90	800	160
8	$A_2 = 20_{-0,1}$			30				160
9	$A_3 = 50_{-0,3}$			28				160
10	$A_1 = 6_{-0,12}$	$d = 40_{-0,1},$ $l = 50$	Сталь 25ХГР	50	Т15К6	120	850	110
11	$A_2 = 14_{-0,1}$			70				110
12	$A_3 = 34_{-0,2}$			80				110

Примечание. При расчете погрешности закрепления во всех случаях принять шероховатость поверхностей $d = 20 \text{ Rz}$ и $\text{HB } 229$.

Задача 4. Партию втулок обрабатывают с использованием токарно-винторезного станка мод. 16К20 с установкой на оправку с зазором. Обработку осуществляют резцом с $\varphi = 45^\circ$; $\varphi_1 = 45^\circ$, $r = 1 \text{ мм}$ при глубине резания $t = 0,5 \text{ мм}$, подаче $S_o = 0,2 \text{ мм/об}$ при скорости, соответствующей обрабатываемому материалу. Настройку инструмента проводят по пробным деталям при $m = 3$ с использованием микрометра. Регулировку размеров проводят по лимбу станка с ценой деления $0,05 \text{ мм}$. Жесткость станка 9 МН/м . Остальные данные представлены в табл. 1.20.

Таблица 1.20

Исходные данные к задаче 4

Номер варианта	Выдерживаемый размер D , мм	Заданные размеры, мм			Материал заготовки	Количество деталей в партии, шт.	Материал режущей части	P_y , Н
		L	$d_{\text{опр}}$	$D_{\text{отв}}$				
1	$60_{-0,55}$	90	$30_{-0,06}$	$30_{+0,1}$	СЧ 20	100	ВК6	100
2	$65_{-0,28}$	100	$35_{-0,1}$	$35_{+0,1}$		110	ВК8	150
3	$40_{-0,3}$	90	$20_{-0,1}$	$20_{+0,1}$		100	ВК3	140
4	$90_{-0,8}$	120	$30_{-0,1}$	$30_{+0,1}$	Сталь 40Х	80	Т15К6	90
5	$100_{-0,4}$	140	$80_{-0,2}$	$80_{+0,2}$		70	Т5К10	95
6	$80_{-0,6}$	100	$60_{-0,1}$	$60_{+0,1}$		60	Т15К6	100
7	$70_{-0,4}$	80	$60_{-0,1}$	$60_{+0,05}$	Сталь 18ХГТ	50	Т15К6	140
8	$80_{-0,2}$	100	$70_{-0,3}$	$70_{+0,1}$		70	Т30К4	150
9	$90_{-0,5}$	100	$80_{-0,1}$	$80_{+0,05}$		80	Т5К10	135

1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	120 _{-0,9}	80	100 _{-0,05}	100 ^{+0,15}	Сталь У10	50	Т30К4	110
11	130 _{-0,8}	100	100 _{-0,1}	100 ^{+0,1}		60	Т15К6	120
12	140 _{-0,9}	80	100 _{-0,1}	100 ^{+0,05}		70	Т30К4	115

Примечание. Условные обозначения $d_{\text{опр}}$ – диаметр оправки; $d_{\text{отв}}$ – диаметр посадочного отверстия.

Задача 5. Партию валов обрабатывают в центрах на круглошлифовальном станке мод. 3А151. Обработку осуществляют шлифовальным кругом 24А на керамической связке, частота вращения круга 3000 мин⁻¹, частота вращения детали $n_d = 200$ мин⁻¹; настройка по пробным деталям при $t = 4$ с использованием миниметра с ценой деления 0,001 мм; для регулирования размера при настройке используется лимб с ценой деления 0,001 мм. Жесткость станка 20...30 МН/м. Шлифование во всех случаях осуществляют по методу врезания. Остальные данные представлены в табл. 1.21.

Таблица 1.21

Исходные данные к задаче 5

Номер варианта	Обрабатываемый размер D , мм	Материал заготовки	Диаметр шлифовального круга, мм	Количество деталей в партии, шт.	Поперечная подача, мм/об	Припуск на обработку, мм
1 2 3	$D = 40_{-0,017}$ $D = 45_{-0,010}$ $D = 48_{-0,012}$	Сталь 45	550	100	0,004	0,10
4 5 6	$D = 25_{-0,008}$ $D = 28_{-0,010}$ $D = 30_{-0,009}$					
		Чугун закаленный	450	80	0,003	0,15
7 8 9	$D = 50_{-0,020}$ $D = 45_{-0,017}$ $D = 60_{-0,010}$	Сталь 18ХГТ	600	120	0,005	0,20
10 11 12	$D = 30_{-0,009}$ $D = 45_{-0,017}$ $D = 65_{-0,020}$					
		Сталь 40Х	500	90	0,003	0,15

1.4. Статистическая оценка точности поверхностей деталей

Общие положения и расчетные зависимости

Обеспечение точности механической обработки поверхностей деталей является одной из наиболее важных задач инженера-технолога. Оценка качества продукции (оценку точности технологических операций) наиболее часто проводят методами статистического анализа. Существует ряд законов, которым подчиняются случайные погрешности, возникающие в процессе механической обработки поверхностей деталей.

Закону нормального распределения (Гаусса) подчиняются все случайные величины, на которые оказывает влияние большое число факторов. Как правило, этому закону подчиняются отклонения размеров деталей.

По закону эксцентриситета (Релея, Масквелла) распределяются эксцентриситет осей, биение поверхностей, отклонения от параллельности плоскостей и др.

По закону модуля разности распределяются погрешности взаимного расположения поверхностей и осей, а также погрешности формы деталей — овальность, конусность, разностенность.

Практикой установлено, что во многих случаях экспериментальные зависимости распределения близки к теоретическим кривым нормального распределения (кривым Гаусса).

Статистическая оценка точности деталей позволяет управлять технологическими процессами их изготовления, т.е. влиянием случайных погрешностей на точность обработки.

Основными характеристиками любого закона распределения параметров техпроцесса являются среднее значение $\bar{X}$ и среднее квадратическое отклонение S . Расчет их ведется по соответствующим методикам. В рамках представленной работы мы попытаемся показать, как, имея эти характеристики, сделать заключение о точности той или иной операции по количеству вероятного брака. Заметим, что среднее значение $\bar{X}$ является центром группирования исследуемого параметра, а среднее квадратическое отклонение S характеризует размах (рассеяние) этого параметра. При этом поле рассеяния контролируемого параметра определяется соотношением

$$\omega = l \cdot S, \quad (1.37)$$

где l — коэффициент, зависящий от закона распределения значений параметров.

Для закона Гаусса $l = 6$; для закона Симпсона $l = 4,90$; для закона равной вероятности $l = 3,46$.

Первое, что позволяет знание статистических характеристик — это определить вероятное количество брака (рис. 1.3). Брак невозможен в том случае, если допуск какого-либо параметра TD больше поля рассеяния этого параметра, вызванного действием случайных факторов, т.е. $TD \geq \omega$.

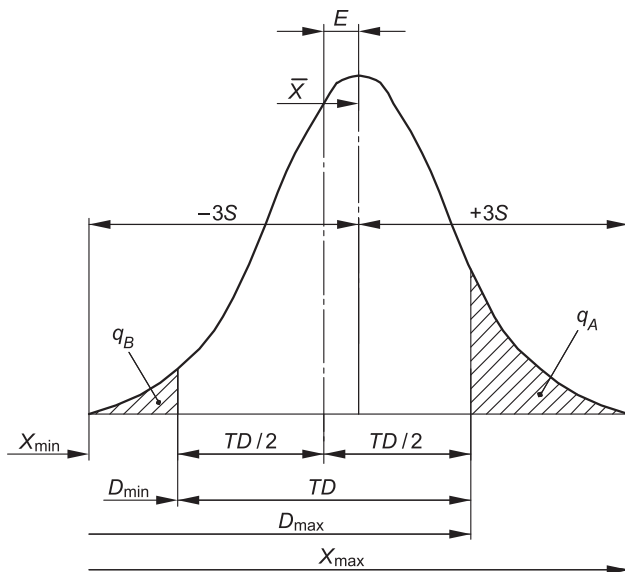


Рис. 1.3. Схема определения вероятного количества некачественных изделий при их распределении по закону Гаусса

Это справедливо только в том случае, если среднее значение $\bar{X}$ совпадает с серединой поля допуска исследуемого параметра. На практике часто случается, когда $\bar{X}$ не совпадает с серединой поля допуска. Имеет место смещение E . Тогда, несмотря на то что $TD \geq \omega$, возможно появление как исправимого, так и неисправимого брака в зависимости от того, положительное или отрицательное это смещение.

В общем случае необходимо анализировать положение середины поля допуска по значениям D_{cp} и центра группирования $\bar{X}$.

Середину поля допуска определяют по предельным размерам деталей по чертежу — $D_{\max}$ и $D_{\min}$:

$$D_{\text{cp}} = \frac{D_{\max} + D_{\min}}{2}. \quad (1.38)$$

Центр группирования $\bar{X}$ (центр распределения) определяют при известных значениях E и $D_{\text{ср}}$ по соотношению

$$\bar{X} = D_{\text{ср}} \pm E. \quad (1.39)$$

В этой зависимости величина E смещения $\bar{X}$ от $D_{\text{ср}}$ принимается обязательно с учетом знака.

На рис. 1.3 показан случай появления брака, когда имеют место как смещение E , так и невыполнение условия $TD \geq \omega$. Это приводит к тому, что количество бракованных изделий справа больше, чем слева. Вся площадь под графической зависимостью, ограниченная по оси абсцисс допуском, характеризует собой годные детали.

Процент брака может быть определен как табличным методом [5], так и по формулам:

$$q_A = \left[0,5 - \Phi \left(\frac{D_{\text{max}} - \bar{X}}{S} \right) \right] \cdot 100\%; \quad (1.40)$$

$$q_B = \left[0,5 - \Phi \left(\frac{D_{\text{min}} - \bar{X}}{S} \right) \right] \cdot 100\%, \quad (1.41)$$

где q_A — вероятный процент брака, исправимого для охватываемых и неисправимого для охватывающих поверхностей; q_B — вероятный процент брака, исправимого для охватывающих и неисправимого для охватываемых поверхностей (заштрихованные на рис. 1.3 площади).

Если обозначить

$$\frac{D_{\text{max}} - \bar{X}}{S} = t; \quad \frac{D_{\text{min}} - \bar{X}}{S} = t_1, \quad (1.42)$$

где t , t_1 — аргументы функции Лапласа (функции распределения), то можно по табл. 1.22 установить значения этой функции $\Phi(t)$ и $\Phi(t_1)$ и определить процент бракованных деталей q_A и q_B и общий процент брака:

$$q = q_A + q_B. \quad (1.43)$$

Функция Лапласа:

$$\Phi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-\frac{t^2}{2}} dt. \quad (1.44)$$

Значение функции Лапласа

t	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	
0,0	0,0000	0,0040	0,0080	0,0120	0,0160	0,0199	0,0239	0,0279	0,0319	0,0359	
0,1	0,0398	0,0438	0,0478	0,0517	0,0557	0,0596	0,0636	0,0675	0,0714	0,0753	
0,2	0,0793	0,0832	0,0871	0,0909	0,0948	0,0987	0,1026	0,1064	0,1103	0,1141	
0,3	0,1179	0,1217	0,1255	0,1293	0,1331	0,1368	0,1406	0,1443	0,1480	0,1517	
0,4	0,1555	0,1591	0,1628	0,1664	0,1700	0,1736	0,1772	0,1808	0,1844	0,1879	
0,5	0,1915	0,1950	0,1985	0,2019	0,2045	0,2088	0,2123	0,2157	0,2190	0,2224	
0,6	0,2257	0,2291	0,2324	0,2357	0,2389	0,2422	0,2454	0,2486	0,2517	0,2549	
0,7	0,2580	0,2611	0,2642	0,2673	0,2703	0,2734	0,2764	0,2794	0,2823	0,2852	
0,8	0,2881	0,2910	0,2939	0,2967	0,2995	0,3023	0,3051	0,3078	0,3106	0,3133	
0,9	0,3159	0,3186	0,3212	0,3238	0,3264	0,3289	0,3315	0,3340	0,3365	0,3389	
1,0	0,3413	0,3438	0,3461	0,3485	0,3508	0,3531	0,3554	0,3577	0,3599	0,3621	
1,1	0,3643	0,3665	0,3683	0,3708	0,3729	0,3749	0,3770	0,3790	0,3810	0,3830	
1,2	0,3849	0,3869	0,3888	0,3907	0,3925	0,3944	0,3962	0,3980	0,3997	0,4015	
1,3	0,4032	0,4049	0,4066	0,4082	0,4099	0,4115	0,4131	0,4147	0,4162	0,4177	
1,4	0,4192	0,4207	0,4222	0,4236	0,4251	0,4265	0,4279	0,4292	0,4306	0,4319	
1,5	0,4332	0,4345	0,4357	0,4370	0,4382	0,4394	0,4406	0,4418	0,4429	0,4441	
1,6	0,4452	0,4463	0,4474	0,4484	0,4495	0,4505	0,4515	0,4525	0,4535	0,4545	
1,7	0,4554	0,4564	0,4573	0,4582	0,4591	0,4599	0,4608	0,4616	0,4625	0,4633	
1,8	0,4641	0,4649	0,4656	0,4664	0,4671	0,4678	0,4686	0,4693	0,4699	0,4706	
1,9	0,4713	0,4719	0,4726	0,4732	0,4738	0,4744	0,4750	0,4756	0,4761	0,4767	
2,0	0,4772	0,4778	0,4783	0,4788	0,4793	0,4898	0,4803	0,4808	0,4812	0,4817	
2,1	0,4821	0,4826	0,4830	0,4834	0,4838	0,4842	0,4846	0,4850	0,4854	0,4857	
2,2	0,4861	0,4865	0,4868	0,4871	0,4875	0,4878	0,4881	0,4884	0,4887	0,4890	
2,3	0,4893	0,4896	0,4898	0,4901	0,4904	0,4906	0,4909	0,4911	0,4913	0,4916	
2,4	0,4918	0,4920	0,4922	0,4925	0,4927	0,4929	0,4931	0,4932	0,4934	0,4936	
2,5	0,4938	0,4940	0,4941	0,4943	0,4945	0,4946	0,4948	0,4949	0,4951	0,4952	
2,6	0,4953	0,4955	0,4956	0,4957	0,4959	0,4960	0,4961	0,4962	0,4963	0,4964	
2,7	0,4965	0,4966	0,4967	0,4968	0,4969	0,4970	0,4971	0,4972	0,4973	0,4974	
2,8	0,4974	0,4975	0,4976	0,4977	0,4977	0,4978	0,4979	0,4979	0,4980	0,4981	
2,9	0,4981	0,4982	0,4982	0,4983	0,4984	0,4984	0,4985	0,4985	0,4986	0,4986	
t		$\Phi(t)$		t		$\Phi(t)$		t		$\Phi(t)$	
3,00...3,02		0,4987		3,14...3,17		0,4992		3,39...3,48		0,4997	
3,03...3,04		0,4988		3,18...3,21		0,4993		3,49...3,61		0,4998	
3,05...3,07		0,4989		3,22...3,26		0,4994		3,62...3,89		0,4999	
3,08...3,10		0,4990		3,27...3,32		0,4995		4,50		0,499997	
3,11...3,13		0,4991		3,33...3,38		0,4996		5,00		0,4999997	

Для законов Симпсона и равной вероятности процент брака нельзя определять с помощью функции Лапласа. В этих случаях величины q_A и q_B определяются на основе анализа подобия треугольников и прямоугольников.

На рис. 1.4 представлена схема для определения вероятного количества брака при распределении по закону Симпсона, а на рис. 1.5 — схема определения количества брака при распределении по закону равной вероятности.

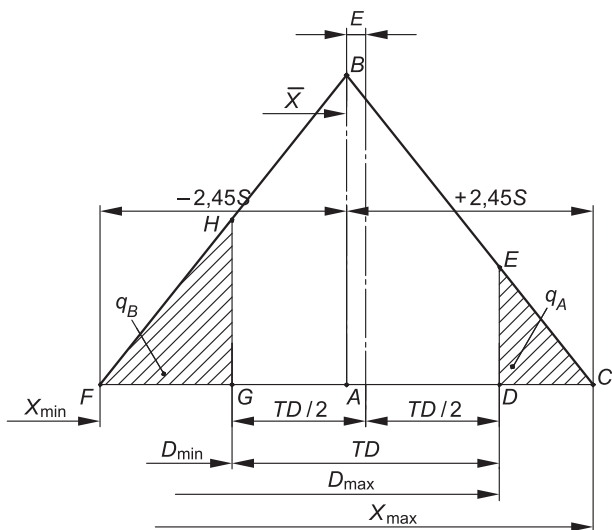


Рис. 1.4. Схема определения вероятного количества некачественных изделий при распределении по закону Симпсона

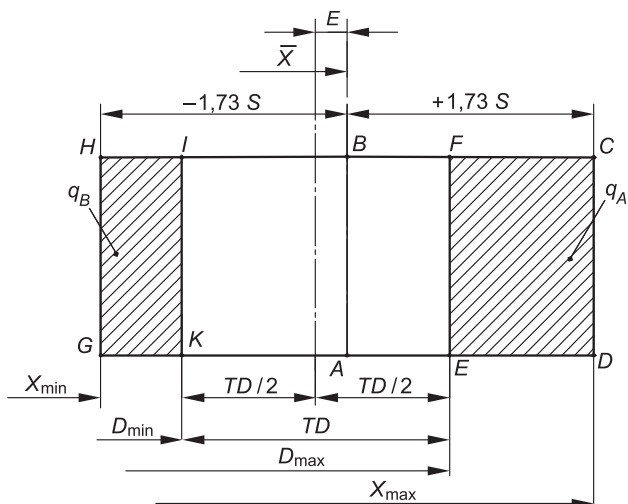


Рис. 1.5. Схема определения вероятного количества некачественных изделий при распределении по закону равной вероятности

При распределении по закону Симпсона (см. рис. 1.4) рассматривается подобие треугольников ABC и DEC (для определения количества брака q_A), а для определения брака q_B – подобие треугольников ABF и GHF ; при этом площади треугольников ABC и ABF определяют по 50% изготовленных деталей, а площади отсеченных границами поля допуска треугольников DEC и GHF определяют количество брака q_A и q_B . Такое разделение необходимо при наличии двустороннего брака, что позволяет определить характер брака – исправимый и неисправимый – и используется при любых законах распределения. При наличии одностороннего брака q_A или q_B в таком разделении нет необходимости и величину брака определяют из 100% изготовленных деталей.

Определение количества некачественных изделий при распределении по закону Симпсона следующее.

1. Определение количества брака q_A (см. рис. 1.4).

Площадь треугольника ABC равна

$$S_{ABC} = \frac{AC \cdot AB}{2}, \quad (1.45)$$

а площадь треугольника DEC составляет

$$S_{DEC} = \frac{DC \cdot DE}{2}. \quad (1.46)$$

Анализ результатов, представленных на рис. 1.4, показывает, что $AC = 2,45S$, а высоту AB треугольника можно означить любым числом. Для упрощения расчетов рекомендуется принимать $AB = 1$ (условно). Итак, площадь треугольника ABC в условных квадратных единицах равна

$$S_{ABC} = \frac{2,45S \cdot 1}{2} = \frac{2,45S}{2}. \quad (1.47)$$

Также в соответствии со схемой рис. 1.4 $DC = X_{\max} - D_{\max}$, а DE можно найти из подобия треугольников ABC и DEC :

$$\frac{AB}{DE} = \frac{AC}{DC} \text{ или } DE = \frac{AB \cdot DC}{AC}.$$

После преобразования получим, что $DE = \frac{X_{\max} - D_{\max}}{2,45S}$. Тогда площадь треугольника DEC в условных квадратных единицах будет

$$S_{DEC} = \frac{(X_{\max} - D_{\max}) \cdot (X_{\max} - D_{\max})}{2 \cdot 2,45S},$$

или

$$S_{DEC} = \frac{(X_{\max} - D_{\max})^2}{4,9S}. \quad (1.48)$$

Величину брака q_A (в процентах) определяют по пропорции

$$\begin{aligned} S_{ABC} - 50; \\ S_{DEC} - q_A, \end{aligned}$$

или

$$q_A = \frac{50S_{DEC}}{S_{ABC}}. \quad (1.49)$$

2. Определение количества брака q_B (см. рис. 1.4).

Количество бракованных деталей q_B определяем аналогично; при этом

$$GF = D_{\min} - X_{\min}; \quad (1.50)$$

$$GH = \frac{D_{\min} - X_{\min}}{2,45S}; \quad (1.51)$$

$$S_{GHF} = \frac{(D_{\min} - X_{\min})^2}{4,9S}; \quad (1.52)$$

$$S_{ABF} = \frac{2,45S}{2}. \quad (1.53)$$

Составив и решив пропорцию, получим (в процентах):

$$q_B = \frac{50S_{GHF}}{S_{ABF}}. \quad (1.54)$$

Подставив в формулы 1.49 и 1.54 зависимости площадей (1.47, 1.48, 1.52, 1.53) и проведя преобразования, получим:

$$q_A = \frac{100 \cdot (X_{\max} - D_{\max})^2}{12,005S^2}; \quad (1.55)$$

$$q_B = \frac{100 \cdot (D_{\min} - X_{\min})^2}{12,005S^2}. \quad (1.56)$$

Для определения количества брака в натуральном выражении составляют пропорции, приняв половину обработанной продукции за 50%, откуда находят возможное количество брака n_{qA} или n_{qB} (в штуках):

$$n/2 - 50, \quad n/2 - 50;$$

$$n_{qA} - q_A, \quad n_{qB} - q_B.$$

После преобразования получим:

$$n_{qA} = \frac{n \cdot q_A}{100}; \quad n_{qB} = \frac{n \cdot q_B}{100}, \quad (1.57)$$

где n — количество деталей в партии, шт; q_A, q_B — количество брака в процентах.

Полученные значения округляют до целых в большую сторону.

При распределении по закону равной вероятности (см. рис. 1.5) рассматривают подобие прямоугольников $ABCD$ и $EFCD$ (для определения количества брака q_A), а для определения количества брака q_B — подобие прямоугольников $ABHG$ и $KIHG$.

3. Определение количества брака q_A (см. рис. 1.5).

Площадь прямоугольника $ABCD$ — 50 % деталей.

$$S_{ABCD} = AD \cdot AB;$$

$$AB = 1 \text{ (условно)}; \quad AD = 1,73S;$$

$$S_{ABCD} = 1,73S.$$

Площадь прямоугольника $EFCD$ — брак q_A .

$$S_{EFCD} = ED \cdot EF;$$

$$ED = X_{\max} - D_{\max}; \quad EF = 1 \text{ (условно)};$$

$$S_{EFCD} = X_{\max} - D_{\max};$$

$$S_{ABCD} - 50 (\%);$$

$$S_{EFCD} - q_A (\%);$$

$$q_A = \frac{50 \cdot (X_{\max} - D_{\max})}{1,73S}. \quad (1.58)$$

Аналогично количество брака q_B :

$$S_{ABHG} = AG \cdot AB;$$

$$S_{ABHG} = 1,73S \cdot 1 = 1,73S;$$

$$S_{KIHG} = GK \cdot AB;$$

$$GK = D_{\min} - X_{\min};$$

$$S_{ABHG} = D_{\min} - X_{\min};$$

$$q_B = \frac{50 \cdot (D_{\min} - X_{\min})}{1,73S}. \quad (1.59)$$

В любом случае статистическую оценку точности деталей надо вести в такой последовательности:

- определить поле рассеяния ω в зависимости от заданного закона распределения;
- определить положение центра группирования $\bar{X}$;
- определить границы поля рассеяния:

$$X_{\max} = \bar{X} + \frac{l}{2}S; \quad X_{\min} = \bar{X} - \frac{l}{2}S;$$

- сравнить $X_{\max}$ с $D_{\max}$ и $X_{\min}$ с $D_{\min}$ и установить, есть ли брак q_A и q_B . Если $X_{\max} > D_{\max}$, есть брак q_A ; если $X_{\min} < D_{\min}$, есть брак q_B ;
- определить количество брака (в процентах) с использованием законов Симпсона и равной вероятности;
- определить количество брака в натуральном выражении (количество деталей) и его характер (исправимый или неисправимый).

Примеры статистической оценки точности деталей

Пример 1. Определить число годных деталей, исправимого и неисправимого брака при растачивании отверстий диаметром $D = 130^{+0,1}_{-0}$ мм в партии корпусных деталей 200 шт., если среднее квадратическое отклонение $S = 0,025$ мм и смещения кривой распределения размеров относительно середины поля допуска не происходит (закон Гаусса).

Решение

Определим, имеет ли место брак. Поле рассеяния $\omega = 6S$, $\omega = 6 \cdot 0,025 = 0,15$ мм. $TD = 0,1$ мм, т.е. $\omega > TD$. Брак имеет место, а так как смещения кривой относительно середины поля допуска нет, то $q_A = q_B$.

Определим вероятный процент брака:

$$q_A = \left[0,5 - \Phi \left(\frac{D_{\max} - \bar{X}}{S} \right) \right] \cdot 100\%;$$

$$q_A = \left[0,5 - \Phi \left(\frac{D_{\min} - \bar{X}}{S} \right) \right] \cdot 100\%.$$

Среднее значение $\bar{X}$ лежит на середине поля допуска:

$$\bar{X} = D_{\text{cp}} = \frac{D_{\max} + D_{\min}}{2} = \frac{130,1 + 130}{2} = 130,05 \text{ мм.}$$

Следовательно,

$$\Phi(t) = \Phi\left(\frac{130,1 - 130,05}{0,025}\right) = \Phi(2).$$

По таблице значений функции Лапласа (см. табл. 1.22) находим $\Phi(2) = 0,4772$.

Тогда

$$q_A = (0,5 - 0,4772) \cdot 100 = 2,28\%.$$

Аналогично найдем $\Phi(t_1) = \Phi(2)$. Значение t_1 принимаем по модулю. Поэтому, как и в предыдущем случае, $\Phi(2) = 0,4772$;

$$q_B = (0,5 - 0,4772) \cdot 100 = 2,28\%.$$

Таким образом, общий процент брака составит

$$q = 2,28 + 2,28 = 4,56\%.$$

Для определения количества бракованных деталей составим пропорцию, приняв 200 деталей за 100%:

$$200 - 100\%; \quad q_{A,B} - 4,56\%.$$

Отсюда

$$q_{A,B} = (200 \cdot 4,56) / 100 = 9,12 \text{ дет.}$$

Количество исправимого брака (определится для внутренних поверхностей показателем q_B):

$$200 - 100\%; \quad q_B - 2,28\%.$$

Следовательно, $q_B = 4,56$ дет. Принимаем $q_B = 5$ дет.

Количество неисправимого брака (определится для внутренних поверхностей показателем q_A):

$$200 - 100\%; \quad q_A - 2,28\%.$$

Отсюда $q_A = 5$ дет.

Окончательно имеем:

- число годных деталей — 190;
- исправимый брак — 5 дет.;
- неисправимый брак — 5 дет.

Пример 2. Определить количество годных деталей, исправимого и неисправимого брака при обработке вала диаметром $d = 30_{-0,1}$ мм при величине партии 300 шт., если среднее квадратическое отклонение $S = 0,02$ мм и смещение центра группирования распределения размеров относительно середины поля допуска $E = 0,02$ мм (закон Симпсона).

Решение

Определяем поле рассеяния:

$$\omega = 4,9S = 4,9 \cdot 0,02 = 0,098 \text{ мм.}$$

Значение $\omega < TD$, но есть смещение E , поэтому решаем задачу в следующем порядке.

Определяем центр группирования:

$$\bar{X} = d_{\text{ср}} + E;$$

$$d_{\text{ср}} = \frac{d_{\text{max}} + d_{\text{min}}}{2} = \frac{30 + 29,9}{2} = 29,95 \text{ мм};$$

$$\bar{X} = 29,95 + 0,02 = 29,97 \text{ мм.}$$

Определяем границы поля рассеяния:

$$X_{\text{max}} = 29,97 + 0,5 \cdot 4,9 \cdot 0,02 = 30,019 \text{ мм};$$

$$X_{\text{min}} = 29,97 - 0,5 \cdot 4,9 \cdot 0,02 = 29,921 \text{ мм.}$$

Сравниваем X_{max} с d_{max} и X_{min} с d_{min} .

Так как $X_{\text{max}} > d_{\text{max}}$ ($30,019 > 30$), то имеет место исправимый для вала брак q_A , и так как $X_{\text{min}} > d_{\text{min}}$ ($29,921 > 29,9$), то неисправимого брака q_B нет.

Определяем количество брака в процентах.

Площадь треугольника, охватывающего половину распределения:

$$S_1 = \frac{2,45S}{2} = \frac{2,45 \cdot 0,02}{2} = 0,0245 \text{ усл. кв. единиц.}$$

Площадь отсеченного верхней границей поля допуска треугольника

$$\begin{aligned} S_2 &= \frac{(X_{\text{max}} - d_{\text{max}})^2}{4,9S} = \frac{(30,019 - 30,0)^2}{4,9 \cdot 0,02} = \\ &= \frac{0,000361}{0,098} = 0,0037 \text{ усл.кв.единиц.} \end{aligned}$$

Количество брака

$$q_A = \frac{50 \cdot S_2}{S_1} = \frac{50 \cdot 0,0037}{0,0245} = 7,5\%,$$

или иначе

$$q_A = \frac{100 \cdot (X_{\max} - d_{\max})^2}{12,005S^2} = \frac{100(30,019 - 30)^2}{12,005 \cdot 0,02^2} = \frac{0,0361}{0,0048} = 7,5\%.$$

Определяем количество брака в натуральном выражении (количество бракованных деталей):

$$n_{qA} = \frac{n \cdot q_A}{100} = \frac{300 \cdot 7,5}{100} = 22,5 \text{ шт.}$$

Принимаем $n_{qA} = 23$ детали.

Окончательно имеем:

- число годных деталей — 277 шт.;
- исправимый брак — 23 шт.;
- неисправимый брак — 0 шт.

Задачи по установлению точности детали статистическими методами

Определить количество годных деталей, исправимого и неисправимого брака при обработке партии деталей на настроенном станке. Исходные данные приведены в табл. 1.23.

Таблица 1.23

Исходные данные к задачам по статистической оценке точности деталей

Вариант	Выдерживаемый размер, мм	Количество деталей партии, шт.	Смещение центра группирования E , мм	Закон распределения	Вид поверхности
1	2	3	4	5	6
1	40 _{-0,18}	400	+0,02	Гаусса, $S = 0,03$	Вал
2	30 _{-0,15}	300	+0,01	Симпсона, $S = 0,03$	То же
3	130 ^{+0,1}	250	-0,02	Гаусса, $S = 0,02$	Отверстие
4	120 ^{+0,04}	200	0	Равной вероятности, $S = 0,02$	То же
5	30 _{-0,15}	400	+0,04	Гаусса, $S = 0,02$	Вал
6	25 _{-0,1}	400	-0,01	Симпсона, $S = 0,02$	То же
7	180 ^{+0,1}	300	-0,03	Гаусса, $S = 0,03$	Отверстие
8	50 _{-0,08}	400	-0,005	Равной вероятности, $S = 0,027$	Вал
9	65 ^{+0,08}	500	+0,005	Равной вероятности, $S = 0,028$	Отверстие
10	80 _{-0,1}	450	-0,003	Равной вероятности, $S = 0,03$	Вал
11	160 _{-0,2}	400	+0,02	Гаусса, $S = 0,03$	То же

1	2	3	4	5	6
12	70 ^{+0,1}	300	-0,02	Симпсона, $S = 0,02$	Отверстие
13	30 _{-0,1}	200	+0,003	Равной вероятности, $S = 0,03$	Вал
14	60 _{-0,1}	300	-0,02	Симпсона, $S = 0,02$	То же
15	150 ^{+0,1}	250	0	Гаусса, $S = 0,02$	Отверстие
16	170 ^{+0,1}	400	+0,02	Симпсона, $S = 0,019$	То же
17	50 _{-0,06}	600	+0,004	Равной вероятности, $S = 0,02$	Вал
18	25 ^{+0,1}	300	-0,01	Симпсона, $S = 0,02$	Отверстие
19	80 ^{+0,1}	580	+0,003	Равной вероятности, $S = 0,03$	То же
20	40 _{-0,1}	450	+0,02	Симпсона, $S = 0,02$	Вал

1.5. Расчет припусков на механическую обработку

Общие положения и расчетные зависимости

Общим припуском на обработку называется слой материала, удаляемый с поверхности исходной заготовки в процессе механической обработки с целью получения готовой детали.

Операционный припуск — это слой материала, удаляемый с заготовки при выполнении конкретной технологической операции. Минимальная величина припуска определяется методом дифференцированного расчета по элементам, составляющим припуск [8]. Различают *минимальный, номинальный и максимальный* припуски.

При расчете минимального промежуточного припуска (припуска на конкретную технологическую операцию или переход) учитывают следующие составляющие его элементы:

- высоту микронеровностей Rz_{i-1} , полученную на предшествующем переходе;
- состояние и глубину h_{i-1} поверхностного слоя в результате выполнения предшествующего перехода;
- пространственные отклонения ρ_{i-1} расположения обрабатываемой поверхности относительно технологических баз;
- погрешность установки ε_i при выполнении перехода.

Шероховатость поверхности Rz_{i-1} и характеристика поверхностного слоя h_{i-1} зависят от режима резания, качества обрабатываемого материала и других факторов.

Поверхностный слой h_{i-1} , образовавшийся в результате предшествующего перехода, удаляется на выполняемом переходе полностью или частично. Например, при изготовлении поковок

образуется обезуглероженный слой до 0,5 мм, который следует удалить полностью с обрабатываемой поверхности, так как этот слой является дефектным. Аналогично при обработке заготовок из серого чугуна поверхностный слой необходимо срезать на первом рабочем ходе. Этот слой толщиной 1–2 мм состоит из перлитной корки с включениями формовочного песка.

Пространственные отклонения ρ_{i-1} характеризуются погрешностью расположения обрабатываемой поверхности относительно базовых поверхностей заготовки. Примерами пространственных отклонений могут быть отклонения от соосности наружной поверхности вращения и поверхности отверстия у заготовок типа втулок и дисков; изгиб заготовки вала; выпуклость и вогнутость плоскостей; отклонение от параллельности обрабатываемой плоскости корпуса и базовой плоскости; отклонение от перпендикулярности торцевой поверхности к оси отверстия и др.

Составляющей минимального промежуточного припуска является также погрешность установки заготовок на выполняемом переходе ε_i . Эта погрешность характеризуется смещением или поворотом подлежащей обработке поверхности относительно баз, поэтому эта погрешность должна быть компенсирована соответствующим увеличением припуска.

Суммируя величины Rz_{i-1} , h_{i-1} , ρ_{i-1} и ε_i , получают минимальный расчетный припуск для технологического перехода.

При обработке плоскостей векторы ρ_{i-1} и ε_i суммируются арифметически, так как они коллинеарны (параллельны) и направлены перпендикулярно к обрабатываемой поверхности. Следовательно, при обработке плоскости расчетная формула минимального припуска имеет вид

$$Z_{i\min} = Rz_{i-1} + h_{i-1} + \rho_{i-1} + \varepsilon_i. \quad (1.60)$$

При обработке двух противоположащих плоскостей одноименными методами припуск на две стороны составит

$$2Z_{i\min} = 2(Rz_{i-1} + h_{i-1} + \rho_{i-1} + \varepsilon_i). \quad (1.61)$$

При обработке поверхностей вращения векторы ρ_{i-1} и ε_i могут принять любое угловое положение, и потому их суммирование целесообразно выполнять по правилу *квадратного корня*:

$$\rho_{i-1} + \varepsilon_i = \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}. \quad (1.62)$$

Величина межоперационного припуска на диаметр (при обработке поверхностей вращения) удваивается. Следовательно,

припуск на диаметр при обработке наружных и внутренних поверхностей вращения

$$2Z_{i\min} = 2(Rz_{i-1} + h_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}). \quad (1.63)$$

При анализе конкретных переходов некоторые составляющие из общей формулы расчета припуска могут быть исключены. Так, при обтачивании цилиндрической поверхности заготовки, установленной в центрах, погрешность ε_i может быть принята равной нулю. Следовательно,

$$2Z_{i\min} = 2(Rz_{i-1} + h_{i-1} + \rho_{i-1}). \quad (1.64)$$

При шлифовании заготовок после термообработки поверхностный слой необходимо по возможности сохранить. Следовательно, слагаемое h_{i-1} нужно исключить из расчетной формулы, т.е. для односторонней обработки

$$Z_{i\min} = Rz_{i-1} + \rho_{i-1} + \varepsilon_i, \quad (1.65)$$

а для двухсторонней обработки

$$2Z_{i\min} = 2(Rz_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}). \quad (1.66)$$

При разворачивании плавающей разверткой и протягивании отверстий смещение и увод оси не устраняются, а погрешность установки принимается равной нулю, поэтому

$$2Z_{i\min} = 2(Rz_{i-1} + h_{i-1}). \quad (1.67)$$

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

$$2Z_{i\min} = 2Rz_{i-1}. \quad (1.68)$$

Следовательно, при расчете минимально необходимого припуска следует учитывать конкретные условия обработки. В зависимости от этих условий некоторые слагаемые не учитываются, что позволяет уменьшить припуск и сократить расходы на обработку. Расчет припусков удобно производить в виде расчетной карты. Порядок расчета припусков представлен в табл. 1.24.

**Порядок расчета припусков на обработку и предельных размеров
по технологическим переходам**

Для наружных поверхностей	Для внутренних поверхностей
1	2
1. Пользуясь рабочим чертежом детали и картой технологического процесса механической обработки, записать в расчетную карту обрабатываемые элементарные поверхности заготовки и технологические переходы обработки в порядке последовательности их выполнения по каждой элементарной поверхности от черновой заготовки до окончательной обработки	
2. Записать значения Rz , T , ρ , ϵ , Td , TD или TL для каждого перехода	
3. Определить расчетные минимальные припуски на обработку по всем технологическим переходам	
4. Записать для конечного перехода в графу «Расчетный размер» наименьший предельный размер детали по чертежу	4. Записать для конечного перехода в графу «Расчетный размер» наибольший предельный размер детали по чертежу
5. Для перехода, предшествующего конечному, определить расчетный размер прибавлением к наименьшему предельному размеру по чертежу расчетного припуска $z_{\min}$	5. Для перехода, предшествующего конечному, определить расчетный размер вычитанием из наибольшего предельного размера по чертежу расчетного припуска $z_{\min}$
6. Последовательно определить расчетные размеры для каждого предшествующего перехода прибавлением к расчетному размеру расчетного припуска $z_{\min}$ следующего за ним смежного перехода	6. Последовательно определить расчетные размеры для каждого предшествующего перехода вычитанием из расчетного размера расчетного припуска $z_{\min}$ следующего за ним смежного перехода
7. Записать наименьшие предельные размеры по всем технологическим переходам, округляя их увеличением расчетных размеров; округление производить до того же знака десятичной дроби, с каким дан допуск на размер для каждого перехода	7. Записать наибольшие предельные размеры по всем технологическим переходам, округляя их уменьшением расчетных размеров; округление производить до того же знака десятичной дроби, с каким дан допуск на размер для каждого перехода
8. Определить наибольшие предельные размеры прибавлением допуска к округленному наименьшему предельному размеру	8. Определить наименьшие предельные размеры путем вычитания допуска из округленного наибольшего предельного размера
9. Записать предельные значения припусков $z_{\max}$ как разность наибольших предельных размеров и $z_{\min}$ — как разность наименьших предельных размеров предшествующего и выполняемого переходов	9. Записать предельные значения припусков $z_{\max}$ как разность наименьших предельных размеров и $z_{\min}$ — как разность наибольших предельных размеров выполняемого и предшествующего переходов

1	2
10. Определить общие припуски $z_{0 \max}$ и $z_{0 \min}$, суммируя промежуточные припуски на обработку	
11. Проверить правильность произведенных расчетов по формулам: $z_{i \max} - z_{i \min} = T_{i-1} - T_i$; $2z_{i \max} - 2z_{i \min} = Td(TD)_{i-1} - Td(TD)_i$; $z_{0 \max} - z_{0 \min} = T_3 - T_d$; $2z_{0 \max} - 2z_{0 \min} = Td(TD)_3 - Td(TD)_d$	
12. Определить общий номинальный припуск по формулам: $z_{0 \text{ ном}} = z_{0 \min} + ei_3 - ei_d$; $2z_{0 \text{ ном}} = 2z_{0 \min} + ei_3 - ei_d$	12. Определить общий номинальный припуск по формулам: $z_{0 \text{ ном}} = z_{0 \min} + ES_3 - ES_d$; $2z_{0 \text{ ном}} = 2z_{0 \min} + ES_3 - ES_d$
13. Определить номинальный размер заготовки по формуле $d_{3 \text{ ном}} = d_{d \min} + Z_{0 \text{ ном}}(2Z_{0 \text{ ном}})$	13. Определить номинальный размер заготовки по формуле $D_{3 \text{ ном}} = D_{d \min} + Z_{0 \text{ ном}}(2Z_{0 \text{ ном}})$
14. Округлить номинальные размеры заготовок в сторону увеличения для наружных поверхностей и в сторону уменьшения для внутренних поверхностей согласно рекомендациям стандартов (ГОСТ 2590–88 – для проката, ГОСТ 7505–89 – для поковок, ГОСТ 25645–85 – для отливок) и окончательно установить размеры заготовок: номинальный и отклонения (верхнее и нижнее)	

Примечание. Условные обозначения: $Td(TD, TL)$ – допуски на размеры наружных и внутренних поверхностей; T_{i-1}, T_i – допуски предыдущего и выполняемого переходов; $T_3, (T_d)$ – допуски заготовки и детали; $Td(TD)_3$; $Td(TD)_d$ – допуски заготовки и детали; ei_3, ei_d – нижние отклонения заготовки и детали; ES_3, ES_d – верхние отклонения заготовки и детали; $d_{3 \text{ ном}}$, $d_{d \text{ ном}}$ – номинальные размеры заготовки и детали (для наружных поверхностей); $D_{3 \text{ ном}}$, $D_{d \text{ ном}}$ – номинальные размеры заготовки и детали (для внутренних поверхностей).

Рассмотренный метод назначения припусков на механическую обработку получил название аналитического. Достоинством его является возможность обоснованно определить операционные размеры. Припуски можно также назначать табличным методом с использованием стандартов ГОСТ 2590–88 – на прокат, ГОСТ 7505–89 – на поковки, ГОСТ 25645–85 – на отливки и других, однако в этом случае можно определить только общий припуск и нет возможности для определения операционных припусков.

Особенности расчета припусков

При расчете минимального припуска *отклонения расположения* необходимо учитывать у заготовок (под первый технический переход); после черновой и получистовой обработки лезвийным

инструментом (под последующий переход) и после термической обработки. На стадиях чистовой и отделочной обработки этими отклонениями пренебрегают.

Отклонение оси детали от прямолинейности (кривизну) определяют в зависимости от способа установки. При установке в центрах общее на длине L отклонение от прямолинейности (кривизна) определяется соотношением

$$\rho_{i-1} = \Delta_k L / 2, \quad (1.69)$$

а при консольном закреплении

$$\rho_{i-1} = 2\Delta_k L \cos[\arctg(2\Delta_k)], \quad (1.70)$$

где Δ_k — кривизна оси заготовки (мкм) на 1 мм длины.

Суммарное значение нескольких отклонений расположения определяют как векторную сумму, если направления этих векторов неизвестны:

$$\rho_{i-1}^{\Sigma} = \sqrt{\rho_{i-1,1}^2 + \rho_{i-1,2}^2 + \dots}. \quad (1.71)$$

Так, при обработке проката круглого сечения в центрах получим

$$\rho_{i-1}^{\Sigma} = \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \rho_{ц}^2}, \quad (1.72)$$

где ρ_{i-1} — общее отклонение оси от прямолинейности; $\rho_{ц}$ — смещение оси заготовки в результате погрешности расположения центровых отверстий, которая определяется при известном допуске TD диаметрального размера базы заготовки, использованной при центрировании (в миллиметрах), соотношением (при угле призмы 90°)

$$\rho_{ц} = \sqrt{\frac{TD^2}{2} + 0,25^2}. \quad (1.73)$$

При обработке отверстия в отливке и ее базировании на плоскость или при обработке плоскости торца и базировании по отверстию суммарное отклонение расположения ρ_{i-1}^{Σ} определяется геометрической суммой коробления плоскости и смещения оси отверстия.

После сверления отверстия суммарные отклонения определяются геометрической суммой смещения оси отверстия и уведом сверла на длине сверления.

Для каждого *промежуточного* расчетного размера назначаются допуски. При этом учитывается достигнутый квалитет точности на каждом технологическом переходе, который устанавливается с учетом таблиц точности обработки [8, 11]. Для промежуточных размеров предельные отклонения устанавливают таким образом, чтобы выполнялось требование «допуск в металл». Это означает, что для валов выбирают поле допуска h , а для отверстий — H соответствующего квалитета точности. Необходимые справочные данные представлены в литературе [8, 11, 13] и приложении В.

Для определения величины остаточных пространственных отклонений можно воспользоваться формулой

$$\rho_{\text{ост}} = K_y \rho_{\text{заг}}, \quad (1.74)$$

где K_y — коэффициент уточнения формы; $\rho_{\text{заг}}$ — пространственное отклонение заготовки.

Коэффициенты уточнения для различных видов заготовок и методов обработки приведены в табл. 1.25.

Таблица 1.25

Значения коэффициента уточнения [13]

Вид обработки	K_y
Однократное и черновое точение штампованных заготовок, заготовок из горячекатаного проката, предварительное шлифование проката 10–11-го квалитетов	0,06
Получистовая обработка заготовок из проката, штампованных заготовок, рассверливание отверстий, смещение оси отверстия после черновой обработки	0,05
Чистовое точение заготовок из сортового проката обыкновенного качества, штампованных заготовок, после первого технологического перехода обработки литых заготовок, после чистового шлифования проката 10–11-го квалитетов	0,04
Двукратное обтачивание калиброванного проката или двукратное шлифование заготовок после токарной обработки	0,02
Получистовая обработка (зенкерование и черновое развертывание отверстий)	0,005
Чистовая обработка — развертывание отверстий	0,002

Пример расчета припусков

Рассчитать припуски на механическую обработку поверхности $\varnothing 50 \text{к}6 \begin{smallmatrix} +0,018 \\ +0,002 \end{smallmatrix}$ с окончательной шероховатостью $Ra = 1,25 \text{ мкм}$ (см. рис. 3.1).

Заготовка — поковка штампованная, полученная на КГШП.

Решение

1. Составляем специальную расчетную карту (табл. 1.26). В эту карту заносим технологический маршрут обработки поверхности и значения элементов припуска (R_z , h , ρ) для заготовки и технологических переходов. Величины этих значений выбраны из табл. 4.3, 4.5 источника [12]. Допуск для заготовки определен по ГОСТ 7505—89, а для каждого технологического перехода — по источнику [8]. Для ясности производим нумерацию переходов: 0 — заготовка; 1 — обтачивание черновое; 2 — обтачивание чистовое; 3 — шлифование окончательное.

Таблица 1.26

Расчет припусков на обработку поверхности $\varnothing 50\text{к}6$

Номер и название перехода	Элементы припуска, мкм			Рас- чет- ный при- пуск $2Z_{i\text{min}}$, мкм	Расчет- ный размер, d_{pi} , мм	До- пуск, Td_i , мкм	Предельные размеры		Предельные припуски	
	R_z	h	ρ				d_{min}	d_{max}	$2Z_{\text{min}}^{\text{пр}}$	$2Z_{\text{max}}^{\text{пр}}$
0. Заготовка	150	250	2070		55,678	2600	55,7	58,3		
1. Обтачива- ние черновое	50	50	125	$2 \cdot 2470$	50,738	330	50,74	51,2	4960	7100
2. Обтачива- ние чистовое	30	30	83	$2 \cdot 225$	50,288	120	50,29	50,41	450	790
3. Шлифова- ние	5	15	—	$2 \cdot 143$	50,002	16	50,002	50,018	288	392
Σ									5698	8282

Суммарное отклонение для заготовки [13]

$$\rho_0 = \sqrt{\rho_{\text{см}}^2 + \rho_{\text{кор}}^2 + \rho_{\text{ц}}^2},$$

где $\rho_{\text{см}} = 0,9$ мм (по ГОСТ 7505—89); $\rho_{\text{кор}} = \Delta_{\text{к}} \cdot l$, здесь

$$\Delta_{\text{к}} = 1,5 \text{ мкм/мм (табл. 4.8 по источнику [13])}, l = \frac{L}{2} = \frac{325}{2} =$$

$$= 162,5 \text{ мм (см. рис. 3.1)}, \rho_{\text{кор}} = 1,5 \cdot 162,5 = 0,244 \text{ мм}; \rho_{\text{ц}} =$$

$$= \sqrt{\frac{Td_0^2}{2} + 0,25^2} = \sqrt{3,4425} = 1,85 \text{ мм, здесь } Td_0 = 2,6 \text{ мм — допуск}$$

заготовки (по ГОСТ 7505—89),

$$\rho_0 = \sqrt{0,9^2 + 0,244^2 + 1,85^2} = \sqrt{4,29} = 2,07 \text{ мм.}$$

Остаточные пространственные отклонения:

- после черного обтачивания

$$\rho_1 = 0,06\rho_0 = 0,06 \cdot 2070 = 124,2 \approx 125 \text{ мкм;}$$

- после чистового обтачивания

$$\rho_2 = 0,04 \cdot 2070 = 82,8 \approx 83 \text{ мкм.}$$

Погрешности установки для всех технологических переходов равны нулю, так как обработку проводят в центрах.

Все дальнейшие расчеты выполнены по методике и в последовательности, которые приведены в табл. 1.24.

2. Во всех случаях расчетный минимальный припуск рассчитываем по формуле

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

Для обтачивания черногового

$$2Z_{1\min} = 2(Rz_0 + h_0 + \rho_0),$$

или

$$2Z_{1\min} = 2(150 + 250 + 2070) = 2 \cdot 2470 \text{ мкм.}$$

Для обтачивания чистового

$$2Z_{2\min} = 2(Rz_1 + h_1 + \rho_1),$$

или

$$2Z_{2\min} = 2(50 + 50 + 125) = 2 \cdot 225 \text{ мкм.}$$

Для шлифования

$$2Z_{3\min} = 2(Rz_2 + h_2 + \rho_2),$$

или

$$2Z_{3\min} = 2(30 + 30 + 83) = 2 \cdot 143 \text{ мкм.}$$

3. Определяем расчетные размеры

$$d_{pi} = d_{mini} + 2Z_{i\min}.$$

Для шлифования

$$d_{p3} = d_{3\min}, \text{ или } d_{p3} = 50,002 \text{ мм.}$$

Для обтачивания чистового

$$d_{p2} = d_{p3} + 2Z_{3\min},$$

или

$$d_{p2} = 50,002 + 2 \cdot 0,143 = 50,288 \text{ м.}$$

Для обтачивания чернового

$$d_{p1} = d_{p2} + 2Z_{2\min},$$

или

$$d_{p1} = 50,288 + 2 \cdot 0,255 = 50,738 \text{ мм.}$$

Для заготовки

$$d_{p0} = d_{p1} + 2Z_{1\min},$$

или

$$d_{p0} = 50,738 + 2 \cdot 2,47 = 55,678 \text{ мм.}$$

4. Определяем минимальные предельные размеры $d_{\min}$, округляя расчетные размеры в сторону увеличения, и получаем:

$$\begin{aligned} d_{0\min} &= 55,7 \text{ мм}; \quad d_{1\min} = 50,74 \text{ мм}; \\ d_{2\min} &= 50,29 \text{ мм}; \quad d_{3\min} = 50,002 \text{ мм.} \end{aligned}$$

5. Определяем максимальные предельные размеры $d_{\max}$ путем прибавления допусков к минимальным предельным размерам и получаем:

$$\begin{aligned} d_{0\max} &= 58,3 \text{ мм}; \quad d_{1\max} = 51,2 \text{ мм}; \\ d_{2\max} &= 50,41 \text{ мм}; \quad d_{3\max} = 50,018 \text{ мм.} \end{aligned}$$

6. Определяем $2Z_{i\min}^{\text{np}}$ и $2Z_{i\max}^{\text{np}}$ по переходам

$$2Z_{i\min}^{\text{np}} = d_{i-1\min} - d_{i\min};$$

$$2Z_{i\max}^{\text{np}} = d_{i-1\max} - d_{i\max}$$

и получаем:

$$2Z_{1\min}^{\text{np}} = d_{0\min} - d_{1\min} = 55,7 - 50,74 = 4960 \text{ мкм};$$

$$2Z_{1\max}^{\text{np}} = d_{0\max} - d_{1\max} = 58,3 - 51,2 = 7100 \text{ мкм};$$

$$2Z_{2\min}^{\text{np}} = d_{1\min} - d_{2\min} = 50,74 - 50,29 = 450 \text{ мкм};$$

$$2Z_{2\max}^{\text{np}} = d_{1\max} - d_{2\max} = 51,2 - 50,41 = 790 \text{ мкм};$$

$$2Z_{3\min}^{\text{п}} = d_{2\min} - d_{3\min} = 50,29 - 50,002 = 288 \text{ мкм};$$

$$2Z_{3\max}^{\text{п}} = d_{2\max} - d_{3\max} = 50,41 - 50,018 = 392 \text{ мкм}.$$

7. Определяем общие предельные припуски:

$$2Z_{0\min}^{\text{п}} = \sum_{i=1}^n 2Z_{i\min}; 2Z_{0\max}^{\text{п}} = \sum_{i=1}^n 2Z_{i\max},$$

$$2Z_{0\min}^{\text{п}} = 4960 + 450 + 288 = 5698 \text{ мкм},$$

$$2Z_{0\max}^{\text{п}} = 7100 - 790 = 392 = 8282 \text{ мкм}.$$

8. Производим проверку правильности расчетов:

$$2Z_{0\max} - 2Z_{0\min} = Td_0 - Td_3,$$

или

$$8282 - 5698 = 2600 - 16, \text{ или } 2584 = 2584.$$

9. Определяем общий номинальный припуск:

$$2Z_{0\text{ ном}} = 2Z_{0\min} + ei_0 - ei_3 = 5698 + 900 - 2 = 6596 \text{ мкм}.$$

10. Определяем номинальный размер заготовки:

$$d_{0\text{ ном}} = d_{3\min} + 2Z_{0\text{ ном}},$$

или

$$d_{0\text{ ном}} = 50,002 + 6,596 = 56,598 \text{ мм}.$$

Определяем $d_{0\text{ ном}}$ в сторону увеличения и получаем $d_{0\text{ ном}} = 57 \text{ мм}$.

11. Имея предельные размеры и допуски на каждый переход, определяем размеры по переходам:

- заготовка — $\varnothing 57_{-0,9}^{+1,7}$;
- обтачивание черновое — $\varnothing 51,2_{-0,46}$;
- обтачивание чистовое — $\varnothing 50,41_{-0,29}$;
- шлифование — $\varnothing 50_{+0,002}^{+0,018}$.

Задачи расчета припусков механической обработки

Установить технологический маршрут обработки поверхности, аналитически рассчитать припуски, определить размер заготовки и операционные размеры. Исходные данные представлены в табл. 1.27. При решении задач можно использовать приложения Б; В.

Исходные данные к расчету припусков

Вариант	Поверхность	Исходные данные (источник)
1 2 3	Ø45h8 Ø60h14 Торцы, размер 325h14	См. рис. 3.1, табл. 3.1
4 5 6 7	Ø135h10 Ø100h7 Ø170h14 Размер 55 _{-0,74}	См. рис. 3.3, табл. 3.4
8 9 10	Размер 12 _{-0,43} Размер 51h14 Ø60H8, Ø65H8	См. рис. 3.4, табл. 3.5

1.6. Расчет режимов резания

Общие положения и расчетные зависимости

Расчет или назначение режимов резания можно проводить двумя методами: аналитическим по формулам теории резания и табличным с использованием нормативных материалов.

Расчет режимов резания обычно проводят в следующем порядке:

- выбирают вид и материал режущей части инструмента;
- определяют глубину резания: при черновой обработке глубину резания t принимают равной 60–70% общего припуска, а при чистовой — в зависимости от требований точности размеров и шероховатости обработанной поверхности;
- назначают подачу: при черновой обработке выбирают максимально возможную подачу исходя из жесткости и прочности технологической системы, мощности привода станка и других ограничивающих факторов, при чистовой обработке — в зависимости от требований точности размеров и шероховатости обработанной поверхности;
- уточняют величину подачи по паспорту станка — как правило, в меньшую сторону;
- определяют расчетную скорость резания:

$$V_p = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot s^y} \cdot K_v, \quad (1.75)$$

где C_v — постоянный коэффициент; T — период стойкости инструмента, мин; t — глубина резания, мм; s — подача, мм/об (мм/мин); m, x, y — показатели степени; K_v — поправочный коэффициент,

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{pv} \cdot K_{iv}, \quad (1.76)$$

здесь K_{mv} — коэффициент, учитывающей качество обрабатываемого материала; K_{pv} — коэффициент, характеризующий состояние поверхности заготовки; K_{iv} — коэффициент, учитывающий качество материала инструмента;

- определяют расчетную частоту вращения шпинделя станка или инструмента:

$$n_p = \frac{1000 \cdot V_p}{\pi \cdot D}, \quad (1.77)$$

где D — диаметр заготовки или инструмента;

- определяют принятую частоту вращения шпинделя станка или инструмента, уменьшая расчетную частоту вращения до ближайшего паспортного значения станка ($n_{пр}$);

- определяют действительную скорость резания:

$$V_d = \frac{\pi D n_{пр}}{1000}; \quad (1.78)$$

- определяют силы резания (P_z, P_y, P_x). Для каждого вида обработки существуют свои расчетные зависимости;

- определяют эффективную мощность резания:

$$N_e = \frac{P_z \cdot V_d}{1020 \cdot 60}, \quad (1.79)$$

где P_z — окружная сила резания, Н;

- определяют мощность, потребляемую на приводе станка:

$$N_{пр} = \frac{N_e}{\eta_{ст}}, \quad (1.80)$$

где $\eta_{ст}$ — к.п.д. станка — как правило, равный 0,85;

- сравнивают потребляемую мощность на приводе с мощностью электродвигателя станка ($N_{ст}$); при этом необходимо выполнение условия $N_{пр} \leq N_{ст}$, тогда обработка возможна;

- определяют основное технологическое (машинное) время:

$$t_o = \frac{L_{p.x}}{S_m}, \quad (1.81)$$

где $L_{p.x}$ — длина рабочего хода инструмента, мм,

$$L_{p.x} = l_{рез} + y_1 + y_2, \quad (1.82)$$

здесь $l_{рез}$ — длина резания, мм; y_1 — величина врезания инструмента, мм; y_2 — величина перебега (схода) инструмента, мм; S_m — минутная подача, мм/мин.

Во всех случаях длину рабочего хода инструмента, величины врезания и перебега определяют индивидуально в зависимости от вида обработки, типа и геометрии режущего инструмента, а также других факторов.

Необходимые справочные материалы для определения режимов резания аналитическим методом при различных видах обработки представлены в источниках [10, 12].

При назначении режимов резания табличным методом при выполнении операций на различных станках — токарных, фрезерных, сверлильных, протяжных, зубообрабатывающих, резьбообрабатывающих, шлифовальных — следует пользоваться источником [14], в котором представлена методика и приведены необходимые нормативные материалы.

Пример расчета режимов резания

В качестве примера приведен аналитический расчет режимов резания на операцию чистового обтачивания (см. рис. 3.1). Обработку производят на автоматической линии [18].

Исходные данные: операция токарная; проводится чистовое обтачивание поверхностей $\varnothing 45h8$ и $\varnothing 50k6$ и подрезка торца. Станок — токарный многорезцовый полуавтомат 1Н713. Длины обрабатываемых поверхностей: для продольного суппорта — 152 мм, для поперечного — 6,87 мм (см. рис. 3.1).

Материал заготовки — сталь 20Х с пределом прочности при растяжении $\sigma_B = 750$ МПа. Вид заготовки — штамповка. Шероховатость обработанной поверхности $Rz\ 80$ мкм. Технологическая система жесткая.

Выбор режущего инструмента: продольный суппорт — резец проходной упорный с неперетачиваемой пластинкой твердого сплава Т15К6 и размером державки 25×32 мм; $\varphi = 90^\circ$, $\varphi_1 = 10^\circ$, $\lambda = 5^\circ$, $\gamma = 15^\circ$. Поперечный суппорт — резец подрезной Т15К6.

Основной расчет производим для продольного суппорта, так как установленный в нем резец является лимитирующим.

Определяем глубину резания. Так как обрабатываются две шейки, имеют место и две глубины резания:

$$t_1 = \frac{D_1 - D_2}{2}; \quad (1.83)$$

$$t_2 = \frac{D_3 - D_4}{2}, \quad (1.84)$$

где — D_1 , D_3 — диаметральные размеры до обработки; D_2 , D_4 — диаметральные размеры после обработки. При $D_1 = 54$ мм, $D_2 = 51,06$, $D_3 = 52$, $D_4 = 45,94$ мм получим:

$$t_1 = \frac{54 - 51,06}{2} = 1,47 \text{ мм};$$

$$t_2 = \frac{52 - 45,94}{2} = 3,03 \text{ мм}.$$

Для более тяжелых условий расчет следует проводить при $t_2 = 3,03 \text{ мм}$.

Подача устанавливается из табл. 10 [10]: $S_1 = 0,5 \text{ мм/об}$.

Расчетная скорость резания из [10]:

$$V_{p1} = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot s^y} \cdot K_v, \quad (1.85)$$

где $C_v = 350$ — стойкость инструмента при обработке на автоматической линии (обычно принимается не менее 1/2 смены), $T = 240 \text{ мин}$;

$$K_v = k_{mv} \cdot k_{iv} \cdot k_{pv} \cdot k_{\phi v} \cdot k_{\phi 1v}, \quad (1.86)$$

здесь

$$k_{mv} = k_2 \left(\frac{750}{HB} \right)^{nv}, \quad (1.87)$$

$$k_2 = 1, n_v = 1, k_{mv} = 1 \cdot \left(\frac{750}{750} \right)^1 = 1,$$

$$k_{iv} = 1, k_{pv} = 0,8, k_{\phi v} = 0,7, k_{\phi 1v} = 1,$$

$$K_v = 1 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 0,7 \cdot 1 = 0,56; m = 0,20; x = 0,15; y = 0,35.$$

Данные коэффициенты выбраны из табл. 1, 2, 3, 6, 7 гл. 4 [10].

$$V_{p1} = \frac{350}{240^{0,2} \cdot 3,03^{0,15} \cdot 0,5^{0,35}} \cdot 0,56 = 71,22 \text{ м/мин}.$$

Расчетная частота вращения шпинделя

$$n_{p1} = \frac{1000 \cdot V_{p1}}{\pi \cdot D}, \quad (1.88)$$

где D — диаметр заготовки при обтачивании большей ступени, $D = 2 \cdot 27 = 54 \text{ мм}$.

$$\text{Тогда } n_p = \frac{1000 \cdot 71,22}{3,14 \cdot 54} = 420 \text{ мин}^{-1}.$$

По паспорту станка частота вращения шпинделя $n_{d1} = 400 \text{ мин}^{-1}$. Тогда действительная скорость резания

$$V_{д1} = \frac{\pi D n_{д1}}{1000} = \frac{3,14 \cdot 54 \cdot 400}{1000} = 67,82 \text{ м/мин.} \quad (1.89)$$

Минутная подача

$$S_{м1} = S_{01} \cdot n_{д} = 0,5 \cdot 400 = 200 \text{ мм/мин.} \quad (1.90)$$

Сила резания [10]

$$P_z = 10 C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_p, \quad (1.91)$$

где составляющая силы резания P_z

$$C_p = 300; K_p = k_{м.р} \cdot k_{фр} \cdot k_{\gamma p} \cdot k_{\lambda p}, \text{ здесь } k_{м.р} = \left(\frac{\sigma_B}{750} \right)^n,$$

$$n = 0,75, k_{фр} = 0,89, k_{\gamma p} = 1,25, k_{\lambda p} = 1,0, k_{м.р} = \left(\frac{750}{750} \right)^{0,75} = 1,$$

$$K_p = 1 \cdot 0,89 \cdot 1,25 \cdot 1 = 1,11, x = 1,0, y = 0,75, n = -0,15,$$

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 3,03^{1,0} \cdot 0,5^{0,75} \cdot 67,82^{-0,15} \cdot 1,11 = 3155 \text{ Н.}$$

Для определения составляющих силы резания P_y и P_x можно использовать данные табл. 2, 3 гл. 4 [10]. Результаты расчета представлены в табл. 1.28.

Таблица 1.28

Расчет составляющих силы резания

Обозначение	Для P_y	Для P_x
C_p	243	339
x	0,9	1,0
y	0,6	0,5
n	-0,3	-0,4
$k_{мр}$	1,0	1,0
$k_{фр}$	0,5	1,17
$k_{\gamma p}$	2,0	2,0
$k_{\lambda p}$	0,75	1,07
Величина силы, Н	912,7	3235,6

Определение мощностей:

- эффективная мощность резания [10]:

$$N_e = \frac{P_z \cdot V_{д1}}{1020 \cdot 60} = \frac{3155 \cdot 67,82}{60 \cdot 1020} = 3,50 \text{ кВт;} \quad (1.92)$$

- мощность на приводе:

$$N_{\text{пр}} = \frac{N_e}{\eta} = \frac{3,5}{0,85} = 4,11 \text{ кВт}, \quad (1.93)$$

где η – к.п.д. станка, $\eta = 0,85$;

- мощность станка $N_{\text{ст}} = 5 \text{ кВт}$.

Коэффициент использования станка по мощности

$$\eta_{\text{м}} = \frac{N_{\text{пр}}}{N_{\text{ст}}} = \frac{4,11}{5} = 0,82. \quad (1.94)$$

Определение основного технологического времени:

$$t_{o1} = \frac{L_{\text{р.х}1}}{S_{\text{м}1}},$$

где $L_{\text{р.х}1}$ – длина рабочего хода, $L_{\text{р.х}1} = l_{\text{рез}} + y_1 + y_2$, здесь $l_{\text{рез}} = 152 \text{ мм}$; y_1 – величина врезания инструмента, $y_1 = 2 \text{ мм}$; y_2 – величина перебега инструмента, $y_2 = 2 \text{ мм}$, $L_{\text{р.х}} = 152 + 2 + 2 = 156 \text{ мм}$; $S_{\text{м}1} = 200 \text{ мм/мин}$;

$$t_{o1} = \frac{156}{200} = 0,78 \text{ мин.}$$

Поперечный суппорт: здесь можно ограничиться лишь некоторыми расчетами.

Подача $S_{o2} = 0,2 \text{ мм/об.}$

Скорость резания при $n_{д1} = 400 \text{ мин}^{-1}$

$$V_{д2} = \frac{\pi \cdot D \cdot n_{д1}}{1000} = \frac{3,14 \cdot 60,42 \cdot 400}{1000} = 75,9 \text{ м/мин.}$$

При расчете скорости в качестве расчетного диаметра принято максимальное значение диаметра после операции 020 (см. табл. 3.1) – $\varnothing 60,42 \text{ мм}$.

Минутная подача $S_{\text{м}2} = 0,2 \cdot 400 = 80 \text{ мм/мин.}$

Основное технологическое время

$$t_{o2} = \frac{L_{\text{р.х}2}}{S_{\text{м}2}},$$

где $L_{\text{р.х}2}$ – длина рабочего хода, $L_{\text{р.х}2} = l_{\text{рез}} + y_1$, здесь $l_{\text{рез}} = 60,42 - 51,06$
 $= \frac{60,42 - 51,06}{2} = 4,68 \text{ мм}$, y_1 – величина врезания инструмента,

$$y_1 = 2 \text{ мм}; L_{p.x2} = 4,68 + 2 = 6,68 \text{ мм};$$

$$t_{o2} = \frac{6,68}{80} = 0,08 \text{ мин.}$$

Так как обработку проводят последовательно, то основное технологическое время операции равно

$$t_o = t_{o1} + t_{o2} = 0,78 + 0,08 = 0,86 \text{ мин.}$$

Расчет сил и мощности резания можно не проводить, так как величина их значительно меньше, чем для продольного суппорта, а обработку проводят последовательно.

Задачи расчета режимов резания механической обработки

Рассчитать режимы резания для выполнения операций. Определить основное время операции. Исходные данные представлены в табл. 1.29.

Таблица 1.29

Исходные данные к расчету режимов резания

Вариант	Номер операции	Вид обработки	Исходные данные (источник)
1	010	Фрезерование торцов и центрование	См. рис. 3.1, табл. 3.1
2	015	Черновое обтачивание	
3	020	Чистовое обтачивание	
4	035	Фрезерование шпоночного паза	
5	045	Фрезерование резьбы	
6	065	Шлифование диаметра и торца	
7	075	Шлифование диаметра	
8	010	Долбление эвольвентных шлицев	См. рис. 3.3, табл. 3.4
9	020	Зубофрезерование	
10	030	Шлифование отверстия и торца	
11	040	Шлифование зубьев	
12	010	Фрезерование плоскости, обработка отверстий	См. рис. 3.4, табл. 3.5
13	015	Фрезерование плоскостей, растачивание отверстий	
14	015	Обработка резьбовых отверстий	
15	020	Обработка резьбового отверстия	

1.7. Техническое нормирование операций механической обработки

Общие положения. Определение нормы времени для различных видов механической обработки

Норма времени — это время выполнения некоторого объема работ в определенных производственных условиях одним или несколькими исполнителями соответствующей квалификации. Норма времени обычно устанавливается на технологическую операцию и служит для выполнения экономических расчетов и нормирования труда рабочих. Такая норма времени называется нормой штучно-калькуляционного времени. Она определяется по соотношению

$$t_{\text{шт.-к}} = t_{\text{шт}} + \frac{T_{\text{п.-з}}}{n}, \quad (1.95)$$

где $t_{\text{шт}}$ — штучное время, т.е. время на выполнение работы, равной единице нормирования, мин; $T_{\text{п.-з}}$ — подготовительно-заключительное время на партию n обрабатываемых заготовок, мин.

При техническом нормировании норму штучного времени подсчитывают по формуле

$$t_{\text{шт}} = t_{\text{о}} + t_{\text{в}} + t_{\text{обсл}} + t_{\text{отд}}, \quad (1.96)$$

где $t_{\text{о}}$ — основное технологическое время, мин; $t_{\text{в}}$ — вспомогательное время (установка и снятие детали, подвод и отвод инструмента, включение станка и подачи, смена инструмента, контрольные измерения и др.), мин; $t_{\text{обсл}}$ — время обслуживания (технического и организационного) рабочего места, включающее уход за рабочим местом в течение рабочей смены и организацию самой работы, мин; $t_{\text{отд}}$ — время на личные потребности рабочего и отдых, мин.

Время на обслуживание рабочего места разделяют на время технического обслуживания $t_{\text{тех}}$ и время организационного обслуживания $t_{\text{орг}}$, т.е.

$$t_{\text{обсл}} = t_{\text{тех}} + t_{\text{орг}}. \quad (1.97)$$

При этом время $t_{\text{тех}}$ можно определить в процентах к основному времени либо рассчитать по формуле

$$t_{\text{тех}} = \frac{t_{\text{о}} \cdot t_{\text{см}}}{T}, \quad (1.98)$$

где $t_{\text{см}}$ — время смены инструмента, мин; T — стойкость инструмента, мин.

Время $t_{\text{орг}}$ принимают в процентах от оперативного $t_{\text{оп}}$ времени (суммы $t_o + t_b$) по нормативам [15, 16, приложение Г]. Время $t_{\text{отд}}$ принимают в процентах от оперативного времени $t_{\text{оп}}$. Такой расчет производят в условиях крупносерийного и массового производств.

В условиях серийного производства определяют одну норму на обслуживание и отдых, которую назначают в процентах от оперативного времени.

Основное (машинное) время — это время на достижение непосредственной цели данной технологической операции или перехода по качественному и (или) количественному изменению предмета труда. При всех станочных операциях основное время определяется отношением пути, пройденного обрабатывающим инструментом, к его минутной подаче, т.е.

$$t_o = \frac{L_{\text{п.х}}}{S_m} \cdot i, \quad (1.99)$$

где $L_{\text{п.х}}$ — длина рабочего хода инструмента в направлении подачи, мм, здесь

$$L_{\text{п.х}} = l_{\text{рез}} + y_1 + y_2, \quad (1.100)$$

$l_{\text{рез}}$ — длина обрабатываемой поверхности (длина резания), мм; y_1 — длина врезания, мм; y_2 — длина перебега инструмента, мм; S_m — минутная подача, мм/мин; i — число рабочих ходов.

При *точении, растачивании, подрезке торцов, отрезке* величину y_1 определяют по формуле

$$y_1 = \frac{t}{\text{tg}\varphi} + (0,5 \dots 2), \quad (1.101)$$

где t — глубина резания; φ — главный угол в плане, а длину перебега y_2 принимают равной 0,5...2 мм.

При *сверлении глухом и сверлении напроход*, а также при центровании длину врезания определяют по формуле

$$y_1 = \frac{d}{2} \text{ctg}\varphi + (0,5 \dots 2), \quad (1.102)$$

а при *рассверливании, зенкерования, развертывании напроход*

$$y_1 = \frac{D-d}{2} \text{ctg}\varphi + (0,5 \dots 2), \quad (1.103)$$

где D — диаметр рассверливания, зенкерования или развертывания, мм; d — диаметр просверленного отверстия (сверла), мм.

При *глухом зенкеровании и развертывании*, а также при *зенкеро-вании фасок и цековании* значение y_1 принимают равным 0,5...2 мм.

При *нарезании цилиндрических зубчатых колес модульной дисковой фрезой*

$$t_o = \frac{l_{\text{рез}} + y_1 + y_2}{S_m} \cdot Z \cdot i, \quad (1.104)$$

где $y_1 = \sqrt{h(D_{\text{ф}} - h)} + (1...2)$, здесь h – высота зуба, мм, $D_{\text{ф}}$ – диаметр фрезы, мм; $y_2 = 2...4$ (мм), $S_m = S_z \cdot Z_{\text{ф}} n$ (мм), $Z_{\text{ф}}$ – число зубьев фрезы, n – частота вращения фрезы, мин^{-1} ; Z – число зубьев колеса.

При *нарезании цилиндрических зубчатых колес червячной модульной фрезой*

$$t_o = \frac{l_{\text{рез}} + y_1 + y_2}{S_m \cdot q} \cdot Z, \quad (1.105)$$

где $y_1 = (1,1...1,2)\sqrt{h(D_{\text{ф}} - h)}$; $y_2 = 2...3$ мм; q – число заходов червячной фрезы.

При *нарезании цилиндрических зубчатых колес долбяком*

$$t_o = \frac{h}{S_p \cdot n} + \frac{\pi m Z}{S_{\text{кр}} \cdot n} \cdot i, \quad (1.106)$$

где S_p – радиальная подача на двойной ход долбяка, мм; n – число двойных ходов долбяка в минуту; m – модуль нарезаемого колеса; $S_{\text{кр}}$ – круговая подача на двойной ход долбяка, мм; i – число проходов (обкатов).

При *шевинговании цилиндрических зубчатых колес дисковым шевером*

$$t_o = \frac{(l_{\text{рез}} + 10) \cdot Z}{S_{\text{пр}} \cdot Z_{\text{ш}} \cdot n_{\text{ш}}} \cdot \frac{h}{S_{\text{в}}}, \quad (1.107)$$

где h – толщина снимаемого с зубьев слоя металла, мм; $S_{\text{пр}}$ – продольная подача на один оборот заготовки, мм; $Z_{\text{ш}}$ – число зубьев шевера; $n_{\text{ш}}$ – частота вращения шевера, мин^{-1} ; $S_{\text{в}}$ – вертикальная подача на один ход стола, мм.

При *закруглении зубьев пальцевой фрезой*

$$t_o = \frac{a \cdot Z}{60}, \quad (1.108)$$

где a – время на обработку зуба, с.

При нарезании резьбы резцами на токарном станке

$$t_o = \frac{l_{\text{рез}} + y_1 + y_2}{S \cdot n} \cdot i, \quad (1.109)$$

где $y_1 = y_2 = 1 \dots 3$ шага нарезаемой резьбы, мм.

При нарезании резьбы метчиком в сквозном отверстии и наружной резьбы плашками

$$t_o = \frac{l_{\text{рез}} + y_1 + y_2}{S \cdot n} + \frac{l_{\text{рез}} + y_1 + y_2}{S \cdot n_1}, \quad (1.110)$$

где $y_1 = 1 \dots 3$ шага нарезаемой резьбы, мм; $y_2 = 2 \dots 3$ шага резьбы; S — шаг резьбы, мм; n, n_1 — частота соответственно прямого и обратного вращения, мин^{-1} .

При нарезании резьбы метчиками в глухом отверстии

$$t_o = \frac{l_{\text{рез}} + y_1}{S \cdot n} + \frac{l_{\text{рез}} + y_1}{S \cdot n_1}. \quad (1.111)$$

При нарезании резьбы резбовой фрезой

$$t_o = \frac{1,2\pi \cdot D}{S_m}, \quad (1.112)$$

где $S_m = S_z \cdot Z_p \cdot n_{\text{ф}}$, мм/мин, здесь S_z — подача на один зуб фрезы; Z_p — число зубьев фрезы; $n_{\text{ф}}$ — частота вращения фрезы, мин^{-1} ; D — наибольший диаметр нарезаемой резьбы.

При использовании резбовой головки

$$t_o = \frac{l_{\text{рез}} + y_1 + y_2}{S \cdot n} \cdot i, \quad (1.113)$$

где $y_1 = 1 \dots 3$ шага нарезаемой резьбы, мм; $y_2 = 0,5 \dots 2$ шага нарезаемой резьбы.

При вихревом нарезании резьбы

$$t_o = \frac{(l_{\text{рез}} + y_1 + y_2) \cdot \pi \cdot D_d}{S \cdot S_o \cdot n_p \cdot Z_p}, \quad (1.114)$$

где $y_1 = 1 \dots 3$ шага нарезаемой резьбы, мм; $y_2 = 0,5 \dots 2$ шага нарезаемой резьбы; D_d — диаметр резьбы (наружный), мм; S — шаг резьбы, мм; S_o — круговая подача заготовки в миллиметрах на один резец за один оборот резцовой головки; n_p — частота вращения резцовой головки, мин^{-1} ; Z_p — число резцов.

При фрезеровании плоскостей цилиндрической фрезой, уступов концевой фрезой, плоскостей концевой фрезой ($\varphi = 90^\circ$) основное время определяется по одной и той же формуле:

$$t_o = \frac{l_{\text{рез}} + y_1 + y_2}{S \cdot n} \cdot i, \quad (1.115)$$

где $y_1 = \sqrt{t(D_\phi - t)} + (0,5 \dots 3)$, здесь t — глубина фрезерования, мм; D_ϕ — диаметр фрезы, мм; $y_2 = 2 \dots 5$ мм.

При фрезеровании шпоночной канавки шпоночной фрезой (канавка закрыта с двух сторон)

$$t_o = \frac{h + (0,5 \dots 1)}{S_{\text{BM}}} + \frac{l_{\text{рез}} - d}{S_{\text{ГМ}}}, \quad (1.116)$$

где h — глубина шпоночного паза, мм; $l_{\text{рез}}$ — длина паза, мм; d — диаметр фрезы, мм; S_{BM} — вертикальная минутная подача, мм/мин; $S_{\text{ГМ}}$ — горизонтальная минутная подача, мм/мин.

Если канавка открыта с двух сторон или на ее концах просверлены отверстия на полную ее глубину, то

$$t_o = \frac{l_{\text{рез}} - d}{S_{\text{ГМ}}}. \quad (1.117)$$

При наружном и внутреннем круглом шлифовании методом продольной подачи t_o определяется по формуле

$$t_o = \frac{L}{S_d \cdot B_k \cdot n_d} \cdot \frac{h}{t} \cdot K, \quad (1.118)$$

где $L = l - (0,2 \dots 0,4)B_k$ при шлифовании напроход и $L = l - (0,4 \dots 0,6)B_k$ при шлифовании в упор, мм; B_k — ширина круга, мм; h — снимаемый припуск, мм; S_d — продольная подача, мм/мин; n_d — частота вращения заготовки, мин^{-1} ; t — глубина резания или поперечная подача круга за один оборот заготовки; K — поправочный коэффициент, зависящий от точности шлифования. При повышении точности шлифования от 0,1...0,15 до 0,02...0,03 мм его значение увеличивается от 1,1 до 1,7.

При наружном круглом шлифовании в центрах методом вращения

$$t_o = \frac{h}{t \cdot n_d} \cdot K. \quad (1.119)$$

При наружном круглом бесцентровом шлифовании напроход

$$t_o = \frac{l \cdot m + B_k}{S_m \cdot m} \cdot i \cdot K, \quad (1.120)$$

где m — число заготовок, шлифуемых непрерывным потоком;
 S_m — продольная подача заготовки, мм/мин,

$$S_m = \pi \cdot D_{к.в} \cdot n_{к.в} \cdot \sin \alpha, \quad (1.121)$$

здесь $D_{к.в}$ — диаметр ведущего круга, мм; $n_{к.в}$ — частота вращения ведущего круга, мин⁻¹; i — число рабочих ходов заготовки; α — угол наклона круга, град.

При наружном бесцентровом шлифовании методом врезания t_o определяется по формуле круглого шлифования врезанием, в которой частота вращения заготовки определяется по соотношению

$$n_d = \frac{n_{к.в} \cdot D_{к.в}}{d}, \quad (1.122)$$

где d — диаметр обрабатываемой заготовки, мм.

При плоском шлифовании периферией круга на станках с прямоугольным столом

$$t_o = \frac{l_{рез} + y_1 + y_2}{V_3 \cdot 1000} \cdot \frac{(B_d + B_k + 5)}{S_d \cdot B_k} \cdot \frac{h}{t} \cdot \frac{1}{m} \cdot K, \quad (1.123)$$

где $y_1 + y_2 = 10 \dots 15$ мм; B_d — ширина поверхности магнитной плиты, занятой заготовками; (при $B_k > B_d$ принимают $(B_d + B_k + 5) / (S_d B_k) = 1$); V_3 — скорость продольного перемещения заготовок, м/мин; m — число одновременно обрабатываемых заготовок.

При плоском шлифовании торцом круга на станках с прямоугольным столом

$$t_o = \frac{l_{рез} + y_1 + y_2}{V_{ст} \cdot 1000} \cdot \frac{h}{t} \cdot \frac{1}{m} \cdot K, \quad (1.124)$$

где $y_1 = 0,5(D_k - \sqrt{D_k^2 - B_d^2})$; $y_2 = 5 \dots 10$ мм.

При плоском шлифовании торцом круга на станках с круглым столом

$$t_o = \frac{h}{t \cdot n_{ст}} \cdot \frac{1}{m} \cdot K, \quad (1.125)$$

где $n_{ст} = \frac{V_{ст} \cdot 1000}{\pi \cdot D_{ст}}$, здесь $V_{ст}$ — линейная скорость вращения стола, м/мин, $D_{ст}$ — диаметр окружности стола, на котором расположены заготовки.

При *хонинговании отверстий* основное время определяется по формуле

$$t_o = \frac{h}{t \cdot n_x}, \quad (1.126)$$

где t — радиальная подача на двойной ход инструмента, мм;

$n_x = \frac{V_n \cdot 1000}{2 \cdot (l_{рез} + 2l_{п} + l_{бр})}$, здесь $l_{рез}$ — длина отверстия, мм, $l_{п}$ — дополнительная длина, характеризующая предельные положения брусков, $l_{п} = 25$ мм; $l_{бр}$ — длина хонинговальных брусков.

При *протягивании отверстий гладких и шлицевых*

$$t_o = \frac{l + (5 \dots 10)}{V \cdot 1000}, \quad (1.127)$$

где l — длина обработки, мм,

$$l = l_{р.пр} + l_3, \quad (1.128)$$

здесь $l_{р.пр}$ — длина рабочей части протяжки, мм, l_3 — длина протягиваемого отверстия (заготовки), мм; V — скорость протягивания, м/мин.

Рассмотренную методику определения основного времени можно использовать при однопозиционной обработке. При многопозиционной обработке на многопозиционных и агрегатных станках основное время операции может быть определено как сумма основных времен по позициям в случаях последовательной обработки либо по лимитирующей позиции (позиции, на которой основное время наибольшее) в случае параллельной обработки. Следует отметить, что второй вариант более предпочтителен, так как при этом возрастает производительность обработки.

Представленные формулы для определения основного (машинного) времени, поправочные коэффициенты и рекомендации по их использованию при выполнении расчетов можно использовать из источников [10, 12, 13, 16]. Там же находятся и формулы для других способов обработки деталей, которые здесь не приводятся, а также рекомендации по определению основного времени при обработке деталей на одношпиндельных и многошпиндельных токарных автоматах, станках с ЧПУ и многооперационных станках.

Составляющие нормы штучного времени можно выбирать, используя приложение Г, где представлены нормы вспомогательного времени на отдельные приемы применительно к массовому производству. Эти нормативы времени можно использовать

и для нормирования в серийном производстве. В случае средне-серийного производства нормы в таблицах вспомогательного времени умножают на 1,85, а в случае крупносерийного – на 1,5.

Время на организационное обслуживание рабочего места, время перерывов на отдых и личные надобности определяются в процентах от оперативного времени. Эти данные представлены в соответствующих таблицах приложения Г, где также приведены нормативы подготовительно-заключительного времени при обработке на станках различных типов.

Примеры расчета нормы штучного времени на операцию технологического процесса

Пример 1. Определить норму штучного времени для нарезания резьбы М10-7Н в отверстии глубиной 17 мм в условиях массового производства. Нарезание резьбы осуществляется на специальном токарном станке метчиком. Частота вращения шпинделя станка при нарезании резьбы $n = 250 \text{ мин}^{-1}$, частота вращения при ускоренном обратном ходе $n_1 = 1000 \text{ мин}^{-1}$. Используется специальный патрон с пневматическим приводом. Заготовка – поковка массой 1 кг.

Решение

Для условий массового производства норма штучного времени определяется по формуле, не учитывающей подготовительно-заключительное время, которое в связи с большим количеством деталей в партии мало.

Основное время определяется по формуле (1.110), принимая длину врезания $y_1 = 2$ шага резьбы, а длину перебега $y_2 = 3$ шага резьбы. Шаг резьбы $S = 1,5 \text{ мм}$:

$$\begin{aligned} t_o &= \frac{17 + 2 \cdot 1,5 + 3 \cdot 1,5}{1,5 \cdot 250} + \frac{17 + 2 \cdot 1,5 + 3 \cdot 1,5}{1,5 \cdot 1000} = \\ &= 0,065 + 0,016 = 0,08 \text{ мин.} \end{aligned}$$

Для определения нормы штучного времени к t_o следует добавить другие составляющие. Эти составляющие устанавливаются по нормативам времени для массового производства [15].

Вспомогательное время на установку заготовки и снятие детали в цанговом патроне с креплением пневмозажимом $t_{в1} = 0,08 \text{ мин}$.

Вспомогательное время на приемы управления станком: включить или выключить станок рычагом – $t_{в2} = 0,02 \text{ мин}$; подвести метчик и отвести – $t_{в3} = 0,01 \text{ мин}$.

Вспомогательное время на перемещение каретки суппорта в продольном направлении: прямое перемещение в начале выполнения операции – $t_{в4} = 0,04$ мин; обратное перемещение после нарезания резьбы – $t_{в5} = 0,04$ мин.

Вспомогательное время на контроль резьбы пробкой $t_{в6} = 0,27$ мин.

Общее вспомогательное время

$$t_{в} = t_{в1} + 2 \cdot t_{в2} + t_{в3} + t_{в4} + t_{в5} + t_{в6},$$

или

$$t_{в} = 0,08 + 2 \cdot 0,02 + 0,02 + 0,01 + 0,04 + 0,04 + 0,27 = 0,48 \text{ мин.}$$

Оперативное время $t_{оп} = t_o + t_{в} = 0,08 + 0,48 = 0,56$ мин.

Время на обслуживание рабочего места включает несколько составляющих. Затраты времени на техническое обслуживание рабочего места составляют 2% от основного, $t_{тех} = 0,02 \cdot 0,08 = 0,002$ мин.

Затраты времени на организационное обслуживание рабочего места составляют 1,3% от оперативного, $t_{орг} = 0,013 \cdot 0,56 = 0,007$ мин.

Затраты времени на перерывы и отдых принимаем 7% от оперативного, т.е. $t_{отд} = 0,07 \cdot 0,56 = 0,04$ мин.

Штучное время находим суммированием всех составляющих:

$$\begin{aligned} t_{шт} &= t_o + t_{в} + t_{тех} + t_{орг} + t_{отд} = \\ &= 0,08 + 0,48 + 0,002 + 0,007 + 0,04 = 0,61 \text{ мин.} \end{aligned}$$

Пример 2. Определить норму штучного времени для операции чистового обтачивания вала (см. рис. 3.1). Обработку производят на автоматической линии. Производство массовое.

Решение

Расчет нормы штучного времени для операции чистового обтачивания проводим по нормативам [15]:

$$t_{шт} = t_o + t_{в} + t_{тех} + t_{орг} + t_{отд},$$

где t_o – основное время, определенное при расчете режимов резания, $t_o = 0,86$ мин; $t_{в} = t_{уст} + t_{упр} + t_{изм}$ – вспомогательное время, здесь $t_{уст}$ – время на установку и снятие заготовки, $t_{упр}$ – время на управление станком, $t_{изм}$ – время на измерения.

Установку и снятие заготовки производим с помощью двуручного автооператора, имеющего три движения: транспортное – перемещение заготовки от шагового транспортера к станку и обработанной детали от станка к шаговому транспортеру; рабочее – перемещение объектов обработки в рабочую зону станка и

на шаговый транспортер; движение захвата — зажим и разжим рук автооператора. При установке заготовки эти движения осуществляются в следующем порядке. В исходной позиции автооператор находится над шаговым транспортером. Первое движение — разжим первой руки; второе движение — перемещение первой руки к шаговому транспортеру; третье движение — зажим руки (охватывание заготовки); четвертое движение — подъем руки с заготовкой; пятое движение — перемещение заготовки к станку; шестое движение — перемещение заготовки в рабочую зону станка; седьмое движение — разжим руки; восьмое движение — подъем руки. Здесь рассмотрена лишь первичная загрузка, т.е. обработка первой детали. Вторая рука при этом свободна. За время обработки первой заготовки автооператор совершает движение к транспортеру и возвращается к станку. При этом вторая рука удерживает заготовку, а первая свободна. Далее при работе линии первая рука снимает обработанную деталь, вторая устанавливает заготовку.

Для работающей линии время установки и снятия детали $t_{уст}$ складывается из времени перемещения первой руки в рабочую зону станка ($t_{уст1}$), зажима обработанной детали ($t_{зж1}$), подъема детали ($t_{под1}$), перемещения второй руки с заготовкой ($t_{уст2}$), разжима второй руки ($t_{разж2}$), подъема второй руки ($t_{под2}$), перемещения автооператора к транспортеру ($t_{тр}$), опускания первой руки к транспортеру ($t_{оп1}$), разжима первой руки ($t_{разж1}$), т.е.

$$t_{уст} = t_{уст1} + t_{зж1} + t_{под1} + t_{уст2} + \\ + t_{разж2} + t_{под2} + t_{тр} + t_{оп1} + t_{разж1}.$$

Время захвата новой заготовки и ее перемещения к станку перекрывается машинным временем.

Приняв скорость перемещения узлов автооператора, равную 20 м/мин, и величину транспортного и рабочего перемещения соответственно — 3 и 1,5 м, находим составляющие времени установки и транспортирования:

$$t_{уст1} = t_{под1} = t_{уст2} = t_{под2} = t_{оп1} = \frac{1,5}{20} = 0,075 \text{ мин}; \\ t_{тр} = \frac{3}{20} = 0,15 \text{ мин}.$$

Если время зажима и разжима рук принято равным 0,03 мин, тогда время на установку и снятие заготовки

$$t_{уст} = 0,075 + 0,03 + 0,075 + 0,075 + 0,03 + \\ + 0,075 + 0,15 + 0,075 + 0,03 = 0,615 \text{ мин}.$$

Время на управление станком

$$t_{\text{упр}} = t_1 + t_2 + t_3 + 2t_4,$$

где составляющие времени управления определены по данным источника [15]; $t_1 = 0,05$ мин – время на включение и выключение станка; $t_2 = 0,05$ мин – время ожидания остановки вращения шпинделя; t_3 – время отвода суппортов, которое состоит из двух времен: t'_3 – время отвода продольного суппорта, t''_3 – время отвода поперечного суппорта.

Имея величины перемещений для продольного суппорта 170 мм, для поперечного – 30 мм и приняв скорости перемещений: продольного – 3,4 м/мин и поперечного – 1,5 м/мин суппортов [15], искомые времена определяем как

$$t'_3 = \frac{0,17}{3,4} = 0,05 \text{ мин}; \quad t''_3 = \frac{0,03}{1,5} = 0,02 \text{ мин}$$

(так как суппорты отводятся одновременно, $t_3 = t'_3 = 0,05$ мин); t_4 – время подвода (отвода) пиноли задней бабки, осуществляющей закрепление (открепление) детали в станке. Приняв величину перемещения 100 мм и скорость перемещения пиноли 1,5 м/мин, получим

$$t_4 = \frac{0,1}{1,5} = 0,066 \text{ мин};$$

окончательно

$$t_{\text{упр}} = 0,05 + 0,05 + 0,05 + 2 \cdot 0,066 = 0,282 \text{ мин.}$$

Время измерения $t_{\text{изм}} = 0$, так как перекрывается машинным временем.

Тогда

$$t_{\text{в}} = 0,615 + 0,282 = 0,897 \text{ мин.}$$

Оперативное время

$$t_{\text{оп}} = t_{\text{о}} + t_{\text{в}} = 0,89 + 0,897 = 1,787 \text{ мин.}$$

Время на техническое обслуживание

$$t_{\text{тех}} = \frac{t_{\text{о}} \cdot t_{\text{см}}}{T}.$$

Время смены инструмента [15]

$$t_{\text{см}} = t_{\text{см}1} + t_{\text{см}2},$$

где $t_{\text{см}1}$ – время смены резца на продольном суппорте, $t_{\text{см}1} = 5,8$ мин; $t_{\text{см}2}$ – время смены двух резцов на поперечном суппорте, $t_{\text{см}2} = 2,6$ мин.

Окончательно

$$t_{\text{см}} = 5,8 + 2,6 = 8,4 \text{ мин.}$$

Период стойкости инструментов $T = 240$ мин.

Отсюда

$$t_{\text{тех}} = \frac{0,89 \cdot 8,4}{240} = 0,031 \text{ мин.}$$

Время на организационное обслуживание

$$t_{\text{орг}} = t_{\text{оп}} \frac{\alpha_{\text{орг}}}{100},$$

где $\alpha_{\text{орг}} = 1,7\%$ (карта 4.13.1, лист 1 [15]).

Тогда

$$t_{\text{орг}} = 1,787 \frac{1,7}{100} = 0,030 \text{ мин.}$$

Время отдыха не нормируется ввиду того, что линия работает в автоматическом цикле и оно учитывается при составлении циклограммы работы оператора и наладчика.

Окончательно

$$t_{\text{шт}} = 0,89 + 0,897 + 0,031 + 0,030 = 1,848 \text{ мин.}$$

Аналогично нормирование производят и для других операций обработки деталей на автоматической линии. При этом одним из важных требований является то, чтобы штучное время на любой операции не превышало такта выпуска, определяемого программой. Кроме того, необходимо, чтобы штучное время на всех операциях было примерно одинаково. Достигается это синхронизацией операций, которая осуществляется путем варьирования режимов резания на операциях. Выполнение этих условий обеспечивает возможность установки на каждой операции одной единицы оборудования.

Задачи по нормированию операций механической обработки

Рассчитать нормы времени для выполнения операций. Исходные данные представлены в табл. 1.30. Тип производства выбирается индивидуально. При решении задач можно воспользоваться данными, приведенными в приложении Г.

Таблица 1.30

Исходные данные к расчету норм времени

Вариант	Номер операции	Вид обработки	Исходные данные (источник)
1	010	Фрезерование торцов и центрование	См. рис. 3.1, табл. 3.1
2	015	Черновое обтачивание	
3	020	Черновое обтачивание	
4	035	Фрезерование шпоночного паза	
5	045	Фрезерование резьбы	
6	065	Шлифование диаметра и торца	
7	075	Шлифование диаметра	
8	010	Долбление эвольвентных шлицев	См. рис. 3.3, табл. 3.4
9	020	Зубофрезерование	
10	015	Закругление торцов зубьев	
11	030	Шлифование отверстия и торца	
12	040	Шлифование зубьев	
13	010	Фрезерование плоскости, обработка отверстий	См. рис. 3.4, табл. 3.5
14	015	Фрезерование плоскостей, обработка резьбовых отверстий, растачивание отверстий	
15	020	Обработка резьбового отверстия	

2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОПЕРАЦИЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

2.1. Проектирование операций токарной обработки

Выбор схемы базирования

Способ установки и закрепления заготовок на станке выбирают в зависимости от их размеров, жесткости и требуемой точности обработки. При соотношении $l/D < 4$ (где l — длина обрабатываемой заготовки, мм; D — диаметр заготовки, мм) заготовки закрепляют в патроне, при $4 < l/D < 10$ — в центрах или в патроне с поджимом задним центром, при $l/D > 10$ — в центрах или в патроне и центре задней бабки и с поддержкой люнетом.

В случае обработки ступенчатых валов в качестве расчетного принимают приведенный диаметр

$$d_{\text{пр}} = \frac{\sum d_i l_i}{\sum l_i}, \quad (2.1)$$

где d_i — диаметр i -й ступени вала, мм; l_i — длина i -й ступени вала, мм.

Определение характера обработки

Обтачивание заготовок для валов и других деталей, имеющих форму тел вращения, бывает следующих видов:

- черновое (или обдирочное) с точностью обработки 13–12-го квалитетов и с шероховатостью поверхности до 80 мкм по критерию R_z ;
- получистовое — с точностью обработки 11–9-го квалитетов с шероховатостью поверхности 40...20 мкм по критерию R_z ;
- чистовое — с точностью обработки 8–7-го квалитетов с шероховатостью поверхности до 2,5 мкм по критерию R_a ;
- тонкое — с точностью обработки 7–6-го квалитетов с шероховатостью поверхности до 0,63 мкм по критерию R_a .

Требования к эскизам механической обработки

При выполнении эскизов необходимо руководствоваться следующими общими требованиями (ГОСТ 3.1128–93):

- на эскизах изображения заготовок (деталей, сборочных единиц и т.п.) должны быть представлены в их рабочем положении;

- эскизы следует выполнять с соблюдением масштаба или без соблюдения масштаба, но с примерным выдерживанием пропорций (графических элементов, составных частей и т.п.);

- изображение изделия (его составной части) на поле документа следует располагать таким образом, чтобы можно было комплексно разместить следующую информацию: размеры и их предельные отклонения; обозначение шероховатости; обозначения опор, зажимов и установочных устройств; допуски формы и расположения поверхностей; таблицы и технические требования к эскизам (при необходимости); обозначения позиций составных частей изделия;

- при выполнении изображений изделий и их составных частей следует указывать соответствующие их виды, разрезы и сечения;

- наносить размеры и их предельные отклонения необходимо с учетом следующих особенностей: предельные отклонения линейных размеров указывают только в виде числовых значений; при указании в чертежах конусности и уклонов без приведения угловых размеров в документах следует указывать их угловые размеры и предельные отклонения в виде числовых значений; размеры фасок и радиусов следует проставлять без указания предельных отклонений;

- на эскизах к операциям обработки поверхности деталей, подлежащих обработке, следует выделять линиями толщиной $2S$;

- при использовании сечений, разрезов на одном эскизе или применении эскиза (эскизов) на группу операций обозначение шероховатости, указание о формах и расположении поверхностей для одних и тех же поверхностей следует указывать только 1 раз. Дублирование указанной информации не допускается;

- в целях оптимизации записи текстовой информации, связанной с записью переходов на установку и крепление изделия (составной части изделия) на оборудовании или в приспособлении, на эскизах следует указывать обозначения опор, зажимов и установочных устройств по ГОСТ 3.1107–81;

- технические требования к выполнению изделий (заготовок, поковок, деталей, сборочных единиц), а также к операциям и процессам следует располагать в правой или нижней части зоны карты эскизов (КЭ). При наличии таблиц технические требова-

ния следует располагать над ними. Допускается технические требования указывать на последующих листах форм КЭ;

- для обозначения установов следует использовать прописные буквы русского алфавита, а для обозначения позиций – арабские цифры натурального ряда: например «Установ А»; «Позиция 3» для записи установов и позиций допускается применять соответствующие сокращения, например «Поз. 2»; «Уст. Б» и т.д.; подчеркивать информацию по позициям и установам;

- при выполнении графических изображений к установам в каждом случае следует указывать рабочее положение обрабатываемой заготовки относительно исполнителя (рабочего) с представлением соответствующих данных. При необходимости допускается указывать в установках графические изображения вспомогательного и режущего инструментов;

- при выполнении графических изображений к позициям для каждого случая следует указывать рабочее положение заготовки с учетом состояния обрабатываемых поверхностей (размеров и т.д.) и применяемых вспомогательных и режущих инструментов (допускается условные графические обозначения опор, зажимов и установочных устройств приводить только на графическом изображении к 1-й позиции).

Пример проектирования операций токарной обработки

Чертеж детали представлен на рис. 2.1.

Приведенный диаметр вала (рис. 2.1)

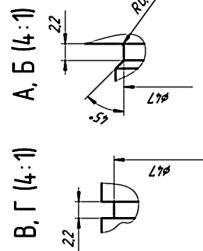
$$d_{\text{пр}} = \frac{\sum d_i l_i}{\sum l_i} = \frac{50 \cdot 33 + 56 \cdot 18 + 73 \cdot 9 + 58 \cdot 147 + 50 \cdot 32 + 48 \cdot 36 + 47 \cdot 82}{33 + 18 + 9 + 147 + 32 + 36 + 82} = 53,286 \text{ мм.}$$

Тогда

$$\frac{l}{d_{\text{пр}}} = \frac{347}{53,286} = 6,7 \leq 10 - 12.$$

В связи с тем что отношение длины к приведенному диаметру больше 4, но менее 10, в качестве варианта закрепления заготовки на токарных операциях принимаем базирование в центрах.

С целью установления структуры операции проводим анализ поверхностей вала и определяем для каждой из них вид токарной обработки (табл. 2.1).

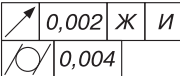


1. 230.260 НВ ГОСТ 8479-89
2. Неуказанные отклонения размеров по ГОСТ 30893.1 НН; НН; ±IT14/2
3. Остальные требования по СТБ 1014-95

Рис. 2.1. Чертеж вала (сталь 40Х)

Таблица 2.1

Анализ поверхностей вала, обрабатываемых на токарных операциях

Поверхность	Размер	Точность, квалитет	Допуски формы, расположения	Маршрут обработки
Фаска	$2 \times 45^\circ$	14	—	Чистовая
Цилиндрическая	$\varnothing 50 \times 33$	6		Черновая, чистовая
Канавка	$2,2 \times 47$	14	—	Чистовая
Канавка	$2,2 \times 48$	14	—	Чистовая
Торец	50×58	14	—	Черновая
...				

В чертежах приложения 3 авторы допустили определение неточности с целью выявления их студентами при технологическом контроле.

Исходя из конструкции детали и требований к ее поверхностям, принимаем следующий маршрут токарной обработки:

010 — токарная черновая: обработка поверхностей вала с левой стороны (диаметры 50; 51; 53; 61 мм);

015 — токарная черновая: обработка поверхностей вала с правой стороны (диаметры 53; 58; 73 мм);

020 — токарная чистовая: обработка поверхностей вала с левой стороны (диаметры 58; 50; 48; 47 мм; фасок, канавок);

025 — токарная чистовая: обработка поверхностей вала с правой стороны (диаметр 50; фасок, канавок).

Устанавливаем количество операций токарной обработки — 4 и для каждой операции выполняем разработку карты эскизов (рис. 2.2–2.5).

С целью назначения предельных отклонений на исполняемые размеры следует пользоваться табл. В.3, данной в приложении.

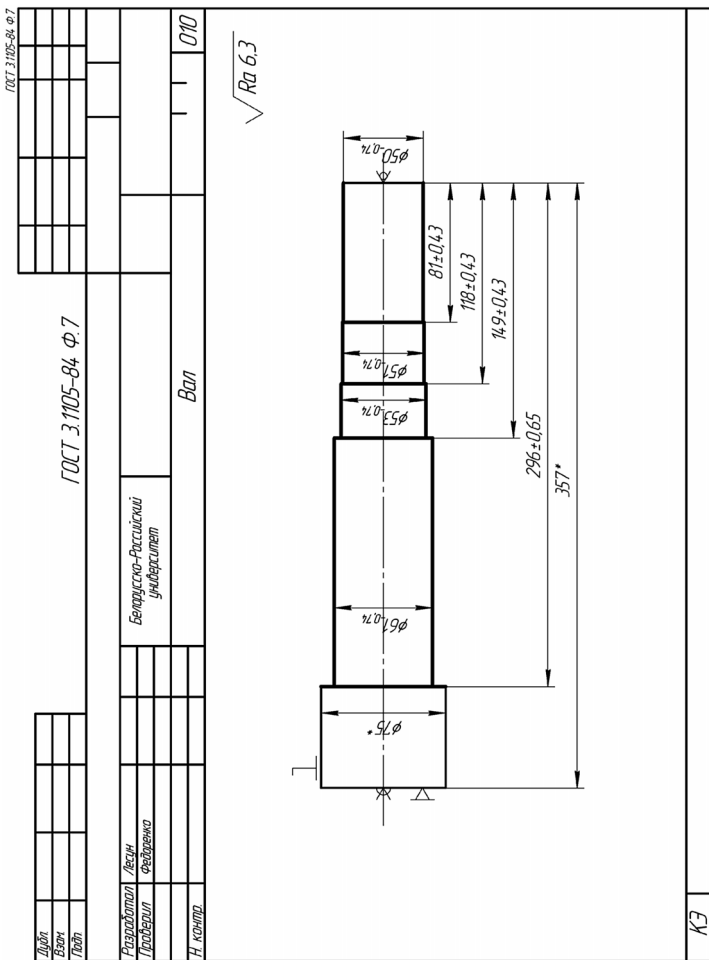


Рис. 2.2. Карта эскизов операции 010

Рис. 2.4. Карта эскизов операции 020

Задачи по проектированию операций токарной обработки

Разработать операционные эскизы токарной обработки валов, чертежи которых представлены на рис. 3.1–3.7 приложения. Тип производства определяет руководитель занятий.

2.2. Проектирование операций отделочной обработки наружных поверхностей тел вращения

Сведения о точности и области использования различных видов отделочной обработки

Сведения о различных способах отделочной обработки:

- достигаемой точности — табл. 2.2;
- области использования врезного шлифования и на проход — табл. 2.3;
- области использования различных видов шлифования — табл. 2.4.

Таблица 2.2

Достижимая точность при различных методах отделочной обработки

Вид обработки	Тонкое точение	Шлифование	Суперфиниширование	Полирование	Притирка
1	2	3	4	5	6
Квалитет	9–8–7–6	9–8–7–6	Повышает в пределах исходной шероховатости	Не меняет	5...4
Погрешность формы	Исправляет	Исправляет	Повышает в пределах исходной шероховатости	Не меняет	Исправляет
Ra, мкм	1,6...0,2	6,3...0,2	0,8...0,1	0,1...0,05	0,8...0,1
Область использования	Все материалы	Стали, чугуны	Стали, чугуны	Все материалы	Все материалы при высоких требованиях к поверхностям
Массовое	Да	Да	Да	*	**
Крупносерийное	То же	То же	То же	*	**
Среднесерийное	>>	>>	Нет	Да	**

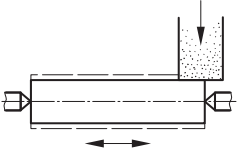
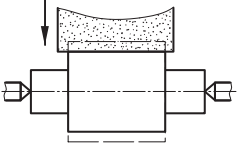
1	2	3	4	5	6
Мелкосерийное	>>	То же	То же	То же	Да
Единчное	>>	>>	>>	>>	То же

* При невозможности обеспечения точности суперфинишированием.

** При невозможности обеспечения точности другими способами.

Таблица 2.3

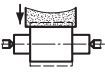
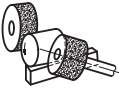
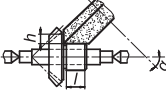
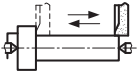
Области применения врезного шлифования и на проход

Тип производства	На проход	Врезное
		
Массовое	Нет	Да
Крупносерийное	То же	То же
Среднесерийное	Да	>>
Мелкосерийное	То же	*
Единчное	>>	*

* При невозможности использования шлифования на проход.

Таблица 2.4

Области применения видов шлифования

Тип производства	Характер шлифования цилиндрической поверхности		Характер одновременного шлифования цилиндрической и торцевой поверхностей	
	Круглое	Бесцентровое	Совмещенное	На проход
				
Массовое	*	Да	Да	Нет
Крупносерийное	*	То же	То же	Да**
Среднесерийное	Да	Нет	>>	То же
Мелкосерийное	То же	>>	>>	Да
Единчное	>>	>>	Нет	То же

* При невозможности использования бесцентрового шлифования.

** При условии использования станков с ЧПУ

Разработка операционной карты и карты эскизов с полной записью переходов

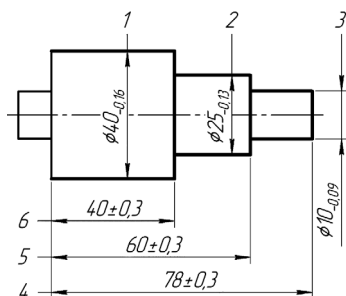


Рис. 2.6. Пример обозначения размеров обрабатываемых поверхностей

Для удобства записи информации о размерах и предельных отклонениях рекомендуется все размеры, а также конструктивные элементы обрабатываемых поверхностей условно нумеровать арабскими цифрами. Порядковый номер размера или конструктивного элемента обрабатываемой поверхности в данном случае следует проставлять в окружности диаметром 6...8 мм и соединять с размерной или выносной линией. Нумерацию целесообразно выполнять по часовой стрелке, начиная с левой верхней

части эскиза, в соответствии с рис. 2.6 (ГОСТ 3.1128–93).

Для наглядности обозначения размеров или конструктивных элементов следует выполнять на одной линии (или по периметру зоны, в которой помещен эскиз).

При выполнении в одном документе нескольких эскизов к разным операциям одного технологического процесса допускается сквозная нумерация размеров или конструктивных элементов.

Выполнять на эскизе надпись по требованию 1.6 ГОСТ 2.307–68 «Размеры обеспечиваются инструментом» не следует, так как необходимую информацию (модель и тип оборудования, обозначение управляющей программы, гидросуппорта, копира и т.п.) приводят в соответствующем документе на операцию (процесс).

При указании справочных размеров достаточно на эскизе отметить их знаком «*» без приведения текстовой записи «Размеры (размер) для справок (справки)».

Приведенный пример базирования и крепления заготовки типа «вал» (рис. 2.7) позволяет не включать в текст описания операции следующую запись вспомогательных переходов:

- «Установить и закрепить на поверхность 1 поводковый хомутик»;
- «Установить деталь с поводковым хомутиком в центрах (в передней бабке — неподвижный центр, в задней бабке — вращающийся центр) и поджать задней бабкой»;
- «Установить деталь по поверхности 2 в люнет и закрепить».

Указывать в эскизах допуски формы и расположения поверхностей следует согласно требованиям конструкторских документов и ГОСТ 2.308–79.

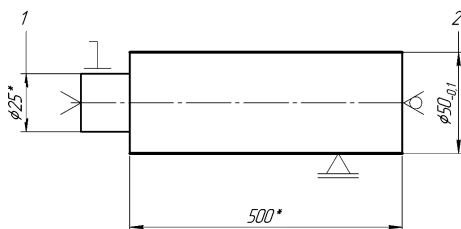


Рис. 2.7. Обозначение базирования вала

Правила записи содержания переходов

В содержание операции (перехода) должно быть включено следующее (табл. 2.5) (ГОСТ 3.1702–79):

- ключевое слово, характеризующее способ обработки и выраженное глаголом в неопределенной форме (например: точить, сверлить, фрезеровать и т.п.);
- наименование обрабатываемой поверхности конструктивных элементов или предметов производства (цилиндр, галтель, заготовка и т.п.);
- информация по размерам или их условным обозначениям;
- дополнительная информация, характеризующая количество одновременно или последовательно обрабатываемых поверхностей, характер обработки (предварительно, одновременно, по копиру и т.п.).

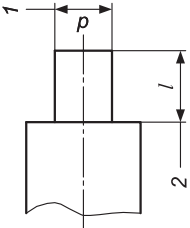
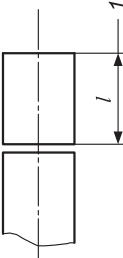
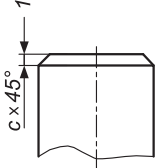
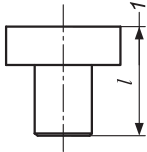
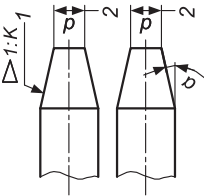
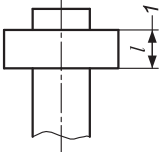
Полную запись следует выполнять при отсутствии графических изображений и для комплексного отражения всех действий, выполняемых исполнителем или исполнителями. В этом случае следует указывать дополнительную информацию.

Полную запись следует выполнять также при необходимости перечисления всех выдерживаемых размеров. Данная запись характерна для промежуточных переходов, не имеющих графических иллюстраций. В этом случае в записи содержания перехода следует указывать исполнительные размеры с их предельными отклонениями: например: «Точить поверхность, выдерживая $d = 40 \dots 0,34$ и $l = 100 \pm 0,6$ ».

Выбор соответствующих ключевых слов следует производить по табл. Е.1 и Е.2 (начиная с условного кода 80), данным в приложении. Запись вспомогательных переходов допускается не выполнять:

- при маршрутном описании технологических операций;
- при операционном описании и использовании карты эскизов (КЭ) или соответствующих операционных карт (ОК), имеющих

Примеры записи содержания переходов обработки

Эскиз	Запись перехода полная	Эскиз	Запись перехода полная
	Точить (шлифовать, притереть, полировать и т.п.) поверхность, выдерживая размеры l и 2		Отрезать деталь (заготовку), выдерживая размер l
	Точить (шлифовать, полировать и т.п.) фаску, выдерживая размер l		Подрезать (шлифовать, полировать и т.п.) торец, выдерживая размер l
	Точить (шлифовать, притереть и т.п.) конус, выдерживая размеры l и 2		Подрезать (шлифовать, полировать и т.п.) торец буртика, выдерживая размер l

место при графическом изображении обрабатываемой заготовки с указанием условных обозначений применяемых баз и опор.

При соблюдении указанных требований разработчик обязан заполнить соответствующие графы в документах, предусматривающих запись вспомогательного времени. Эти требования не распространяются на запись вспомогательных переходов, предусматривающих переустановку заготовок (деталей) при отсутствии соответствующих графических изображений и условных обозначений используемых баз и опор. В данном случае следует выполнять соответствующую запись: например: «Переустановить и закрепить деталь».

Пример по проектированию операций шлифовальной обработки

Чертеж детали представлен на рис. 2.1.

Используя чертеж детали и сведения, представленные в табл. 2.2–2.4, назначаем способы обработки поверхностей для двух типов производства (табл. 2.6). Затем выполняем разработку карты эскизов и операционной карты.

Таблица 2.6

Сведения о поверхностях, подлежащих обработке

Размер поверхности	Квалитет	Ra, мкм	Точность формы	Метод обработки при типе производства	
				мелкосерийном	крупносерийном
Ø50 × 33	6	0,8	 	Круглое шлифование напроход	Врезное шлифование
Ø58 × 33	6	1,6	 	То же	То же
Ø58 × 50	14	6,3		Совмещенное шлифование, торце круглошлифовальный станок	Совмещенное шлифование, торце круглошлифовальный станок
Ø50 × 32	6	0,8	 		
Ø47 × 82	6	1,6	 	Круглое шлифование напроход	Врезное шлифование

Карта эскизов на шлифовальную операцию, выполняемую в условиях мелкосерийного производства, представлена на рис. 2.8, а операционная карта — на рис. 2.9.

OK

Рис. 2.9. Операционная карта на шифровальную операцию

При заполнении операционной карты следует определить и записать:

- форму и размеры шлифовального круга (см. приложение, табл. Е.4);
- сведения о материале шлифовального круга (см. приложение, табл. Е.3).

Задачи по проектированию операций шлифовальной обработки

Разработать операционные эскизы шлифовальной обработки валов, чертежи которых представлены на рис. 3.1–3.7 приложения. Тип производства определяет руководитель занятий.

2.3. Проектирование операций обработки отверстий

Основные теоретические положения

Отверстия в деталях машин бывают цилиндрические, ступенчатые, конические, фасонные.

Под ступенчатыми подразумевают отверстия разных диаметров, расположенные на одной оси последовательно одно за другим.

Отверстия могут быть открытыми с двух сторон или с одной стороны, последние называются глухими.

В деталях машин чаще всего встречаются отверстия цилиндрические и конические.

Достигнуть необходимой точности обработки отверстий труднее, чем наружных поверхностей тел вращения.

Обрабатывать отверстия можно снятием и без снятия стружки. Снимать стружку можно лезвийным и абразивным инструментами или абразивным порошком.

Лезвийным инструментом можно вести сверление, зенкерование, развертывание, растачивание, протягивание.

Абразивным инструментом осуществляют шлифование, хонингование, суперфиниширование, притирку (с использованием абразивного порошка).

Обработка отверстий без снятия стружки проводится калиброванием с помощью выглаживающих прошивок и шаров, а также раскатыванием. Типовые маршруты обработки отверстий вращающимся инструментом, а также сведения о точности обработки отверстий различными способами представлены в табл. 2.7. Выбор способа обеспечения точности положения оси отверстия устанавливается на основе данных табл. 2.8, а точности отверстий — табл. 2.9.

Таблица 2.7

Маршруты обработки отверстий вращающимся инструментом

Переход		Диаметр отверстия D , мм			
		4...12	12...40	12...100	40...100
Сверление					
Рассверливание					
Зенкерование	Черновое				
	Получистовое				
	Чистовое				
Развертывание	Черновое				
	Получистовое				
	Чистовое				
Ra , мкм	Квалитет				
80...40	13-й				
40...20	12-й				
20...10	11-й				
10...5	10-й				
5	9-й				
2,5					
2,5	8-й				
1,25					
1,25	7-й				
0,6					

Таблица 2.8

Область использования способов обеспечения точности оси отверстий

Тип производства	Разметка	Кондуктор	Центрование
Массовое	Нет	Да	Нет
Крупносерийное	То же	То же	Да
Среднесерийное	>>	>>	То же
Мелкосерийное	Да	Нет	>>
Единичное	То же	То же	>>

Сведения о точности обработки отверстий

Характер обработки		R_a , мкм	Квалитет допуска размера	Характер обработки		R_a , мкм	Квалитет допуска размера
Сверление и рассверливание	Черновое	25...0,8	13...9-й	Растачивание	Черновое	25...1,6	13...11
	Зенкерование	25...6,3	13...12-й		Чистовое	6,3...0,4	10...8
	Однократное литого или прошитого отверстия; чистовое после чернового или сверления	25...0,4	13...8-й		Тонкое	3,2...1,6	7...5
Развертывание	Нормальное	12,5...0,8	11...10-й	Шлифование	Предварительное	6,3...0,4	9...8
	Точное	6,3...0,4	9...7-й		Чистовое	3,2...0,2	7...6
	Тонкое	3,2...0,1	6...5-й		Тонкое	1,6...0,1	5
Протягивание	Черновое	12,5...0,8	11...10-й	Притирка, хонингование			
	Чистовое после чернового или после сверления	6,3...0,2	9...6-й			1,6...0,1	5...4

Правила сокращенной записи содержания переходов

Сокращенную запись следует выполнять при наличии графических изображений, которые достаточно полно отражают всю необходимую информацию по обработке резанием. В этом случае в записи содержания операции дополнительную информацию не указывают.

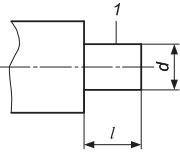
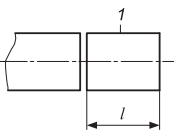
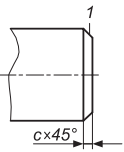
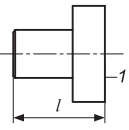
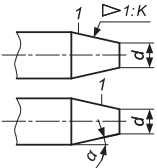
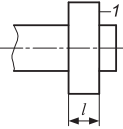
Сокращенную запись следует выполнять при условии ссылки на условное обозначение конструктивного элемента обрабатываемого изделия и при достаточной графической информации — например: «Точить канавку 1».

В содержании операции (перехода) указывается та же информация, что и при выполнении полной формы записи операции (см. табл. 2.5).

Примеры сохраненной записи содержания переходов представлены в табл. 2.10.

Таблица 2.10

Примеры сокращенной записи содержания переходов обработки

Эскиз	Запись перехода полная	Эскиз	Запись перехода полная
	Точить (шлифовать, притереть, полировать и т.п.) поверхность 1		Отрезать деталь (заготовку) 1
	Точить (шлифовать, полировать и т.п.) фаску 1		Подрезать (шлифовать, полировать и т.п.) торец 1
	Точить (шлифовать, притереть и т.п.) конус 1		Подрезать (шлифовать, полировать и т.п.) торец буртика 1

Пример проектирования операций обработки отверстий

Чертеж детали представлен на рис. 2.10, тип производства – среднесерийный.

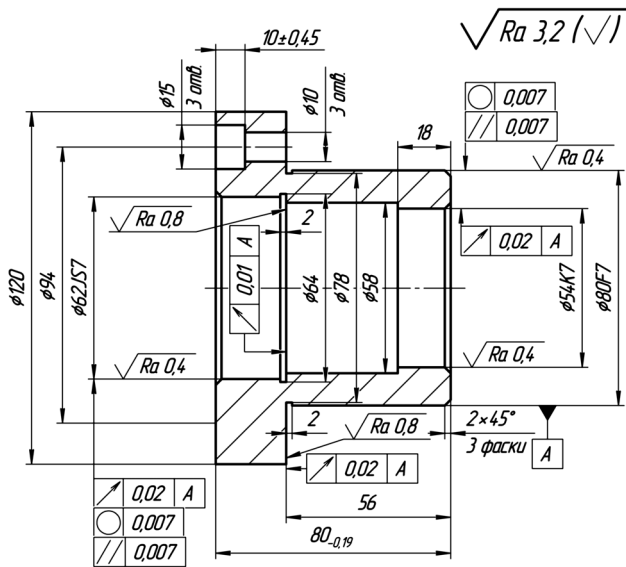


Рис. 2.10. Чертеж стакана

Ниже представлено описание операций с указанием основных средств технологического оснащения для изготовления втулки с фланцем (материал – сталь 45; заготовка – поковка с отверстием):

005 — токарная

Станок: токарный 16K20T1 с ЧПУ.

Схема обработки: заготовка возвращается, инструмент – нет.

Содержание переходов обработки отверстий (рис. 2.11):

1. Расточить поверхности 3, 4, 5 начерно.
2. Расточить поверхности 3, 5 начисто.
3. Точить фаску 2.
4. Точить канавку 1.

Приспособление: самоцентрирующий трехкулачковый патрон с пневмоприводом. Базирование: по поверхности диамет-

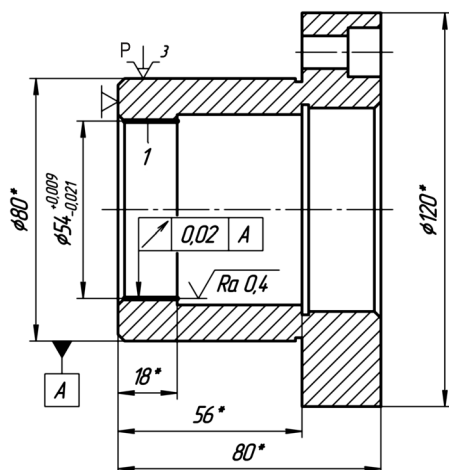


Рис. 2.12. Эскиз внутришлифовальной операции 025

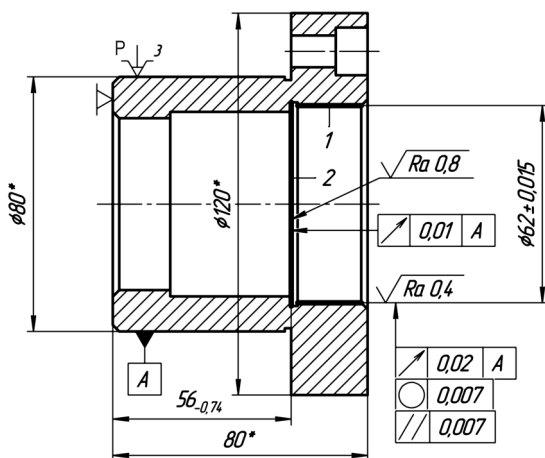


Рис. 2.13. Эскиз внутришлифовальной операции 030

Разрабатываем последовательность обработки отверстий, не соосных с наружными поверхностями.

015 – сверлильная

Станок: вертикально-сверлильный 2Н118.

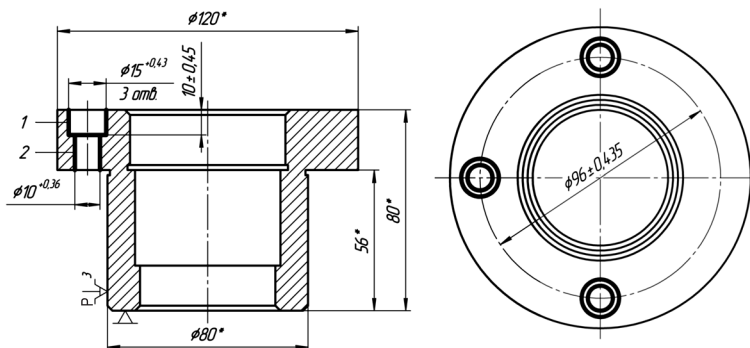


Рис. 2.14. Эскиз сверильной операции 015

Схема обработки: инструмент вращается, заготовка — нет.

Способ обеспечения точности оси отверстий: сверление по кондуктору.

Содержание переходов обработки отверстий (рис. 2.14):

1. Сверлить три отверстия.
2. Цековать три отверстия 1.

Приспособления: переналаживаемый кондуктор с пневмоприводом. Базирование: по поверхности диаметром 80 с упором в торец. Режущий инструмент: комбинированное сверло-цековка диаметром 10 и 15 мм.

Задачи по проектированию операций обработки отверстий

Разработать операционные эскизы обработки отверстий деталей, чертежи которых представлены в приложении на рис. 3.8—3.15. Тип производства определяет руководитель занятий.

2.4. Выбор оптимального варианта базирования заготовок деталей

Основные теоретические положения

К *конструктивным*, или *основным*, базам относятся поверхности детали, определяющие ее положение относительно других деталей в готовой машине.

Технологическими, или *вспомогательными*, базами называют установочные поверхности детали, определяющие ее

положение относительно режущего инструмента во время обработки на станке.

К технологическим базам относятся измерительные базы.

За *измерительные* базы принимают поверхности, от которых осуществляется измерение размеров в процессе обработки.

Базирование — придание заготовке требуемого положения относительно выбранной системы координат.

База — поверхность или выполняющие ту же функцию сочетание поверхностей, ось, точка, принадлежащие заготовке и используемые для базирования.

Комплект баз — совокупность трех баз, образующих систему координат заготовки.

Установочная база — база, лишаящая заготовку трех степеней свободы: перемещения вдоль одной координатной и поворота вокруг двух других осей.

В качестве установочной базы выбирают поверхность или сочетание координатных поверхностей с наибольшими размерами.

Установочная база *I* лишает заготовку *I* перемещения вдоль оси *Z*, поворотов вокруг осей *X* и *Y* (рис. 2.15, *a*).

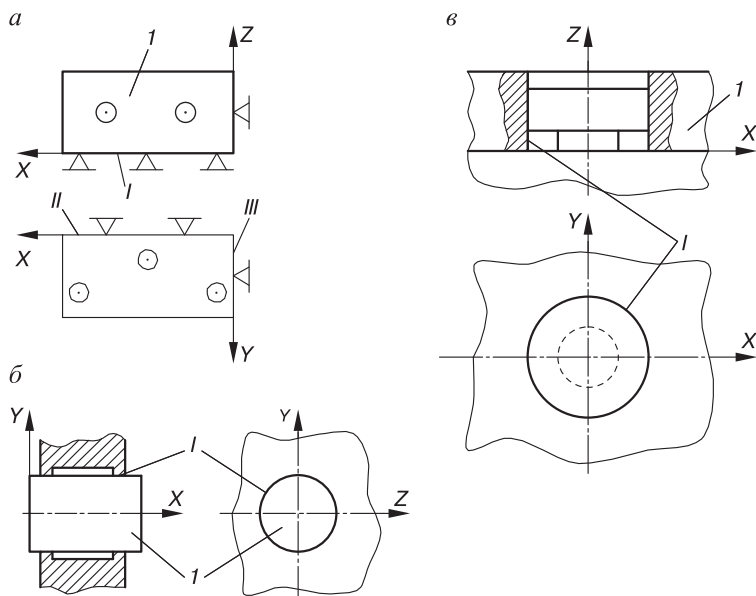


Рис. 2.15. Пример закрепления и обозначения схемы базирования:

a — корпусной детали; *б* — с использованием двойной направляющей базы; *в* — с использованием двойной опорной базы

Направляющая база — база, лишаящая заготовку двух степеней свободы: перемещения вдоль одной координатной оси и поворота вокруг другой оси.

Направляющая база *II* лишает заготовку *I* перемещения вдоль оси *Y* и поворота вокруг оси *Z* (рис. 2.15, *а*).

В качестве направляющей базы выбирают поверхность или сочетание координатных поверхностей наибольшей протяженности.

Опорная база — база, лишаящая заготовку одной степени свободы: перемещения вдоль одной координатной оси или поворота вокруг этой оси.

Опорная база *III* лишает заготовку *I* перемещения вдоль оси *X* (рис. 2.15, *а*).

Двойная направляющая база — база, лишаящая заготовку четырех степеней свободы: перемещений вдоль двух координатных осей и поворотов вокруг этих осей.

Двойная направляющая база *I* лишает заготовку *I* перемещений вдоль осей *Y* и *Z* и поворотов вокруг этих осей (рис. 2.15, *б*).

Двойная опорная база — база, лишаящая заготовку двух степеней свободы: перемещений вдоль двух координатных осей.

Двойная опорная база *I* лишает заготовку *I* перемещений вдоль осей *X* и *Y* (рис. 2.15, *в*).

Закрепление — приложение сил и пар сил к заготовке для обеспечения постоянства ее положения, достигнутого при базировании.

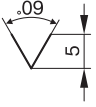
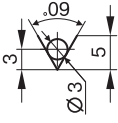
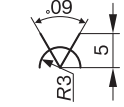
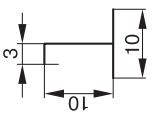
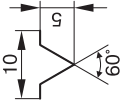
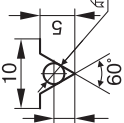
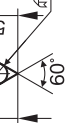
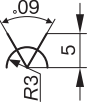
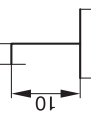
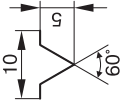
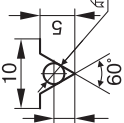
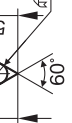
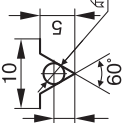
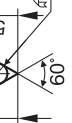
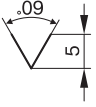
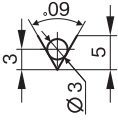
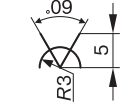
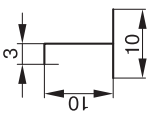
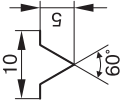
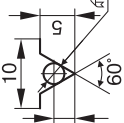
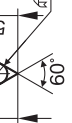
На заготовке детали, представляющей собой тело вращения, длина которого меньше диаметра (диски, зубчатые колеса, фланцы и т.д.), шесть опорных точек располагаются следующим образом: три точки — на торцевой поверхности, выполняющей функции установочной базы; две — на цилиндрической, лишаящей заготовку детали двух степеней свободы (перемещения вдоль двух координатных осей), вследствие чего эта поверхность является двойной опорной базой; одна точка — на одной из поверхностей шпоночного паза, выполняющей функцию опорной базы.

Для обеспечения контакта между поверхностями заготовки детали и опорными точками необходимо создать зажимные силы (силовое замыкание), которые рекомендуется располагать против опорных точек.

При выполнении операционных эскизов графическое обозначение опор следует выполнять в соответствии с табл. 2.11 (ГОСТ 3.1107–81).

Графическое обозначение опор

Элемент приспособления	Обозначение на видах чертежа			Обозначение на видах чертежа		
	спереди, сбоку, сзади	сверху	снизу	спереди, сбоку, сзади	сверху	снизу
Опора неподвижная						
Опора плавающая						
Зажим одиночный						

Центр не- подвижный			Центр враща- ющийся				Оправка ши- линдрическая		Оправка ша- рикковая (ро- ликковая)			
Центр плава- ющий			Патрон по- водковый				Оправка ши- линдрическая		Оправка ша- рикковая (ро- ликковая)			
Центр не- подвижный			Центр враща- ющийся				Оправка ши- линдрическая		Оправка ша- рикковая (ро- ликковая)			

Приводы обозначают: Р — пневматический; Н — гидравлический; Е — электрический; М — магнитный; ЕМ — электромагнитный (прочие — без обозначения). Обозначения приводов наносят слева от обозначения зажимов.

Пример проектирования операций сверлильной обработки

Чертеж детали представлен на рис. 2.10.

Выполняем разработку операционного эскиза обработки и анализ первого варианта базирования.

Разрабатываем операционный эскиз обработки (рис. 2.16).

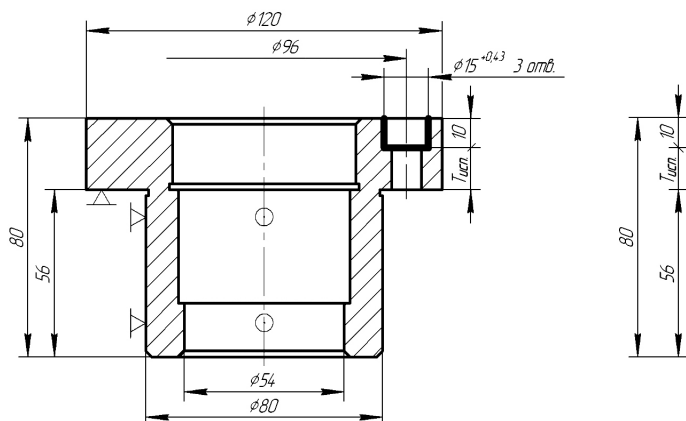


Рис. 2.16. Операционный эскиз обработки и размерная цепь в случае базирования по ступице диаметром 120 и цилиндрической поверхности диаметром 80

В данном случае базирования торец диаметром 120 является опорной базой, а цилиндрическая поверхность диаметром 80 — двойной направляющей базой.

С целью определения исполнительного размера $T_{\text{исп}}$ выявляем размерную цепь (см. рис. 2.10), где замыкающим звеном является размер «10».

Тогда номинальное значение размера

$$T_{\text{исп}} = 80 - 56 - 10 = 14 \text{ мм.}$$

Допуск исполнительного размера

$$IT_{\text{исп}} = 900 - 740 - 190 = -30 \text{ мкм.}$$

Так как допуск исполнительного размера получился отрицательный, обработка отверстий с использованием рассматриваемой схемы не обеспечит заданную чертежом точность размера «10».

Выполняем разработку операционного эскиза обработки и анализ второго варианта базирования.

Разрабатываем операционный эскиз обработки (рис. 2.17).

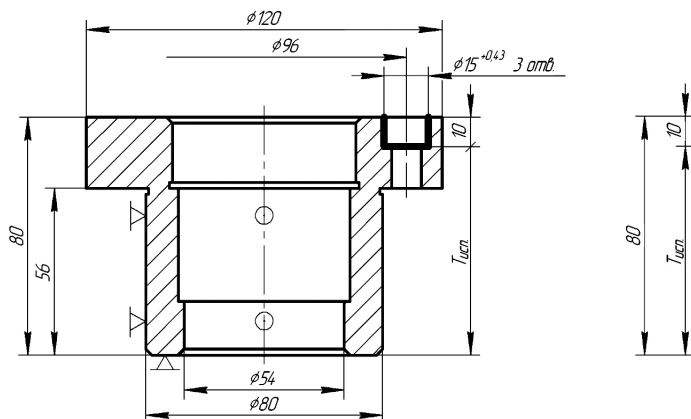


Рис. 2.17. Операционный эскиз обработки и размерная цепь в случае базирования по торцу диаметром 80 и цилиндрической поверхности диаметром 80

В данном случае базирования торец диаметром 80 является опорной базой, а цилиндрическая поверхность диаметром 80 — двойной направляющей базой.

С целью определения исполнительного размера $T_{\text{исп}}$ выявляем размерную цепь (см. рис. 2.17), где замыкающим звеном является размер «10».

Тогда номинальное значение размера

$$T_{\text{исп}} = 80 - 10 = 70 \text{ мм.}$$

Допуск исполнительного размера

$$IT_{\text{исп}} = 900 - 190 = 710 \text{ мкм.}$$

Устанавливаем середину поля допуска замыкающего звена:

$$E_{c_{\Delta}} = \sum_{k=1}^m E_{c_{y_{\text{в}}}} - \sum_{j=1}^n E_{c_{y_{\text{м}}}};$$

$$0 = -95 - E_{\text{с исп}};$$

$$E_{\text{с исп}} = -95 \text{ мкм.}$$

Записываем значение исполнительного размера с предельными отклонениями:

$$T_{\text{исп}} = 70^{+0,26}_{-0,45}.$$

Задачи по выбору оптимального варианта базирования

Для вариантов базирования, представленных на рис. 2.18, выполнить анализ возможности обработки отверстий. В зависимости от варианта, который выбирается по табл. 2.12, устанавливаются чертеж детали и размеры (рис. 2.19).

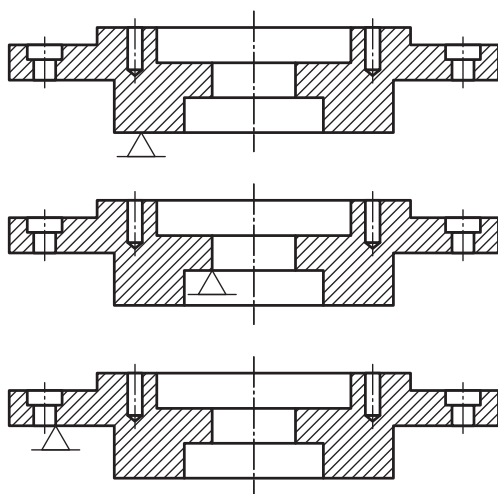


Рис. 2.18. Варианты базирования заготовок

Таблица 2.12

Варианты заданий

Вариант	Схема	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	<i>a</i>	h8	h10	h11	h14	h8	h7	H9
2	<i>б</i>	h14	h14	h12	h11	h13	h12	h10
3	<i>в</i>	h11	h14	h7	h13	h14	h10	H7

1	2	3	4	5	6	7	8	9
4	<i>a</i>	h7	h9	h14	h11	h9	h14	h12
5	<i>б</i>	h9	h8	h12	h11	h9	h11	h10
6	<i>в</i>	h14	h8	h13	h11	h14	h14	h12
7	<i>a</i>	h11	h14	h13	h12	h9	h12	h13
8	<i>б</i>	h14	h11	h9	h11	h7	h7	h13
9	<i>в</i>	h9	h9	h8	h8	h10	h7	h11
10	<i>a</i>	h11	h14	h7	h8	h14	h14	h9
11	<i>б</i>	h13	h7	h8	h8	h11	h12	h8
12	<i>в</i>	h11	h7	h8	h10	h13	h14	h7
13	<i>a</i>	h7	h9	h9	h8	h9	h12	h7
14	<i>б</i>	h8	h11	h7	h10	h13	h9	h7
15	<i>в</i>	h12	h14	h7	h13	h10	h7	h9
16	<i>a</i>	h7	h11	h12	h7	h10	h14	h9
17	<i>б</i>	h11	h11	h12	h12	h12	h11	h10
18	<i>в</i>	h7	h11	h9	h14	h8	h12	h7
19	<i>a</i>	h13	h13	h14	h7	h7	h10	h11
20	<i>б</i>	h9	h11	h8	h7	h11	h14	h12
21	<i>в</i>	h9	h13	h8	h9	h9	h12	h14
22	<i>a</i>	h7	h8	h13	h14	h12	h9	h14
23	<i>б</i>	h8	h13	h11	h10	h13	h14	h11
24	<i>в</i>	h11	h10	h7	h14	h9	h9	h14
25	<i>a</i>	h8	h7	h9	h8	h14	h14	h13
26	<i>б</i>	h8	h9	h12	h10	h7	h13	h14
27	<i>в</i>	h11	h14	h9	h7	h13	h12	h12
28	<i>a</i>	h9	h13	h10	h12	h14	h9	h14
29	<i>б</i>	h9	h10	h13	h9	h12	h8	h14
30	<i>в</i>	h14	h14	h7	h10	h13	h8	h13

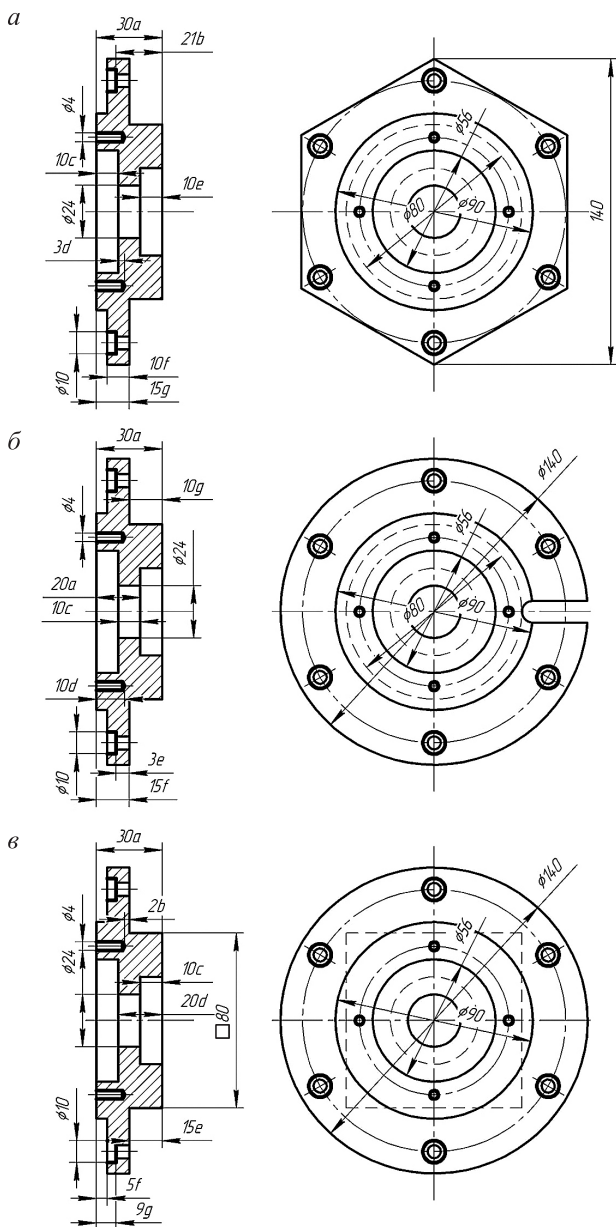


Рис. 2.19. Схемы (эскизы) деталей (*a*, *б*, *в*) для выполнения заданий

2.5. Проектирование операций фрезерной обработки плоскостей

Основные теоретические положения

В зависимости от количества и порядка закрепления обрабатываемых заготовок фрезерование можно производить следующими способами.

Фрезерование по одной заготовке (рис. 2.20, а) используется главным образом в единичном производстве или при обработке заготовок крупных размеров, когда на столе станка или в приспособлении нельзя закрепить больше одной заготовки.

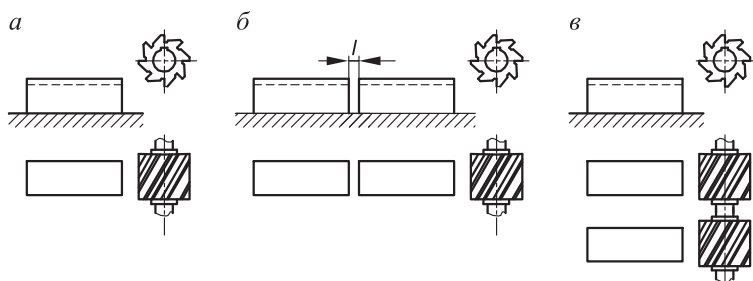


Рис. 2.20. Схемы фрезерования:

а — по одной заготовке; б — двух заготовок последовательно; в — двух заготовок параллельно

При *последовательном* способе фрезерования одна фреза или набор фрез обрабатывает заготовки, последовательно закрепленные в тисках или многоместных приспособлениях.

Последовательное фрезерование можно проводить в *раздвигу*, когда заготовки закрепляются последовательно на некотором расстоянии друг от друга, как показано на рис. 2.20, б. Для уменьшения потерь на холостой пробег фрезы современные фрезерные станки имеют возможность настройки перемещений стола по принципу чередующейся подачи.

Более производительным способом последовательного фрезерования является фрезерование заготовок, установленных *пакетом*. При этом способе потери на холостой пробег фрезы в промежутках между заготовками исключены, так как они прилегают друг к другу. В связи с этим, если условия обработки и кон-

фигурация заготовок позволяют, всегда выгодно закреплять их пакетом.

При *параллельном* способе фрезерования две или несколько заготовок, закрепленные в тисках или многоместном приспособлении, обрабатываются одновременно одной фрезой или набором фрез (рис. 2.20, в).

При параллельном способе фрезерования машинное время сокращается во столько раз, сколько заготовок установлено в ряд. Параллельный способ применяется главным образом в условиях изготовления больших партий малогабаритных заготовок.

Параллельно-последовательным способом фрезерования называют сочетание параллельного и последовательного способов. В этом случае можно добиться наибольшей производительности.

Для большинства фрезерных работ в серийном производстве оперативное время является главным определяющим элементом нормы времени. В связи с этим можно условно принять, что производительность Q (число заготовок, обрабатываемых на станке в единицу времени при непрерывной его работе) зависит только от оперативного времени:

$$Q = \frac{1}{t_0 + t_v} \text{ (шт/мин)}. \quad (2.2)$$

Для повышения производительности необходимо в первую очередь уменьшать оперативное время. Этого можно достичь, сокращая как основное, так и вспомогательное время.

Основное время t_0 затрачивается непосредственно на обработку заготовки резанием — на изменение ее формы, размеров, шероховатости поверхности. Основное время при фрезеровании может быть машинным, если движения фрезы и заготовки обеспечиваются двигателями станка, и машинно-ручным, если перемещение стола с заготовкой (движение подачи) производит рабочий, вращая вручную ходовой винт стола, салазок или консоли. Чаще всего фрезерование ведут с механической подачей и основное время — машинное.

Сократить машинное время можно, уменьшая длину обработки и увеличивая минутную подачу. Увеличение минутной подачи возможно при повышении режима резания и увеличении числа зубьев фрезы.

Рассмотрим пути сокращения длины обработки [26]:

- если обрабатываемая поверхность заготовки имеет существенно различные ширину a и длину b , диаметр фрезы $D > b$ и на столе станка нельзя установить больше одной заготовки, заготовку целесообразно закреплять в положении a , а не в положении b (рис. 2.21);

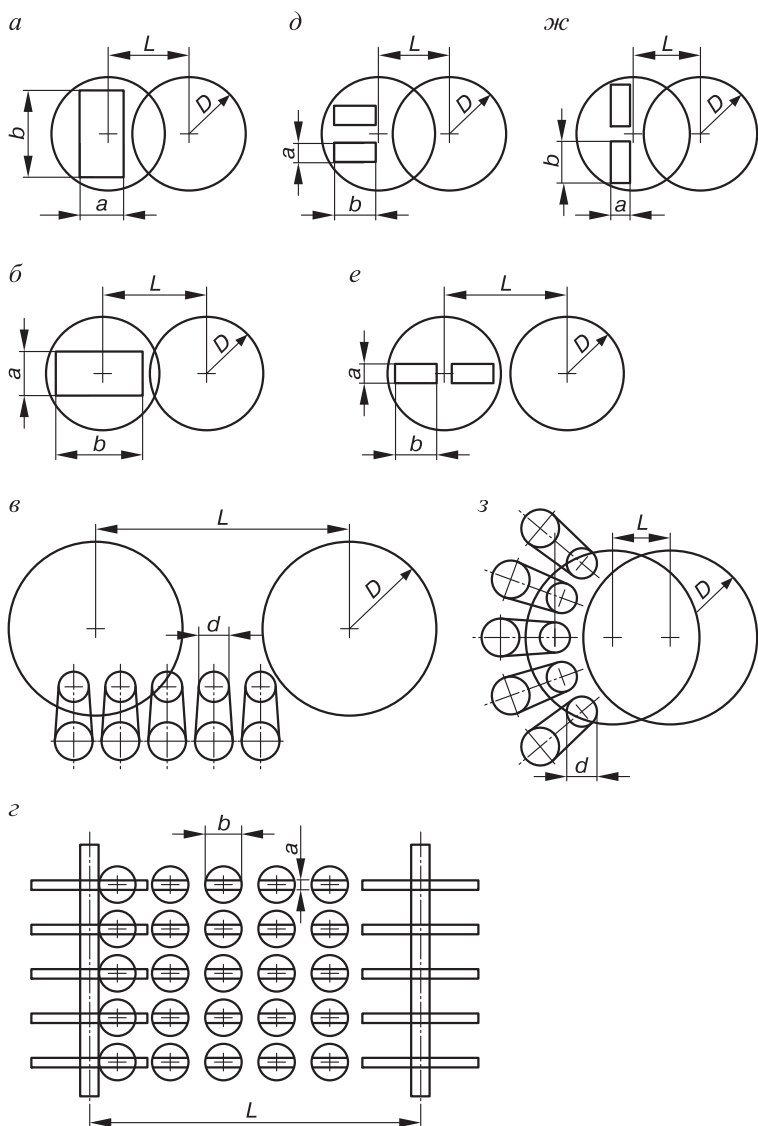


Рис. 2.21. Схемы установок заготовок по отношению к фрезам:
 a , b , d – размеры обрабатываемых поверхностей; D – диаметр фрезы; L – длина обработки

- если возможна установка двух заготовок по ширине стола станка, следует располагать их по отношению к фрезе по схеме *д*, а если позволяет диаметр фрезы — по схеме *ж* (вместо схемы *е*) (рис. 2.21);

- для некоторых типов заготовок с небольшими обрабатываемыми поверхностями (торцы валиков, головки рычагов, вилки и др.) можно многократно снизить путь фрезы, располагая заготовки не последовательно (рис. 2.21, *в*), а веерообразно по отношению к фрезе (рис. 2.21, *з*).

- обработка одновременно нескольких заготовок, размещенных рядом, называется параллельной, а одна за другой — последовательной. Параллельная обработка особенно производительна при использовании наборов фрез, т.е. в сочетании с многоинструментальной обработкой. Так, например, устанавливая на горизонтально-фрезерном станке оправку с пятью или десятью дисковыми трехсторонними или пазовыми фрезами, можно одновременно прорезать пазы в пяти или десяти заготовках (головках винтов, гайках, валиках и т.д.) и тем самым во столько же раз сократить суммарную длину хода стола в направлении подачи;

- параллельную обработку наборами фрез можно использовать при фрезеровании нескольких поверхностей одной заготовки. В результате удастся многократно повысить производительность обработки заготовок сложной конфигурации;

- параллельно-последовательная (рис. 2.21, *г*) и параллельная обработки обеспечивают не только уменьшение длины рабочего хода, но и сокращение пути врезания и перебега фрезы, так как фреза почти одновременно врезается в несколько заготовок и одновременно заканчивает их обработку. Следует только учитывать, что при обработке нескольких заготовок последовательно фреза совершает холостые перемещения от одной заготовки к другой, поэтому их следует размещать как можно ближе друг к другу.

Вспомогательное время $t_{\text{в}}$ затрачивается на установку, закрепление заготовки на столе станка или в приспособлении, снятие заготовки, подвод и отвод фрезы (в случаях, когда эти перемещения выполняются дополнительно к обычному пути врезания и перебега, учитываемому при подсчете машинного времени, и совершаются с ускоренной подачей), на измерения, а также на управление станком.

При выполнении многих фрезерных операций, особенно когда длина обработки невелика, вспомогательное время составляет значительную часть штучного времени и может быть соиз-

меримо с машинным. В связи с этим сокращение вспомогательного времени является важнейшим средством повышения производительности труда.

Основной путь сокращения вспомогательного времени — использование быстродействующих механизированных и автоматизированных станочных приспособлений.

Пример проектирования операции фрезерной обработки

Чертеж детали представлен на рис. 2.22. Станок — вертикально-фрезерный 6Т104.

Разрабатываем операционный эскиз обработки поверхности.

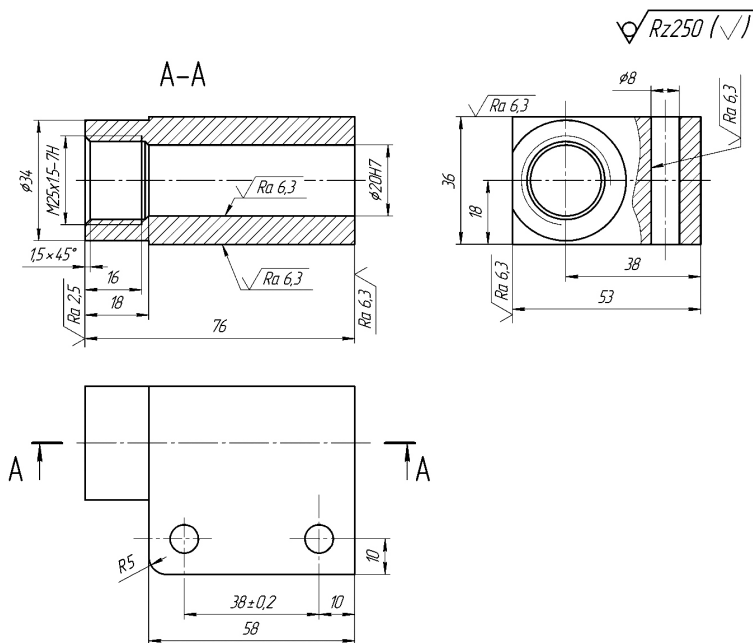


Рис. 2.22. Чертеж корпуса гидронасоса

В качестве поверхности для обработки принимаем плоскость 1 (рис. 2.23).

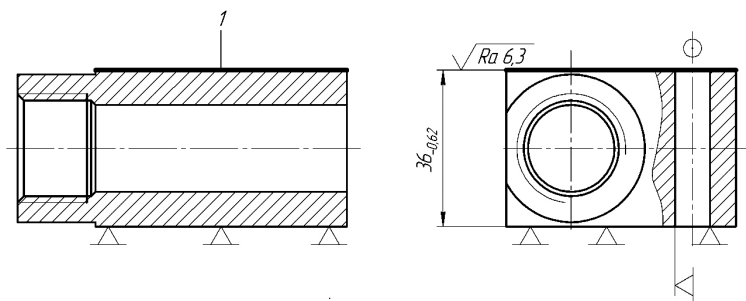


Рис. 2.23. Операционный эскиз фрезерования плоскости

Проводим расчет затрат времени на выполнение обработки при условии односторонней обработки и с учетом разработанных мероприятий.

Используя результаты табл. Е.5–Е.9, представленных в приложении, устанавливаем:

- способ обработки: торцевое фрезерование;
- характер обработки: черновая;
- подача: $S_z = 0,15$ мм/зуб.;
- диаметр и число зубьев фрезы: $D = 80$; $z = 10$;
- скорость резания: $V = 40$ м/мин; $n = 200$ мин⁻¹.

Основное время при односторонней обработке

$$t_{01} = \frac{53 + 0,5(100 - \sqrt{100^2 - 78^2}) + 2 + 3}{0,15 \cdot 10 \cdot 160} = 0,37 \text{ мин.}$$

Осуществляем разработку мероприятий по сокращению затрат оперативного времени и расчет затрат времени на выполнение многосторонней обработки.

Определяем максимальное количество рядов заготовок, устанавливаемых поперек стола:

$$N_Y = \frac{L_Y}{L + 10} = \frac{160}{76 + 10} = 1,8 \approx 1.$$

Определяем максимальное количество рядов заготовок вдоль стола:

$$N_X = \frac{L_X}{L + 10} = \frac{400}{53 + 10} = 6,3 \approx 6.$$

Схема размещения заготовок на столе станка приведена на рис. 2.24.

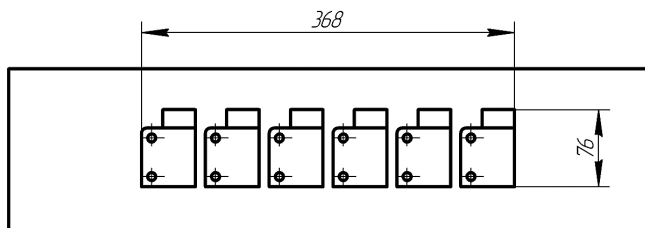


Рис. 2.24. Схема размещения заготовок на столе станка

Для условий многоместной обработки:

- подача: $S_o = 0,15$ мм/зуб.;
- диаметр и число зубьев фрезы: $D = 80$; $z = 10$;
- скорость резания: $V = 40$ м/мин; $n = 160$ мин⁻¹.

Основное время обработки группы заготовок

$$t_{o.г.з} = \frac{53 \cdot 6 + 10 \cdot 5 + 0,5(100 - \sqrt{100^2 - 78^2}) + 2 + 3}{0,15 \cdot 10 \cdot 160} = 1,68.$$

Время обработки, приходящееся на одну заготовку:

$$t_{o1} = \frac{t_{o.г.з}}{N_x N_y} = \frac{1,68}{6 \cdot 1} = 0,28 \text{ мин.}$$

Уменьшение времени обработки в процентном выражении:

$$\Theta_t = \frac{t_o - t_{o1}}{t_o} \cdot 100 = \frac{0,37 - 0,28}{0,37} \cdot 100 = 24,3\%.$$

Задачи по проектированию операций фрезерной обработки

Разработать операционные эскизы фрезерной обработки деталей, чертежи которых представлены на рис. 3.16–3.19 приложения. В зависимости от варианта тип фрезерного станка выбирается по табл. 2.13.

Таблица 2.13

Варианты заданий

Вариант	Станок 1	Станок 2	Вариант	Станок 1	Станок 2
1	6Т104	6Р80Ш	16	6Т104	6Р81
2	6Р10	6Р81	17	6Р10	6Р81Ш
3	6Р11	6Р81Ш	18	6Р11	6Р82Г
4	6Р11Ф3	6Р82Г	19	6Р11Ф3	6Р82Ш
5	6Т12	6Р82Ш	20	6Т12	6Р83
6	6Р13	6Р83	21	6Р13	6Р83Ш
7	6Р13Ф3	6Р83Ш	22	6Р13Ф3	6Р80Ш
8	6520Ф3	6Р80Ш	23	6520Ф3	6Р81
9	6540	6Р81	24	6540	6Р81Ш
10	6550	6Р81Ш	25	6550	6Р82Г
11	6550Ф3	6Р82Г	26	6550Ф3	6Р82Ш
12	6560	6Р82Ш	27	6560	6Р83
13	654Ф3	6Р83	28	654Ф3	6Р83Ш
14	6А56	6Р83Ш	29	6А56	6Р80Ш
15	6Ф59	6Р80Ш	30	6Ф59	6Р81

3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

3.1. Проектирование технологических процессов изготовления валов

Рекомендации по разработке технологических процессов изготовления валов

Рассмотрим *основные операции* механической обработки для изготовления вала с типовыми конструктивными элементами и требования к ним [27].

Подготовка технологической базы. Обработка торцов и сверление центровых отверстий. В зависимости от типа производства операцию осуществляют:

- в единичном производстве — подрезку торцов и центрования на универсальных токарных станках последовательно за два установа;
- в серийном производстве — используя фрезерно-центровальные полуавтоматы последовательного действия с установкой заготовки по наружному диаметру в призмы и базированием в осевом направлении по упору или выполняя подрезку торцов отдельно от центрования на продольно-фрезерных или горизонтально-фрезерных станках, а центрование — на одностороннем или двустороннем центровальном станке;
- в массовом производстве — на фрезерно-центровальных станках барабанного типа, которые одновременно фрезеруют и центруют две заготовки без съема их со станка. Форму и размеры центровых отверстий назначают в соответствии с их технологическими функциями по ГОСТ 14034–74. Для нежестких валов (отношение длины к диаметру более 12) выполняют обработку шеек под люнеты.

Токарная (черновая) обработка. Выполняется за два установа на одной операции, или каждый установ выносится как отдельная операция. Проводится точение наружных поверхностей (с припуском под чистовое точение и шлифование) и канавок. Это обеспечивает получение точности IT_{12} , шероховатости

Ra 6,3 мкм. В зависимости от типа производства операцию выполняют:

- в единичном производстве — на токарно-винторезных станках;
- в мелкосерийном — на универсальных токарных станках и станках с ЧПУ;
- в серийном — на станках с ЧПУ;
- в крупносерийном и массовом — на многошпиндельных, многорезцовых и гидрокопировальных полуавтоматах; мелкие валы могут обрабатываться на токарных автоматах.

Токарная (чистовая) обработка. Аналогична операции, представленной выше. Проводится чистовое точение шеек (с припуском под шлифование). Обеспечиваются точность IT11...10, шероховатость Ra 3,2 мкм.

Фрезерная обработка. Фрезерование шпоночных канавок, шлицев, зубьев, всевозможных лысок.

Шпоночные пазы в зависимости от конструкции обрабатываются либо дисковой фрезой (если паз сквозной) на горизонтально-фрезерных станках, либо пальцевой фрезой (если паз глухой) на вертикально-фрезерных станках. В массовом производстве для получения глухих шпоночных пазов используют шпоночно-фрезерные полуавтоматы, работающие маятниковым методом.

Шлицевые поверхности на валах чаще всего получают способом обкатывания червячной фрезой на шлицефрезерных или зубофрезерных станках.

Сверлильная обработка. Сверление всевозможных отверстий.

Резьбонарезная обработка. На закаливаемых шейках резьбу изготавливают до термообработки. Если вал не подвергается закалке, то резьбу нарезают последней операцией (для предохранения резьбы от повреждений). Мелкие резьбы у термообрабатываемых валов получают сразу на резьбошлифовальных станках. Внутренние резьбы нарезают машинными метчиками на сверлильных, револьверных и резьбонарезных станках в зависимости от типа производства. Наружные резьбы нарезают:

- в единичном и мелкосерийном производстве — на токарно-винторезных станках плашками, резьбовыми резцами или гребенками;

- в мелкосерийном и серийном производстве резьбы не выше 7-й степени точности — плашками, а резьбы 6-й степени точности — резбонарезными головками на revolverных и болторезных станках;
- в крупносерийном и массовом производстве — гребенчатой фрезой на резбифрезерных станках или накатыванием.

Применение токарных обрабатывающих центров (токарный станок с ЧПУ, оснащенный, как правило, revolverной головкой с приводным инструментом) позволяет выполнить практически всю лезвийную обработку на одной операции (объединяются операции токарные, фрезерная, сверлильная и резбонарезная). Очевидно, данное решение позволяет резко сократить перечень используемых станков, однако надо учесть следующие факторы при принятии решения об использовании в технологических процессах (ТП) токарного обрабатывающего центра: высокую стоимость станка; сложность наладки станка, а соответственно, и значительные затраты времени. Наиболее целесообразно использовать токарные обрабатывающие центры в серийном типе производства.

Термическая обработка. Закалка объемная или местная согласно чертежу детали.

Шлифовальная обработка. Шейки вала шлифуют на круглошлифовальных или бесцентрошлифовальных станках.

Шлицы шлифуются в зависимости от способа центрирования шлицевой поверхности:

- по наружному диаметру — наружное шлифование на круглошлифовальных станках;
- по боковой поверхности — шлифование боковых поверхностей на шлицешлифовальном полуавтомате;
- по внутреннему диаметру — шлифование боковых поверхностей шлицев и шлифование внутренних поверхностей по диаметру либо профильным кругом одновременно или в две операции.

Пример проектирования маршрута обработки вала

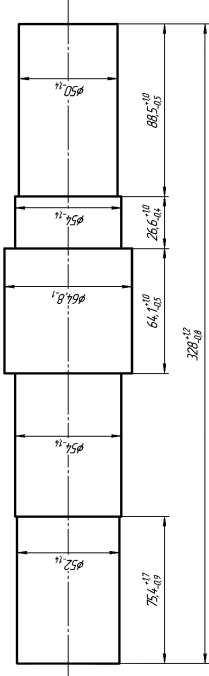
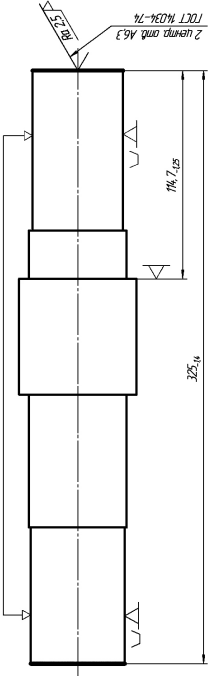
Чертеж детали представлен на рис. 3.1. Технологический процесс обработки вала в условиях массового производства вала оформим в виде табл. 3.1.

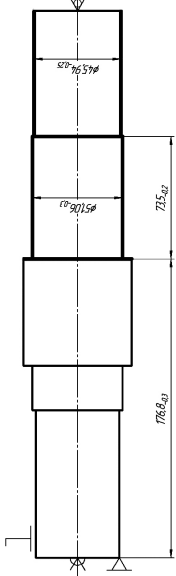
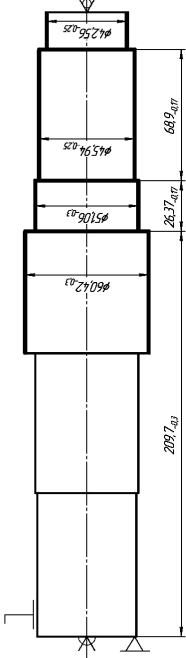


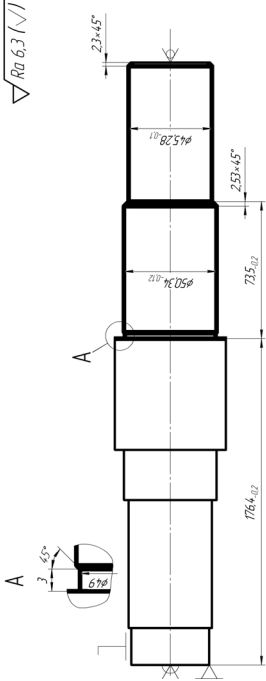
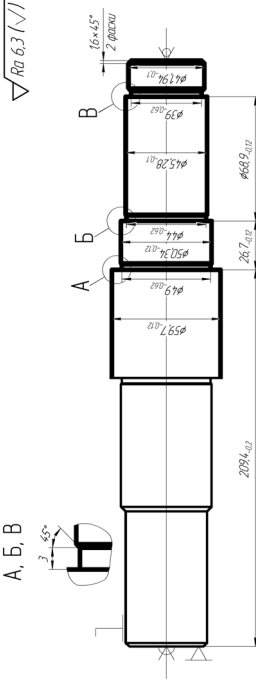
Рис. 3.1. Чертеж вала

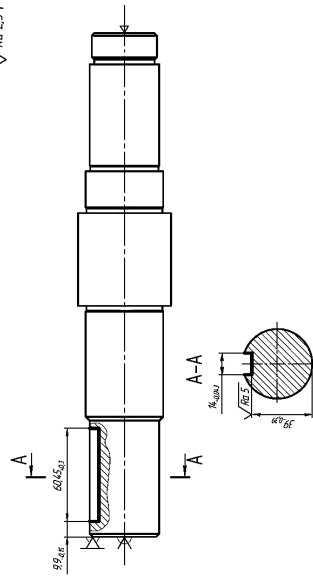
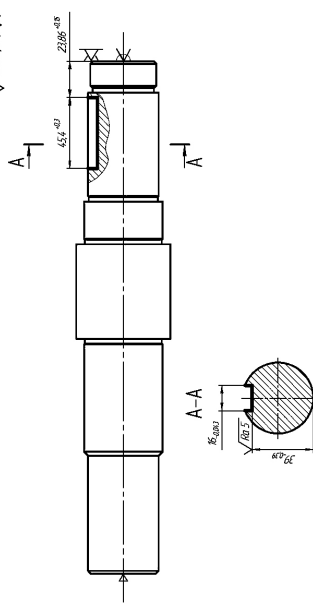
Таблица 3.1

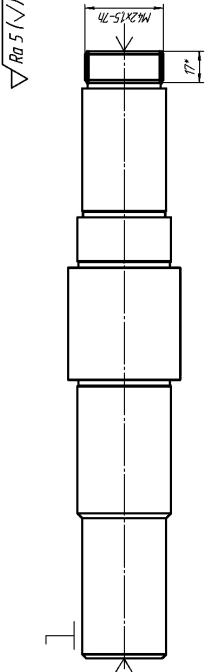
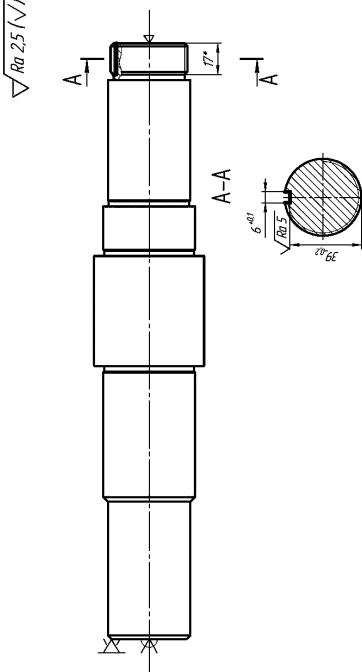
Пример технологического процесса обработки вала в условиях массового производства

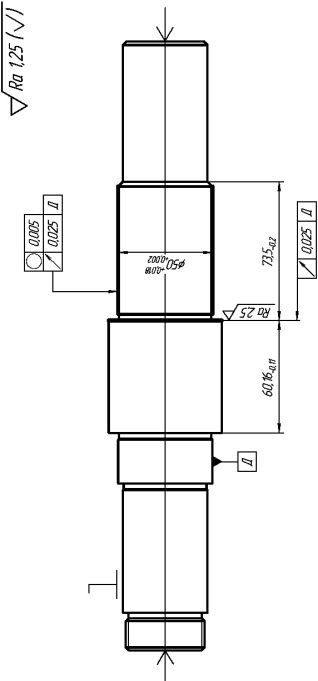
Номер, наименование операции	Эскиз обработки, содержание переходов	Оборудование, инструмент
1	2	3
005 — заготовительная		КГШП, поковка
010 — фрезерно-центровая 1. Фрезеровать торцы 2. Сверлить два центровых отверстия		Фрезерно-центровальный пулоавтомат МР-76М. Фреза торцовая, сверло центровочное

1	2	3
015 — токарная многорезцовая черновая Точить поверхности со стороны выходного конца вала	$\sqrt{Ra\ 25\ \angle/}$ 	Токарно-многорезцовый полуавтомат 1Н713. Резцы
020 — токарная многорезцовая черновая Точить поверхности со стороны резьбового конца вала	$\sqrt{Ra\ 25\ \angle/}$ 	Токарно-многорезцовый полуавтомат 1Н713. Резцы

025 — токарная гидрокопировальная чистовая Точить поверхности со стороны выходного конца вала	Токарный гидрокопировальный полуавтомат 1708. Резцы 
030 — токарная гидрокопировальная чистовая Точить поверхности со стороны резьбового конца вала	Токарный гидрокопировальный полуавтомат 1708. Резцы 

1	2	3
035 — шпоночно-фрезерная Фрезеровать шпоночный паз на выходном конце вала		Шпоночно-фрезерный станок 692Р. Фреза шпоночная
040 — шпоночно-фрезерная Фрезеровать шпоночный паз на ступени под шестерню		Шпоночно-фрезерный станок 692Р. Фреза шпоночная

045 — резьбофрезерная Фрезеровать резьбу M42×1,5–7h	 Резьбофрезерный полуавтомат 5К63. Фреза групповая
050 — шпоночно-фрезерная Фрезеровать паз на резьбовом конце вала	 Шпоночно-фрезерный станок 692Р. Фреза шпоночная

1	2	3
055 — гальваническая Меднить резьбовой конец вала		Ванна гальваническая
060 — термическая 1. Цементация 2. Закалка 3. Отпуск		Безмуфельный агрегат ЗИЛ
065 — торцевругло- шлифовальная Шлифовать Ø50 и торец	$\nabla Ra\ 125\ (\checkmark)$ 	Торцевруглошлифовальный полуавтомат 3Т161Е. Круг шлифовальный

070 — торцекругло-шлифовальная Шлифовать Ø45, Ø50 и торец		Торцекруглошлифовальный полуавтомат ЗТ161Е. Круг шлифовальный
075 — круглошлифовальная Шлифовать Ø45		Круглошлифовальный полуавтомат ЗМ153Е. Круг шлифовальный
080 — резбонарезная Калибровать резьбу		Резбонарезной полуавтомат 5Д07. Плашка
085 — моечная		Моечная машина
090 — контрольная		Стол ОТК

Задачи по проектированию маршрута обработки валов

Разработать маршрутные технологические процессы изготовления валов, чертежи которых в приложении представлены на рис. 3.1–3.7. Тип производства определяет руководитель занятий.

3.2. Технологические процессы изготовления втулок, дисков, фланцев

Рекомендации по разработке технологических процессов изготовления втулок

К деталям класса втулок относятся втулки (см. приложение, рис. 3.8, 3.10, 3.12, 3.14), гильзы, стаканы (см. приложение, рис. 3.9, 3.11, 3.13), вкладыши, т.е. детали, образованные наружными и внутренними поверхностями вращения, имеющие общую прямолинейную ось. Наиболее часто используют втулки с $L/D \geq 3$.

Типовой маршрут изготовления деталей класса втулок (операции) представлены далее [27].

Обработка за один установ

Токарная. Подрезка торца у прутка, подача прутка до упора, зацентровка торца под сверление, сверление отверстия, точение черновое наружной поверхности со снятием фасок на свободном торце, точение канавок, предварительное развертывание, окончательное развертывание, отрезка. При обработке втулки из трубы вместо сверления проводят зенкерование или растачивание отверстия. Выполняется на токарном станке с ЧПУ, токарно-револьверном, одношпиндельном или многошпиндельном токарном автомате в зависимости от типа производства.

Сверлильная. Снятие фасок с противоположного торца втулки на вертикально-сверлильном или токарном станке.

Сверлильная. Сверление отверстий, нарезание резьбы на вертикально- или радиально-сверлильном станке.

Контрольная.

Обработка за два установка

Заготовительная. Резка заготовки из проката либо трубы либо штамповка.

Токарная. В зависимости от типа производства выполняется за одну операцию и два установка (единичное) или за две операции (серийное и массовое).

Первый установ (базирование по наружной поверхности к торцу в патроне) — подрезка свободного торца, сверление и зенкерование или растачивание отверстия (с припуском под шлифование), растачивание канавок и фасок.

Второй установ (базирование по отверстию и торцу на оправке) — подрезка второго торца, точение наружных поверхностей (с припуском под шлифование), точение канавок и фасок. В зависимости от типа производства операция выполняется:

- в единичном производстве — на токарно-винторезных станках;
- в серийном производстве — на токарно-револьверных станках и станках с ЧПУ;
- в массовом производстве — на токарно-револьверных, одношпиндельных или многшпиндельных токарных полуавтоматах.

Сверлильная. Сверление, зенкерование отверстий, нарезание резьбы. Проводится на вертикально-сверлильных станках, сверлильных станках с ЧПУ, агрегатных станках.

Термическая. Закалка согласно чертежу.

Внутришлифовальная. Шлифование отверстия на внутришлифовальном станке. Деталь базируется по наружному диаметру и торцу в патроне.

Круглошлифовальная. Шлифование наружных поверхностей торца на круглошлифовальном или торцекруглошлифовальном станке.

Контрольная. При обработке тонкостенных втулок (толщина стенки менее 5 мм) возникает дополнительная задача закрепления заготовки на станке без ее деформаций.

Типовой технологический процесс изготовления дисков

К деталям класса «диски» относятся детали, образованные наружными и внутренними поверхностями вращения и имеющими одну общую прямолинейную ось при отношении длины цилиндрической части к наружному диаметру менее 0,5 — например: шкивы (см. приложение, рис. 3.34, поз. 2), фланцы, крышки подшипников (см. приложение, рис. 3.34, поз. 7), кольца (см. приложение, рис. 3.34, поз. 10), поршни гидро- и пневмоприводов и т.п. Технологические задачи — аналогичные классу втулок: достижение concentричности внутренних и наружных цилиндрических поверхностей и перпендикулярности торцов к оси детали.

Технологические базы: центральное отверстие и обработанный торец, причем короткое отверстие является двойной опорной базой, а торец — установочной.

Обработку шкивов средних размеров ($d = 200...400$ мм) проводят на токарных, в крупносерийном производстве — на револьверных станках, крупных шкивов и маховиков — на токарных карусельных станках. При обработке на карусельных станках установку на первой операции выполняют по ступице, в которой об-

рабатываются центральное отверстие и прилегающие к ней торцы. Обод обрабатывают при установке шкива на центрирующий палец по обработанному отверстию и торцу.

Типовой маршрут изготовления дисков (операции) представлен далее [27].

Заготовительная. В большинстве случаев лить заготовку, ковать или штамповать. Мелкие шкивы изготавливают из прутка.

Токарная. Растачивание отверстия с припуском под последующую обработку и подрезка торца. Технологическая база – необработанная поверхность обода или ступицы. Выполняется в зависимости от маршрута и типа производства на токарном, револьверном или карусельном станке.

Токарная. Подрезать второй торец. Технологическая база: обработанные отверстие и торец.

Протяжная. Протянуть цилиндрическое отверстие. Технологическая база: отверстие и торец. Станок вертикально-протяжной.

Протяжная или долбежная. Протянуть или долбить шпоночный паз. Технологическая база – отверстие и торец. Станок вертикально-протяжной или долбежный.

Токарная (черновая). Точить наружный диаметр и торцы обода, точить клиновидные канавки. Технологическая база: отверстие и торец. Станок токарный или многорезцовый токарный.

Токарная (чистовая). Точить наружный диаметр и канавки. При криволинейной образующей на токарно-копировальном станке или токарном станке по копиру.

Сверлильная. Сверлить отверстия и нарезать резьбу (если требуется по чертежу). Технологическая база: отверстие и торец. Станок сверлильный.

Балансировочная. Балансировка и высверливание отверстий для устранения дисбаланса. Технологическая база: отверстие. Станок балансировочный.

Термическая.

Шлифовальная. Шлифование ступиц (если требуется по чертежу). Технологическая база: отверстие. Станок круглошлифовальный.

Контрольная.

Нанесение антикоррозионного покрытия.

Типовой технологический процесс изготовления фланцев

Основным служебным назначением фланцев является ограничение осевого перемещения вала, установленного на подшипниках. Отсюда следует, что основными конструкторскими базами фланца будут поверхности центрирующего пояса по размеру отверстия в корпусе и торцы. В качестве технологических баз

при обработке заготовки целесообразно выбирать основные базы детали, которые обрабатывают на первых операциях. В связи с этим на первой операции в качестве технологических баз используют наружную цилиндрическую поверхность и торец большого фланца, а на последующих — посадочную поверхность цилиндрического пояска и его торец. На этих же базах обрабатывают крепежные отверстия и лыски, если они заданы чертежом.

Типовой маршрут изготовления фланцев (операции) представлен далее [27].

Заготовительная. В зависимости от типа производства и материала — лить, ковать, штамповать заготовку или отрезать из проката.

Токарная. Подрезать торец большого фланца и торец центрирующего пояска, точить наружную цилиндрическую поверхность пояска с припуском под шлифование, а также канавку и фаски. Технологическая база: наружная поверхность и торец фланца. Станок токарный, многошпиндельный токарный полуавтомат, токарный станок с ЧПУ.

Токарная. Подрезать второй торец большого фланца, точить его наружную поверхность и фаску. Технологическая база: поверхность центрирующего пояска и его торец.

Сверлильная. Сверлить и зенковать отверстия. Технологическая база: та же, что и при токарной операции. Станки вертикально-сверлильный, сверлильный с ЧПУ, агрегатно-сверлильный с многошпиндельной головкой.

Фрезерная. Фрезеровать фланец с лысками. Технологическая база: та же, плюс крепежное отверстие. Станок вертикально-фрезерный.

Шлифовальная. Шлифовать наружную поверхность центрирующего пояска и торец. Технологическая база: наружная поверхность большого фланца и торец. Станок универсально-шлифовальный или торцекруглошлифовальный.

Контрольная.

При обработке втулок и фланцев в массовом и крупносерийном производствах целесообразно использовать следующий порядок: зенкерование отверстия и снятие на нем фаски на вертикально-сверлильном станке; протягивание отверстия на горизонтально- или вертикально-протяжном станке. Если фланец имеет глухое или коническое отверстие, то оно обрабатывается разверткой. У втулок, запрессованных в корпус, оставляют припуск под окончательную обработку отверстия.

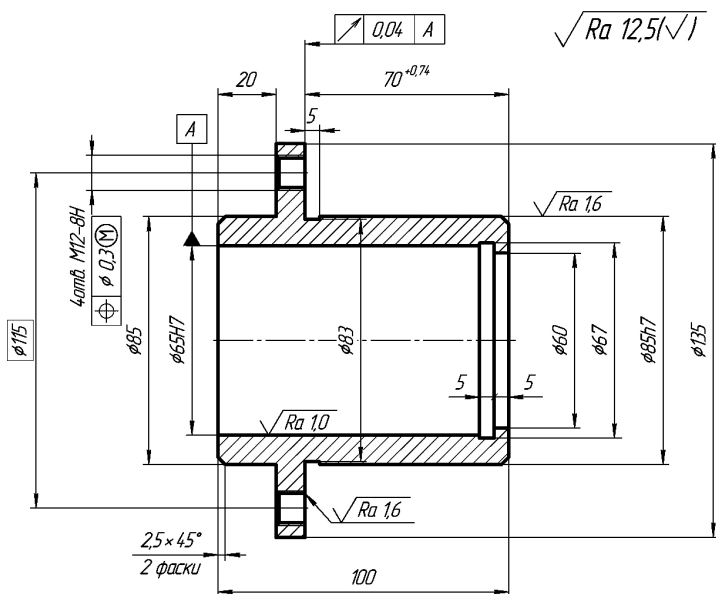
Предварительное обтачивание наружной поверхности, подрезку торцов и снятие наружных фасок выполняют на токарном многорезцовом полуавтомате. На этой операции заготовку базируют по центральному отверстию на консольной или на центровой разжимной оправке.

Чистовое обтачивание наружной поверхности выполняют на токарном или многорезцовом полуавтомате. На последующих операциях снимают фаски с противоположного торца, сверлят смазочные отверстия, обрабатывают смазочные канавки и шлифуют наружную поверхность фланца.

В случае обработки втулок, дисков и фланцев в мелко- и среднесерийном производствах возможно использование токарного обрабатывающего центра, оснащенного противошпинделем. Применение указанного станка позволит автоматизировать переустанов заготовки, совместить токарные, фрезерные и сверлильные операции.

Пример технологического процесса изготовления детали типа стакана

Технологический процесс изготовления стакана, чертеж которого представлен на рис. 3.2, оформим в виде табл. 3.2.



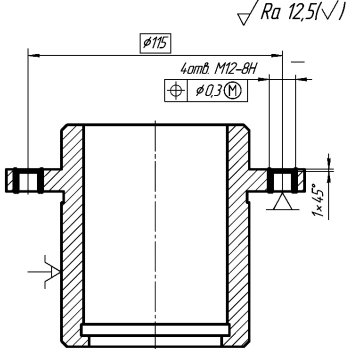
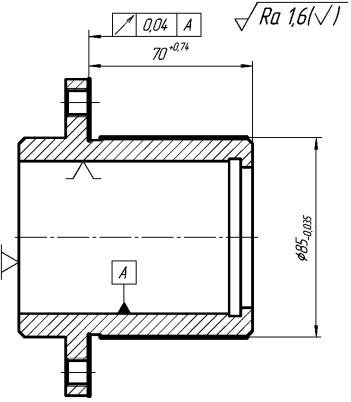
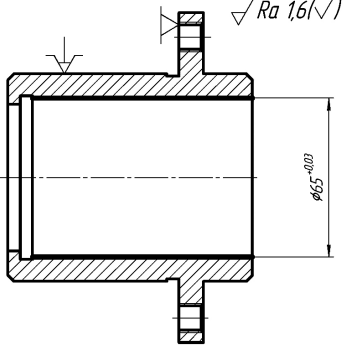
1. 177.229 НВ
2. Общие допуски по ГОСТ 30893.1-02: $h14$, $H14$, $\pm IT14/2$
3. Остальные требования по СТБ 1014-95

Рис. 3.2. Стакан (материал — сталь 45)

Таблица 3.2

Технологический маршрут изготовления стакана

Номер, наименование операции	Эскиз обработки	Оборудование
1	2	3
005 — заготовительная Штамповка		Кривошипный горячештамповочный пресс
010 — токарная с ЧПУ 1. Точение фланца и торцов 2. Растачивание отверстий 3. Растачивание канавки		Токарный станок с ЧПУ мод. 16Б16Т1
015 — токарная с ЧПУ 1. Точение торцов и наружной поверхности. 2. Точение канавки 3. Точение фаски		Токарный станок с ЧПУ мод. 16Б16Т1

1	2	3
020 — вертикально-сверлильная с ЧПУ 1. Центрование четырех отверстий 2. Сверление четырех отверстий 3. Зенкование четырех отверстий 4. Нарезание резьбы в четырех отверстиях		Вертикально-сверлильный станок с ЧПУ мод. 2P118Ф2
025 — торцеукруглошлифовальная Шлифование наружной поверхности и торца		Торцеукруглошлифовальный станок мод. 3Т160
030 — внутришлифовальная Шлифование отверстия		Внутришлифовальный станок мод. 3К227В

Задачи по проектированию маршрута обработки стаканов и втулок

Разработать маршрутные техпроцессы изготовления стаканов и втулок, чертежи которых представлены в приложении на рис. 3.8—3.15. Тип производства определяет руководитель занятий.

3.3. Проектирование технологического процесса изготовления зубчатых колес

Типовой технологический процесс изготовления зубчатых колес

Рассмотрим основные операции механической обработки зубчатого колеса со ступицей 8-й степени точности (см. приложение, рис. 3.21) следующие [27].

Заготовительная. Для заготовок из проката — резка проката, для штампованных заготовок — штамповка. Штампованные заготовки целесообразно выполнять с прошитыми отверстиями, если их диаметр более 30 мм и длина не более трех диаметров, в противном случае выполняются глухие наметки глубиной не более 0,8 диаметра. Заготовки из чугуна и цветных сплавов (иногда из сталей) получают литьем.

Токарная. Выполняется черновая и чистовая обработка базовых поверхностей (торца и отверстия).

Технологическая база: наружная поверхность обода и торец, закрепление в кулачках токарного патрона.

Оборудование: единичное производство — токарно-винторезный станок; мелко- и среднесерийное — станки токарно-револьверный, токарный с ЧПУ; крупносерийное и массовое производство — одношпиндельный или многошпиндельный токарный полуавтомат (для заготовки из прутка — прутковый автомат).

Токарная. Точить наружную поверхность обода, обработать торец, противолежащий базовому.

Технологическая база: обработанные поверхности отверстия и базового торца.

Оборудование: то же, что и при токарной операции.

Протяжная (долбежная). Протянуть (в единичном производстве — долбить) шпоночный паз или шлицевое отверстие.

Технологическая база: отверстие и базовый торец колеса.

Оборудование: горизонтально-протяжной или долбежный станок.

Применяются варианты чистового протягивания отверстия на операции вместо чистового растачивания на предыдущей операции.

Зубофрезерная. Фрезеровать зубья начерно (обеспечивается 8-я степень точности).

Технологическая база: отверстие и базовый торец (реализуется оправкой и упором в торец).

Оборудование: зубофрезерный полуавтомат.

Шевинговальная. Эта операция повышает на единицу степень точности зубчатого колеса. Ее используют для термообрабатываемых колес с целью уменьшения коробления зубьев, так как снимается поверхностный наклепанный слой после фрезерования.

Технологическая база: отверстие и базовый торец (реализуется оправкой).

Оборудование: зубошевинговальный станок.

Термическая. Калить заготовку или зубья (ТВЧ) или цементировать, калить и отпустить согласно техническим требованиям. Наличие упрочняющей термообработки, как правило, приводит к снижению точности колеса на одну единицу.

На поверхностях, которые не должны быть подвергнуты цементации и не могут быть защищены предохранительными покрытиями, оставляют специальные защитные припуски, удаляемые на промежуточной операции механической обработки между цементацией и закалкой.

Внутришлифовальная. Шлифовать отверстие и базовый торец за один установ. Обработка отверстия и торца за один установ обеспечивает их наибольшую перпендикулярность.

Технологическая база: рабочие эвольвентные поверхности зубьев (делительный диаметр колеса) и торец, противолежащий базовому. Реализация базирования осуществляется специальным патроном, у которого в качестве установочных элементов используют калибровочные ролики или зубчатые секторы.

Необходимость такого базирования вызвана требованием обеспечения равномерного съема металла зубьев при их последующей отделке с базированием по отверстию на оправке.

Оборудование: внутришлифовальный станок.

При базировании колеса на операции за наружную поверхность венца для обеспечения соосности поверхностей вращения необходимо ввести перед термообработкой или после нее круглошлифовальную операцию для шлифования наружной поверхности венца и торца, противолежащего базовому (желательно за один установ на оправке).

Технологическая база: отверстие и базовый торец.

Оборудование: круглошлифовальный или торцевкруглошлифовальный станок. Необходимость отделки наружной поверхности венца колеса часто вызывается и тем, что контроль основных точностных параметров зубьев производится с использованием этой поверхности в качестве измерительной базы.

Плоскошлифовальная. Шлифовать торец, противоположащий базовому (если необходимо по чертежу).

Технологическая база: базовый торец.

Оборудование: плоскошлифовальный станок с прямоугольным или круглым столом.

Зубошлифовальная. Шлифовать зубья.

Технологическая база: отверстие и базовый торец.

Оборудование: зубошлифовальный станок (обработка обкаткой двумя тарельчатыми или червячным кругами либо копированием фасонным кругом). При малом короблении зубьев при термообработке (например, при азотировании вместо цементации) операция зубошлифования может быть заменена зубохонингованием или вообще отсутствовать.

Необходимость зубошлифовальной или зубохонинговальной операции определяется наличием и величиной коробления зубьев при термообработке. Двукратное зубофрезерование и шевингование зубьев до термообработки может обеспечить 6-ю степень точности. При потере точности во время термообработки на одну степень конечная 7-я степень будет достигнута. Введение отделочной операции зубошлифования или зубохонингования необходимо только при уменьшении точности колеса при термообработке более, чем на одну степень. При этом следует избегать одновременного использования шевинговальной и зубошлифовальной операции, так как шевингование вводится, как правило, с целью исключения зубошлифовальной операции.

065 Контрольная.

При изготовлении составных и сварных колес предпочтительна окончательная обработка зубьев после сборки венцового колеса на ступице или сборки сварного колеса с валом.

Для обеспечения обработки соединительных отверстий в ступице и венцовом колесе в сборе необходимо предохранять от закалики соответствующие поверхности.

При изготовлении колес высокой точности или закаливаемых без последующей зубоотделочной обработки после черновых операций с большим съемом металла желательно проводить промежуточную термообработку для снятия внутренних напряжений; при азотировании поверхности зубьев после чернового нарезания осуществляется термическая стабилизация заготовки.

Типовые операции обработки зубчатого венца в различных условиях производства представлены в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Операции обработки зубчатых колес

Операция	Степень точности			
	12–9-я	8-я	7-я	6-я
Токарная (обработка баз)	Да	Да	Да	Да
Токарная	То же	То же	То же	То же
Зубофрезерная (зубодолбежная, зубострогальная)	>>	>>	>>	>>
Шевинговальная	Нет	>>	Нет	Нет
Термическая обработка	Возможна	Возможна	Возможна	Возможна
Внутришлифовальная	То же	Да	Да	Да
Плоскошлифовальная	>>	Возможна	Возможна	Возможна
Зубошлифовальная	Нет	Нет	Да	Да
Внутришлифовальная	То же	То же	Нет	То же
Зубошлифовальная	>>	>>	То же	>>

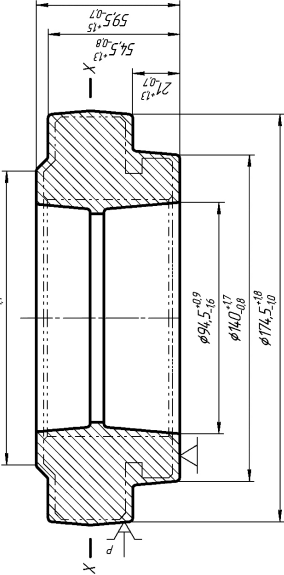
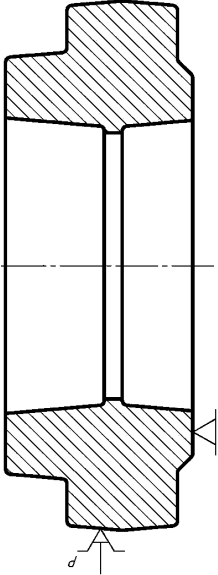
При проектировании технологического процесса следует учитывать, что современные токарные обрабатывающие центры позволяют выполнить всю лезвийную обработку деталей класса валов, дисков, фланцев, в том числе и зубчатых колес, на одном станке, включая формирование зубчатого венца. Ряд шлифовальных станков с ЧПУ оснащаются револьверными головками, позволяющими устанавливать несколько кругов и выполнять шлифование наружных, внутренних и торцовых поверхностей в одной операции.

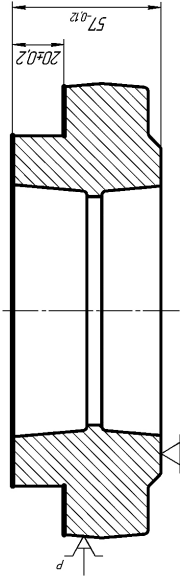
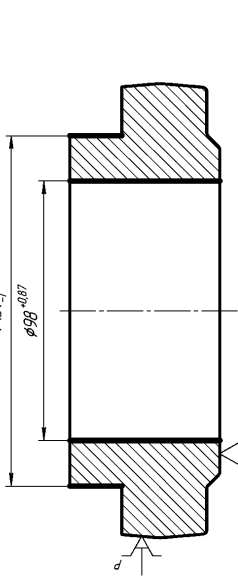
Пример проектирования технологического процесса изготовления зубчатого колеса

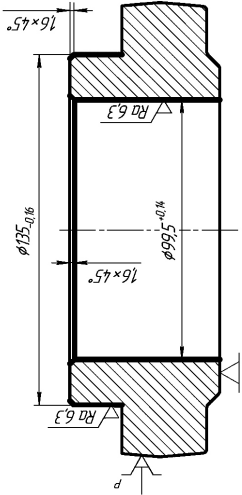
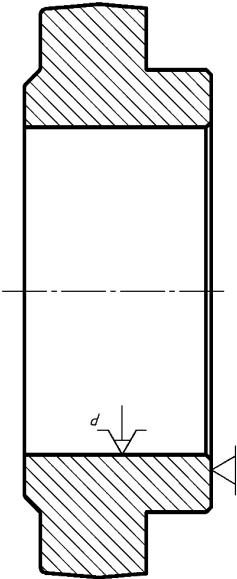
Чертеж детали представлен на рис. 3.3. Технологический процесс изготовления зубчатого колеса оформим в виде табл. 3.4.

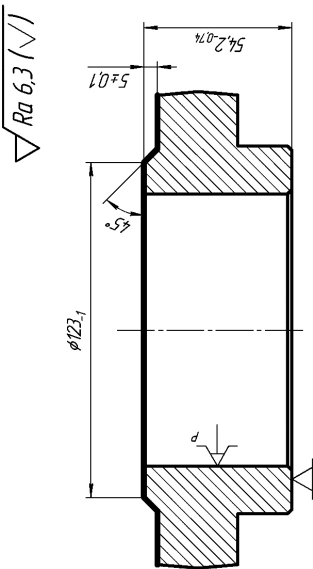
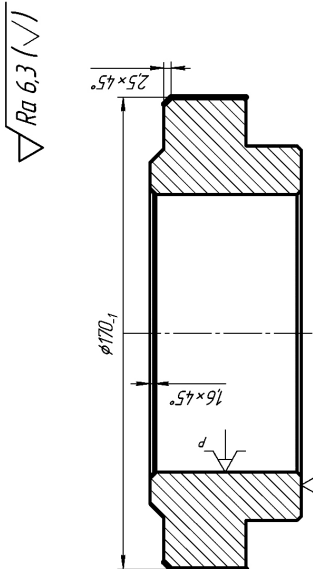
Таблица 3.4

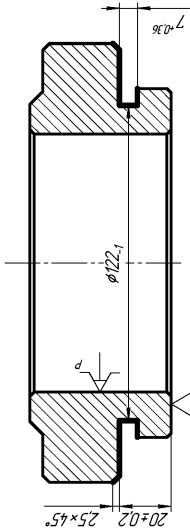
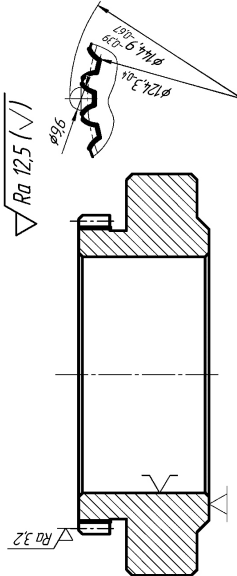
Технологический процесс обработки вала в условиях массового производства

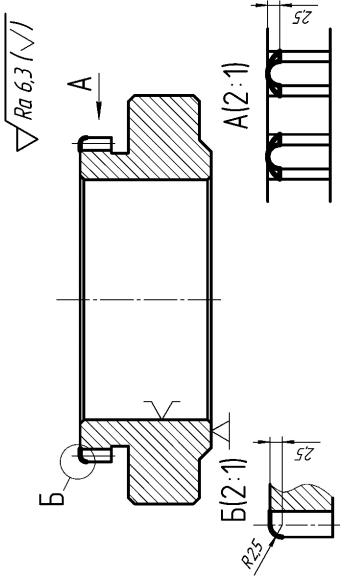
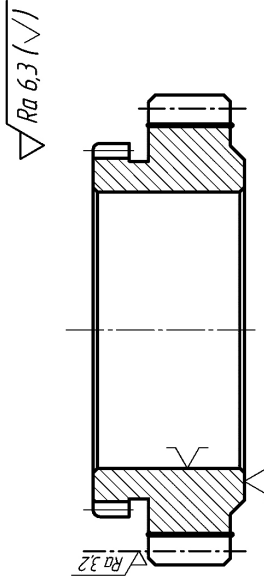
1 Номер, наименование операции	2 Эскиз обработки, содержание переходов	3 Оборудование, инструмент
Заготовительная	 Technical drawing of a shaft with the following dimensions and features: - Overall length: $595^{+16}_{-0.7}$ - Distance from left end to first step: $54.5^{+13}_{-0.8}$ - Distance between steps: $24^{+13}_{-0.7}$ - Distance from second step to right end: $174.5^{+10}_{-1.0}$ - Left diameter: $\phi 127^{+14}_{-1.1}$ - First step diameter: $\phi 94.5^{+0.9}_{-1.6}$ - Second step diameter: $\phi 140^{+1.7}_{-0.8}$ - Right diameter: $\phi 174.5^{+1.0}_{-1.0}$ - Surface finish symbols: R_p and R_{pX}	КГШП, поковка
005 — токарная Позиция I Закрепить заготовку	 Technical drawing of a shaft showing surface finish symbols R_p and R_{pX}.	Токарный восьмипишпидельный вертикальный полуавтомат, 1К282. Резец проходной, расточной, канавочный

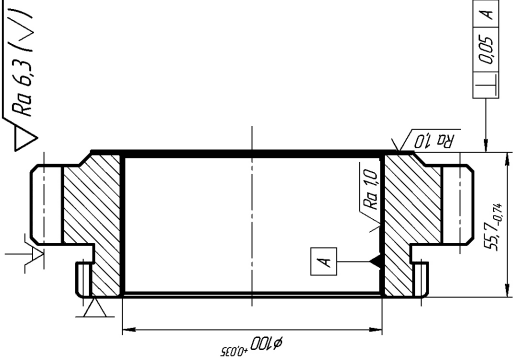
Позиция III Точить торцы	 $\sqrt{Ra\ 12,5\ (\sqrt{I})}$	
Позиция V 1. Точить наружную поверхность 2. Расточить отверстие	 $\sqrt{Ra\ 12,5\ (\sqrt{I})}$	

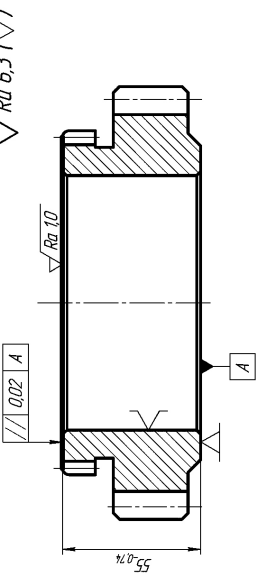
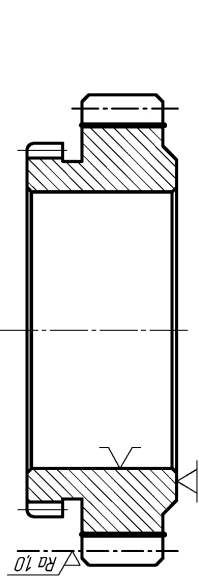
1	2	3
Позиция VII 1. Точить наружную поверхность 2. Расточить отверстие 3. Точить фаски		
Позиция II Закрепить заготовку		

Позиция IV Точить торцы		
Позиция VI 1. Точить наружную поверхность 2. Точить фаски		

1	2	3
Позиция VIII 1. Точить канавку 2. Точить фаски		
010 – зубодолбежная Долбить эвольвентные шлицы		Зубодолбежный станок 5М14. Долбяк

015 — зубозакругляющая Закруглить торцы зубьев		Зубозакругляющий станок, 5580
020 — зубофрезерная Фрезеровать зубья		Зубофрезерный станок, 5В312

1	2	3
025 — термическая 1. Цементация 2. Закалка 3. Низкий отпуск		Печь
030 — внутришлифовальная 1. Шлифовать отверстие 2. Шлифовать торец		Внутришлифовальный станок, 3K228A. Круг шлифовальный

035 — плоскошлифовальная Шлифовать торец		Плоскошлифовальный станок, 5Б722. Круг шлифовальный
040 — зубошлифовальная Шлифовать зубья		Зубошлифовальный станок, 5А841. Круг шлифовальный
045 — моечная		Моечная машина
050 — контрольная		Стол ОТК

Задачи по разработке технологических процессов изготовления зубчатых колес

Разработать маршрутные технологические процессы изготовления зубчатых колес, чертежи которых представлены на рис. 3.20—3.26 приложения. Тип производства определяет руководитель занятий.

3.4. Технологические процессы изготовления корпусных деталей

Рекомендации по разработке технологических процессов изготовления корпусных деталей

Корпусные детали являются базовыми деталями машин и механизмов. Они определяют положение других деталей и узлов в машине. Поверхностями, подлежащими обработке при изготовлении корпусных деталей, являются плоскости, основные отверстия, крепежные отверстия.

В общем случае при изготовлении корпусных деталей необходимо обеспечивать следующие технические требования:

- точность диаметров основных отверстий, которая обычно соответствует 6—9-му квалитетам;
- допуски плоскостности, перпендикулярности и параллельности плоских поверхностей;
- допуски параллельности осей основных отверстий относительно плоских поверхностей и между собой;
- позиционные допуски расположения крепежных отверстий;
- допуски соосности осей основных отверстий и др.

Разработка технологических процессов изготовления корпусных деталей включает следующие этапы:

- выбор способа получения заготовки;
- черновую и чистовую обработку плоских поверхностей или плоскости и двух отверстий, используемых в дальнейшем в качестве технологических баз;
- обработку остальных наружных поверхностей;
- черновую и чистовую обработку основных отверстий;
- обработку крепежных отверстий;
- финишную обработку плоских поверхностей и основных отверстий.

Заготовки корпусных деталей получают различными способами литья или сваркой из профильного проката.

В разработке технологических процессов изготовления корпусных деталей наиболее ответственным моментом является выбор технологических баз. Такой выбор выполняется в два этапа.

На первом этапе выбираются технологические базы для выполнения большинства операций. В качестве таких баз принимаются, как правило, поверхности, относительно которых задано большинство размеров детали. На втором этапе выбираются технологические базы для выполнения первой операции.

Типовой маршрут изготовления корпусных деталей

Рассмотрим последовательность механической обработки (операции) корпуса призматического типа с плоским основанием и основным отверстием с осью, параллельной основанию (см. приложение, рис. 3.18) [27].

Заготовительная. Заготовки корпусов из серого чугуна отливают в земляные, металлические (кокиль) или оболочковые формы, из стали — в земляные формы, кокиль или по выплавляемым моделям. Заготовки из алюминиевых сплавов отливают в кокиль или литьем под давлением. В единичном и мелкосерийном производстве применяют сварные корпуса из стали. Заготовки корпусных деталей перед механической обработкой проходят ряд подготовительных операций.

Фрезерная (протяжная) (010). Фрезеровать или протянуть плоскость основания начерно и начисто или с припуском под плоское шлифование (при необходимости).

Технологическая база: необработанная плоскость, параллельная обрабатываемой поверхности.

Оборудование:

- в единичном и мелкосерийном производстве — вертикально-фрезерный и строгальный станки;
- в серийном производстве — продольно-фрезерный и продольно-строгальный станки с ЧПУ;
- в крупносерийном и массовом производстве — барабанно-и карусельно-фрезерные, плоскопротяжные, агрегатно-фрезерные станки.

Сверлильная (015). Сверлить и зенковать (при необходимости) отверстия в плоскости основания. Развернуть два отверстия. Технологическая база: обработанная плоскость основания. Оборудование: радиально-сверлильный станок или сверлильный станок с ЧПУ, в массовом и крупносерийном производстве — многошпиндельный сверлильный станок или агрегатный станок.

Фрезерная (020). Обработка плоскостей, параллельных базовой (при их наличии). Технологическая база: плоскость основания. Оборудование — см. операцию 010.

Фрезерная (025). Обработка плоскостей, перпендикулярных базовой (торцы основных отверстий). Технологическая база:

плоскость основания и два точных отверстия. Оборудование: горизонтально-фрезерный или горизонтально-расточной станок.

Расточная (030). Растачивание основных отверстий (черновое и чистовое или с припуском под точное растачивание). Технологическая база та же, что и при фрезерной операции. Оборудование:

- единичное производство — универсальный горизонтально-расточной станок;
- мелкосерийное и среднесерийное производство — станки с ЧПУ расточно-фрезерной группы и многооперационные станки;
- крупносерийное и массовое производство — агрегатные многошпиндельные станки.

Точность межосевых расстояний, а также точность положения отверстий достигается с помощью:

- разметки (от $\pm 0,1$ до $+0,5$ мм);
- пробных расточек (до $+0,02$ мм);
- координатного растачивания на горизонтально-расточных станках (до $\pm 0,02$ мм);
- обработки по кондукторам и шаблонам (до $\pm 0,02$ мм, $\pm 0,03$ мм).

Сверлильная (035). Сверлить (зенковать при необходимости), нарезать резьбу в крепежных отверстиях. Технологическая база та же, что и при операции 025. Оборудование: радиально-сверлильный станок, сверлильный станок с ЧПУ, многооперационный, сверлильный многошпиндельный и агрегатный станки (в зависимости от типа производства).

Плоскошлифовальная (040). Шлифовать (при необходимости) плоскость основания. Технологическая база: поверхность основного отверстия или обработанная плоскость, параллельная базовой (в зависимости от требуемой точности расстояния от базовой плоскости до оси основного отверстия).

Оборудование: плоскошлифовальный станок с прямоугольным или круглым столом.

Алмазно-расточная (045). Тонкое растачивание основного отверстия. Технологическая база: базовая плоскость и два отверстия. Оборудование: алмазно-расточной станок.

С целью выдерживания принципа постоянства баз большинство операций обработки (020, 025, 030, 035), за исключением операций подготовки технологических баз (010, 015) и отделки основных поверхностей (040, 045), часто концентрируют в одну операцию, выполняемую на горизонтально-расточном (единичное производство), многооперационном (серийное производство) или агрегатном (массовое производство) станках.

В маршрут обработки разъемных корпусов дополнительно к вышеприведенным операциям включают:

- обработку поверхности разъема у основания (фрезерная);

- ### *Пример технологического процесса изготовления корпуса*

155

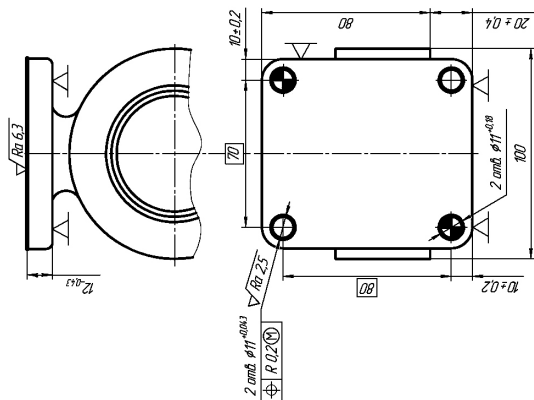
Технологический маршрут изготовления корпуса

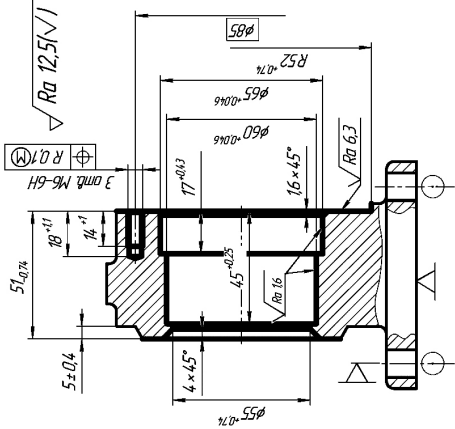
Номер, наименование операции	Эскиз обработки, содержание переходов	Оборудование, инструмент
005 — заготовительная отливка		3

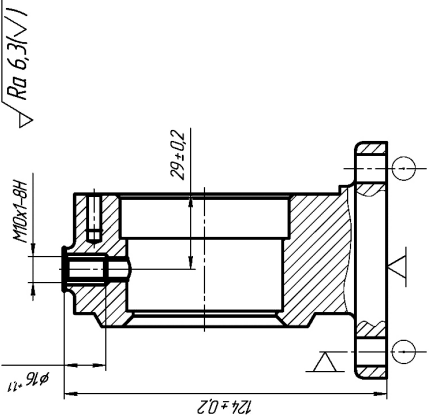
010 — вертикально-фрезерная с ЧПУ

1. Фрезерование плоскости основания
2. Сверление четырех отверстий
3. Развертывание двух отверстий

Вертикально-фрезер-
ный станок, 6Р13ФЗ



1	2	3
015 — сверлильно-фрезерно-расточная с ЧПУ 1. Фрезерование торца R 52 2. Черновое и чистовое растачивание отверстий Ø60 и Ø65. 3. Растачивание фаски 4. Центрование трех отверстий 5. Сверление трех отверстий под резьбу 6. Зенкование фасок в трех отверстиях 7. Нарезание резьбы в трех отверстиях 8. Поворот стола с деталью на 180° 9. Фрезерование торца Ø78 10. Растачивание отверстия Ø55 11. Растачивание фаски 4×45°		Сверлильно-фрезерно-расточной станок с ЧПУ мод. 2204ВМФ4

020 — вертикально-сверлильная с ЧПУ 1. Центрование отверстия 2. Сверление отверстия 3. Цекование отверстия 4. Зенкование фаски 5. Нарезание резьбы		Вертикально-сверлильный станок с ЧПУ мод. 2P118Ф2
025 — контрольная		

Задачи по проектированию маршрута изготовления корпусов

Разработать маршрутные технологические процессы изготовления корпусных деталей, чертежи которых представлены на рис. 3.16–3.19 приложения. Тип производства определяет руководитель занятий.

3.5. Технологические процессы изготовления рычагов и вилок

Рекомендации по разработке технологических процессов изготовления рычагов и вилок

Класс деталей «рычаги и вилки» является наиболее разнообразным в конструктивном отношении классом. К ним относятся шатуны, кронштейны, рычаги, коромысла, прихваты, собачки, стойки, поводки, вилки и другие детали.

В общем случае при изготовлении рычагов и вилок необходимо обеспечивать следующие технические требования:

- точность диаметров отверстий, которая обычно соответствует 6–10-му квалитетам точности;
- точность межосевых расстояний отверстий;
- перпендикулярность торцов бобышек относительно осей отверстий;
- перпендикулярность и параллельность плоскостей относительно осей отверстий (для вилок);
- перпендикулярность осей отверстий относительно плоскостей;
- параллельность осей отверстий между собой.

Перед разработкой технологического процесса должен быть проведен тщательный анализ служебного назначения детали, целью которого является выявление исполнительных поверхностей, основных и вспомогательных конструкторских баз. Чаще всего основными конструкторскими базами таких деталей являются отверстия и торцы, расположенные в бобышках, либо плоскости и отверстие. После этого может быть определена общая последовательность обработки деталей данного класса:

- выбор способа получения заготовки;
- черновая и чистовая обработка торцов бобышек и отверстий;
- обработка противоположных торцов бобышек;
- черновая и чистовая обработка плоскостей;
- обработка крепежных отверстий.

Типовой технологический процесс изготовления рычагов

Выбор материала зависит от служебного назначения и экономичности изготовления детали. Рычаги сложной формы могут быть достаточно экономично изготовлены из заготовки-отливки. Для деталей, работающих в машинах под небольшими, неударными нагрузками, выбирают серый чугун. Для нежестких деталей, работающих с толчками и ударами, недостаточно вязкий серый чугун является ненадежным материалом и заменяется ковким чугуном.

Чугунные заготовки рычагов получают обычно литьем в песчаные формы, отформованные по механическим моделям. При повышенных требованиях к точности отливок заготовки отливают в оболочковые формы. Отливки из ковкого чугуна следует подвергать отжигу и последующей правке для уменьшения остаточных деформаций.

Стальные заготовки рычагов получают ковкой, штамповкой, литьем по выплавляемым моделям и резе сваркой. При штамповке заготовок в небольших количествах используют подкладные штампы. С увеличением масштаба изготовления заготовок более экономичной становится штамповка их в открытых и закрытых штампах. В серийном производстве штамповки выполняют на штамповочных молотах, фрикционных и кривошипных прессах, а в крупносерийном и массовом — на кривошипных прессах и горизонтально-ковочных машинах.

При фрезеровании торцов втулок за технологическую базу принимают или поверхности стержня рычага, или противоположные торцы втулок; при их шлифовании за технологическую базу принимают противоположные торцы втулок.

При обработке основных отверстий в качестве технологической базы выбирают обработанные торцы втулок и их наружные поверхности, что обеспечивает равенство втулок. Заключительные этапы обработки выполняют при использовании в качестве технологической базы одного или двух основных отверстий и торцов втулок.

Рассмотрим основные операции механической обработки рычагов с общей плоскостью торцов втулок [27].

Заготовительная. Чугунные заготовки получают литьем в песчаные формы или оболочковые. Отливки из ковкого чугуна следует подвергать отжигу и последующей правке для уменьшения остаточных деформаций; стальные заготовки — ковкой, штамповкой, литьем по выплавляемым моделям, а в единичном производстве — сваркой.

Фрезерная. Фрезеровать торцы втулок с одной стороны начерно или начисто и с припуском под шлифование (при необходимости).

Технологическая база (установочная): поверхность стержня или противоположные торцы втулок. Направляющую и опорную базы выбирают из условий удобства установки детали. Станок вертикально-фрезерный или карусельно-фрезерный.

Фрезерная. Аналогична фрезерной операции, но с другой стороны. Технологическая база: обработанные торцы втулок. В серийном и массовом производстве обработка торцов втулок может выполняться одновременно с двух сторон, на горизонтально-фрезерном станке — набором фрез. Если заготовки проходят чеканку (т.е. торцы втулок обжаты прессом), то фрезерную обработку не проводят.

Обработка основных отверстий. Технологическая база: обработанные торцы втулок и их наружные поверхности, что обеспечивает равенство втулок. В зависимости от типа производства операцию выполняют:

- в единичном и мелкосерийном производстве на радиально- и вертикально-сверлильных станках или расточных станках по разметке со сменой инструмента;
- в мелкосерийном и серийном производстве — на сверлильных станках с ЧПУ, на радиально- и вертикально-сверлильных станках — по кондуктору со сменой инструмента и быстросменных втулок в кондукторах;
- в крупносерийном и массовом производстве — на агрегатных многошпиндельных одно- и многопозиционных станках, вертикально-сверлильных станках с многошпиндельными головками и на протяжных станках.

Маршрут обработки основных отверстий имеет варианты:

- сверление, зенкерование, одно- или двукратное развертывание либо двойное растачивание;
- сверление и протягивание (для отверстий диаметром более 30 мм), полученные в заготовке прошиванием или литьем; сверление заменяют предварительным зенкерованием.
- Обеспечение параллельности осей и межосевого расстояния основных отверстий достигается следующим образом (в порядке убывания точности):
 - одновременной обработкой несколькими инструментами на многошпиндельных станках;
 - последовательной обработкой при неизменном закреплении заготовки;
 - последовательной обработкой на разных станках, в разных приспособлениях.

Обработка шпоночных пазов или шлицевых поверхностей в основных отверстиях.

Обработка вспомогательных отверстий с нарезанием в них резьбы (если нужно), пазов и уступов. Технологическая база: основные отверстия (одно или два) и их торцы.

Плоское шлифование торцов втулок. Выполняется при повышенных требованиях к шероховатости и взаимному расположению торцов втулок на плоскошлифовальном станке с переустановкой. Технологическая база: торцы втулок.

Контрольная.

В зависимости от конкретных условий последовательность обработки поверхностей рычагов может меняться. Применяют варианты маршрута, в которых операции «фрезерование противобазового торца» и «обработка основных отверстий» меняются местами или объединяются.

Маршрут обработки рычагов с торцами втулок в разных плоскостях:

- обрабатывают торцы втулок с одной стороны;
- обрабатывают основные отверстия с той же стороны;
- обрабатывают торцы втулок с другой стороны;
- обрабатывают оставшиеся поверхности.

Пример технологического процесса изготовления шатуна

Маршрутный технологический процесс изготовления шатуна, чертеж которого представлен на рис. 3.5, оформим в виде табл. 3.6.

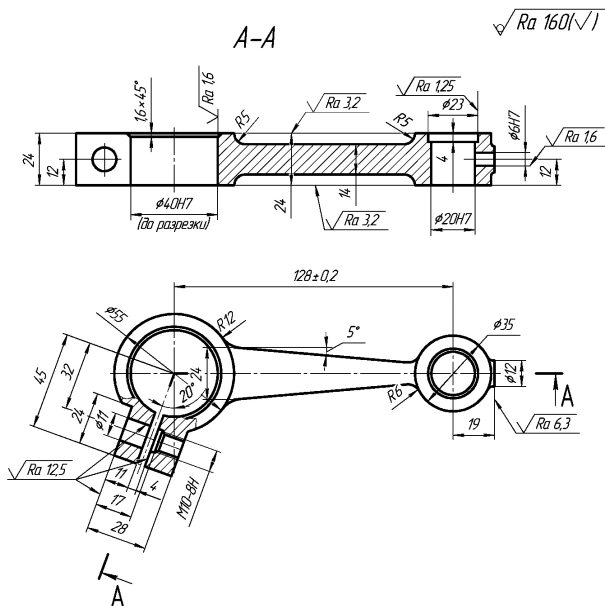
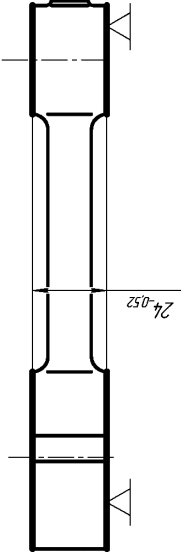
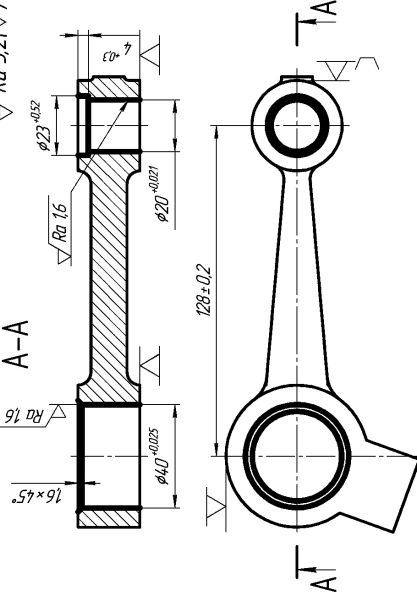
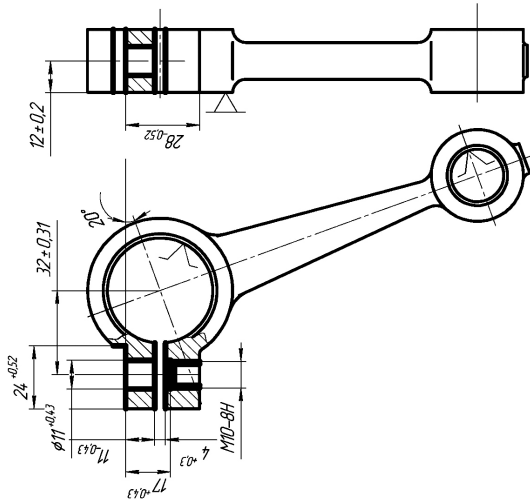


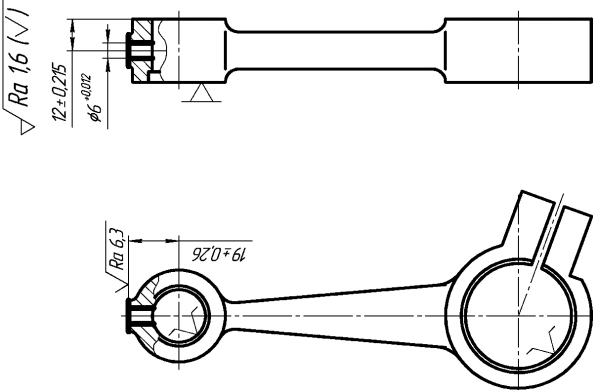
Рис. 3.5. Шатун (материал — сталь 45)

Технологический маршрут изготовления шатуна

Номер, наименование операции	Эскиз обработки, содержание переходов	Оборудование, инструмент
1	2	3
005 — заготовительная штамповка	Technical drawing of a crank pin (шатун) showing two views: a side view and a front view. The side view shows a central shaft with a diameter of $\phi 35.5^{+0.9}_{-1.3}$ mm, a length of 128^{+16}_{-9} mm, and a total length of 28^{+11}_{-9} mm. The front view shows a circular cross-section with a diameter of $\phi 12^{+1.3}_{-0.7}$ mm, a radius of $24^{+1.3}_{-0.7}$ mm, and a thickness of 21^{+11}_{-9} mm. The drawing also includes a 5° angle and a 20° angle.	

010 — вертикально-фрезерная 1. Фрезерование торцов двух головок 2. Переустановка детали 3. Фрезерование противоположных торцов двух головок	Вертикально-фрезерный станок мод. 6P11 	Вертикально-фрезерный станок мод. 6P11
015 — сверлильно-фрезерно-расточная с ЧПУ 1. Центрование отверстия малой головки 2. Сверление отверстия в малой головке 3. Двукратное развертывание отверстия в малой головке 4. Зенкование отверстия $\varnothing 23$ 5. Зенкерование отверстия в большой головке 6. Двукратное развертывание отверстия $\varnothing 40$ 7. Зенкование фаски	Сверлильно-фрезерно-расточной станок с ЧПУ мод. 2254ВМФ4 	Сверлильно-фрезерно-расточной станок с ЧПУ мод. 2254ВМФ4

1	2	3
020 — сверлильно-фрезерно-расточная с ЧПУ 1. Фрезерование плоскости (размер 24 мм) 2. Центрование отверстия 3. Сверление отверстия $\varnothing 11$ 4. Сверление отверстия под резьбу 5. Нарезание резьбы 6. Фрезерование паза	 Technical drawing of a mechanical part, likely a connecting rod. The drawing includes a side view and a cross-sectional view. The side view shows a long, thin shaft with a circular head at one end. The head has a central hole with a diameter of $\varnothing 11 \pm 0.03$ and a smaller central hole with a diameter of 4 ± 0.3. The shaft has a diameter of 12 ± 0.2 and a length of 28 ± 0.02. The head has a diameter of 32 ± 0.31 and a length of 24 ± 0.02. The shaft has a length of 17 ± 0.03 and a diameter of 11 ± 0.03. The head has a length of 4 ± 0.3 and a diameter of $M10-8H$. A surface texture symbol indicates $Ra 12.5$.	Сверлильно-фрезерно-расточной станок с ЧПУ мод. 2254ВМФ4

025 – вертикально-сверлильная с ЧПУ 1. Центрование отверстия 2. Сверление отверстия 3. Цекование отверстия 4. Двукратное развертывание отверстия		Вертикально-сверлильный станок с ЧПУ мод. 2Р118Ф2
--	---	--

Задачи по проектированию технологического процесса изготовления рычагов

Разработать маршрутные технологические процессы изготовления деталей, чертежи которых представлены на рис. 3.27–3.31 приложения.

3.6. Размерный анализ точности технологического процесса изготовления детали

Основные требования размерного анализа технологического процесса

Под размерным анализом технологических процессов изготовления деталей машин понимаются специальные способы выявления и фиксации связей размерных параметров детали при ее изготовлении, а также методы расчета этих параметров путем решения операционных размерных цепей. К размерному анализу приступают после того, как на основе логической оценки предполагаемых вариантов будет выбран технологический процесс изготовления детали.

Размерный анализ позволяет решить следующие вопросы:

- рассчитать операционные размеры и технические требования для всех операций технологического процесса, гарантирующие изготовление качественных деталей;
- определить размеры заготовки с минимально необходимыми припусками, что повышает коэффициент использования металла;
- спроектировать технологический процесс с минимально возможным количеством операций (переходов), что снижает его трудоемкость.

Для решения названных задач в процессе размерного анализа должен быть осуществлен целый комплекс расчетно-графических работ, к которому относятся:

- преобразование и проверка чертежа детали;
- построение размерных схем технологического процесса;
- выявление размерных связей и составление уравнений размерных цепей;
- расчет операционных размерных цепей.

Оценка правильности простановки размеров

Такая проверка может осуществляться с помощью теории графов [3]. Граф на плоскости изображается множеством соот-

ветствующих поверхностям вершин, соединенных дугами или ребрами, каждая из которых соответствует размеру, связывающему две поверхности. Граф размерных связей строится для каждой координатной оси (рис. 3.6).

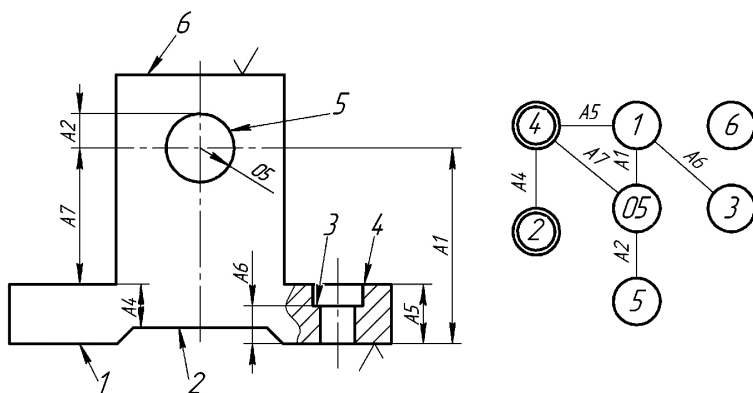


Рис. 3.6. Эскиз детали и граф размерных связей

На эскизе детали значком шероховатости обозначены обработанные поверхности. Исходные поверхности (необрабатываемые, которые могут использоваться в качестве замыкающих звеньев размерных цепей) отмечены двойной окружностью. Номер внутри окружности соответствует номеру поверхности. Симметрично расположенные поверхности (в частности, поверхности вращения) на графе обозначены двумя вершинами, одна из которых является осью симметрии.

Если размеры проставлены правильно, то граф размерных связей отвечает следующим требованиям [3]:

- на графе не должно быть оторванных групп вершин. Если таковые на графе присутствуют, то это значит, что не хватает размеров или технических требований;
- на графе не должно быть замкнутых контуров. Наличие замкнутых контуров говорит о том, что проставлены лишние размеры;
- группы исходных и обработанных размеров имеют только одно общее ребро.

Возвращаясь к представленному выше графу, можно отметить, что в простановке размеров имеются ошибки:

- не выполняется требование по оторванным вершинам, так как вершина *б* не связана ребром с графом;
- между исходными и обработанными поверхностями имеется несколько размерных связей (ребра *A5* и *A7*);
- на графе имеется замкнутый контур *1–05–4*.

На рис. 3.7 представлен один из вариантов исправления исходного графа размерных связей. На данном рисунке показан эскиз детали, соответствующий исправленному графу.

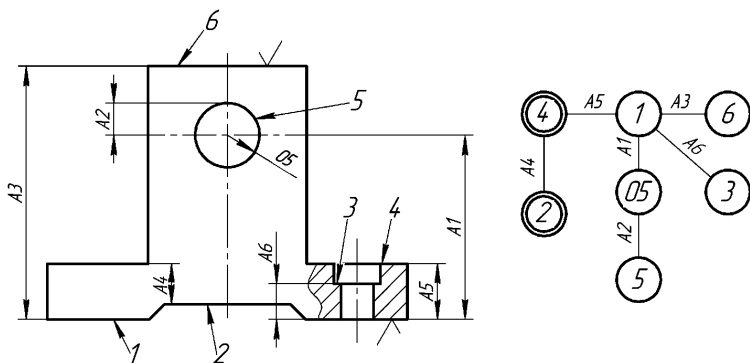


Рис. 3.7. Исправленный граф и эскиз детали после исправлений

Разработка размерной схемы технологического процесса

Вычерчивают эскиз детали в одной (для тел вращения), двух или трех проекциях (рис. 3.8). На детали указывают размеры с допусками, установленными конструктором. Конструкторские размеры обозначают A_i , где i – порядковый номер размера. Также на эскизе указываются припуски Z_m , где m – номер поверхности, к которой относится припуск. Все поверхности детали нумеруются по порядку слева направо. Через границы пронумерованных поверхностей проводят вертикальные линии. Между вертикальными линиями по порядку снизу вверх указывают технологические размеры, получаемые при выполнении каждого технологического перехода. Технологические размеры обозначают Sk , где k – порядковый номер технологического перехода. Размеры заготовки обозначают $3r$, где r – порядковый номер поверхности заготовки.

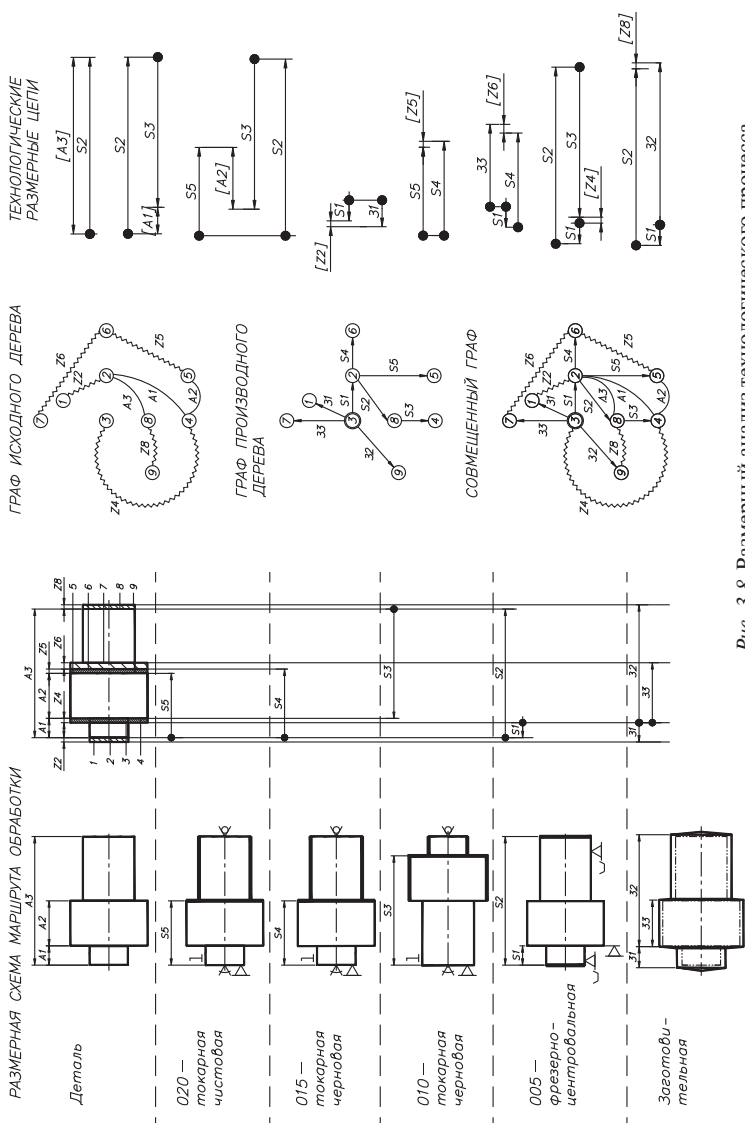


Рис. 3.8. Размерный анализ технологического процесса

Выявление технологических размерных цепей

Выявление размерных технологических цепей даже при составленной размерной схеме технологического процесса — достаточно сложная задача, особенно при большом (более пяти) числе звеньев. Проще выявлять технологические размерные цепи с помощью теории графов.

Приняв поверхности заготовки и детали за вершины, размерные связи между ними — за ребра, чертеж детали можно представить в виде двух деревьев. Дерево с конструкторскими размерами и припусками на обработку называется исходным, а дерево с технологическими размерами и размерами заготовки — производным или технологическим. Если оба дерева совместить, то такой совмещенный граф позволяет представить геометрическую структуру технологического процесса обработки детали.

Любой замкнутый контур на совмещенном графе, состоящий из ребер, образует технологическую размерную цепь. В ней ребро исходного дерева является замыкающим звеном, ребра производного дерева — составляющими. В каждой размерной цепи одно ребро должно быть ребром исходного дерева (конструкторский размер или припуск), а остальные — ребрами производного дерева, т.е. технологическими размерами или размерами заготовки.

При построении графов размерных цепей принято вершины (поверхности) обозначать кружками, внутри которых указывать их номер. Ребра производного дерева изображают прямыми линиями со стрелками на конце, показывающими, в какую вершину они входят. Ребра исходного дерева изображают в виде неориентированных дуг, если они соответствуют конструкторским размерам, и в виде волнистых линий, если это припуски. При построении производного дерева корнем выбирают вершину (поверхность), к которой на размерной схеме технологического процесса не подходит ни одна стрелка.

После построения проверяют правильность каждого дерева:

- число вершин у каждого дерева должно быть равно числу поверхностей на размерной схеме технологического процесса (с учетом поверхностей заготовки и промежуточных);
- число ребер у каждого дерева должно быть одинаковым и равным числу вершин без единицы;
- к каждой вершине производного дерева, кроме корневой, должна приходить только одна стрелка ориентированного

ребра, а к корневой вершине не должно приходить ни одной стрелки;

- деревья не должны иметь разрывов и замкнутых контуров.

После проверки правильности дерева совмещают так, чтобы вершины с одинаковыми порядковыми номерами совпали; при этом вершины надо располагать так, чтобы ребра не пересекались (см. рис. 3.8).

Любой замкнутый контур на графе совмещенного дерева образует размерную цепь, у которой ребро исходного дерева является замыкающим, а ребро производного дерева — составляющим звеньями. В качестве технологической размерной цепи принимается только такой замкнутый контур, в котором имеется только одно ребро исходного дерева, а остальные — производного.

Выявление и расчет размерных цепей по графу начинают с двухзвенных размерных цепей, а затем в такой последовательности, чтобы в каждой цепи было только одно неизвестное по величине звено, а остальные звенья были определены расчетом предыдущих размерных цепей. Для этого рекомендуется выявление и расчет размерных цепей начинать в последовательности, обратной выполнению технологического процесса, т.е. с последней операции и последнего перехода, и заканчивать первым переходом или размером заготовки.

Граф размерных цепей облегчает выявление размерных цепей и позволяет обнаружить ошибки в технологии или на чертеже. Если при составлении производного дерева (или исходного) обнаружится разрыв между вершинами либо появится замкнутый контур, то в первом случае это указывает на отсутствие нужных размеров в принятой технологии, а во втором — на наличие лишних размеров.

Расчет технологических размерных цепей

Расчет технологических размерных цепей сводится в табл. 3.7. В первый столбец заносятся определяемые размеры (выдерживаемые размеры на технологической операции). Используя сведения о экономически выгодной точности обработки (см. приложение, табл. В.1), предварительно устанавливают допуски на обработку (столбец 2, табл. 3.7). Выявляются и записываются уравнения размерных цепей для определения соответствующего параметра.

Расчет технологических размерных цепей

Определяемый размер	Экономически выгодный допуск обработки, мм	Уравнение размерной цепи	Замыкающее звено	Определяемый размер
1	2	3	4	5
S_2	0,1	$A_3 = S_2$	$A_3 = 100^{+0,1}_{-0,2}$	$S_2 = 100^{+0,1}_{-0,2}$
S_3	...	$A_1 = S_2 - S_3$	$A_1 = ...$	$S_3 = ...$
S_5	...	$A_2 = S_5 + S_3 - S_2$	$A_2 = ...$	$S_5 = ...$
S_1	...	$Z_2 = 31 - S_1$	$Z_2 = ...$	$S_1 = ...$
S_4	...	$Z_5 = S_4 - S_5$	$Z_5 = ...$	$S_4 = ...$

Далее определяется величина замыкающего звена и выполняется расчет цепи. Технологические размерные цепи редко содержат более четырех звеньев, поэтому их расчет чаще всего проводят по методу полной взаимозаменяемости. Если число звеньев более четырех, используют вероятностный метод; также допустимо использовать метод неполной взаимозаменяемости и при меньшем числе звеньев размерной цепи с целью расширения полей допуска, но тогда следует учитывать коэффициенты относительного рассеивания и асимметрии [17].

В зависимости от характера замыкающего звена расчет выполняется в следующей последовательности.

- *Замыкающее звено — конструкторский размер.* Устанавливается и записывается в столбец 4 табл. 3.7 величина замыкающего звена с отклонениями — данные принимаются по чертежу детали. Проверяется, обеспечивает ли структура технологического процесса точность (допуск) конструкторских размеров. Для всех размерных цепей, где замыкающим звеном является конструкторский размер, при расчете должно выполняться требование

$$TA_i \geq \sum TS_i, \quad (3.1)$$

где TA_i — допуск конструкторского размера, являющегося замыкающим звеном рассматриваемой размерной цепи; $\sum TS_i$ — сумма допусков всех технологических размеров, которые входят в эту цепь.

Далее на основании расчета размерной цепи устанавливаются номинальное значение и предельные отклонения искомого звена, результаты заносятся в столбец 5 табл. 3.7.

- *Замыкающее звено — припуск.* Устанавливается минимальное значение припуска. Если заготовкой является отливка или поковка, то в процессе расчета размерных цепей возникает задача распределения общего припуска на поверхность по отдельным переходам обработки. В этом случае при двукратной обработке поверхности величины припусков могут быть приняты из соотношения 2 : 1, при трехкратной — из соотношения 3 : 2 : 1, при четырехкратной — из соотношения 4 : 3 : 2 : 1 [3].

Если заготовкой является прокат, можно использовать величины промежуточных припусков, данные в табл. В.11 приложения.

Определяется поле рассеяния припуска

$$\omega Zi \geq \sum TSi. \quad (3.2)$$

Далее определяется максимальная величина припуска $Zi_{\max}$.

Критерием для оценки правильности принятого варианта обработки является ограничение по величине отношения $Zi_{\max} / Zi_{\min}$ (для лезвийной обработки — $Zi_{\max} / Zi_{\min} \leq 3$ [3]).

Далее устанавливается минимальное или максимальное значение искомого звена, определяются номинальное значение и предельные отклонения, результаты заносятся в столбец 5 табл. 3.7.

Если принятый технологический процесс не обеспечивает требуемую точность обработки, принимается решение об изменении схемы базирования заготовок, точности обработки на отдельных переходах, структуры операций, последовательности выполнения операций и т.п. с выполнением повторного размерного анализа для вновь принятого процесса обработки.

Пример размерного анализа технологического процесса изготовления стакана

Выполним проверку правильности простановки линейных размеров для стакана (см. рис. 3.2).

Вычерчиваем эскиз стакана с условным обозначением поверхностей и линейных размеров; вспомогательные поверхности, не имеющие функционального назначения (фаски, канавки под выход шлифовального круга), из расчетов исключаем (рис. 3.9).

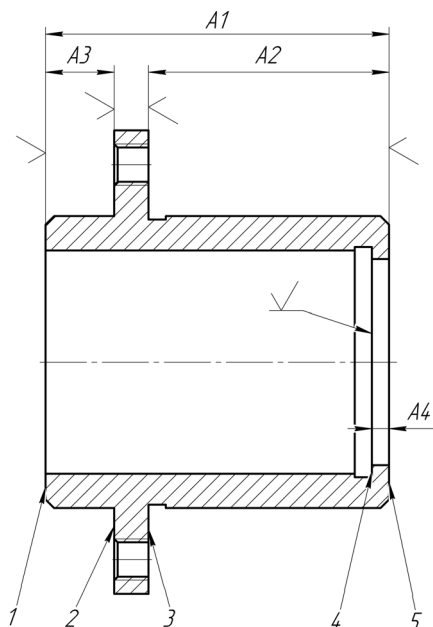


Рис. 3.9. Эскиз стакана

Строим граф размерных связей (рис. 3.10).

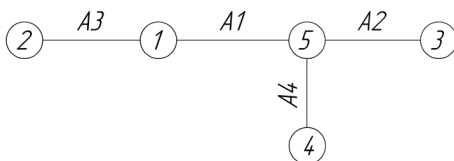


Рис. 3.10. Граф размерных связей

На основании анализа графа размерных связей можно сделать следующие выводы:

- на графе нет оторванных вершин — размеры указаны все;
- на графе нет замкнутых контуров — лишние размеры отсутствуют.

Выполним размерный анализ технологического процесса изготовления стакана (см. табл. 3.2.).

Построим размерную схему маршрута обработки (рис. 3.11). В схему включаем только те операции, в которых выдерживаются линейные размеры (005, 010, 015, 025).

Деталь

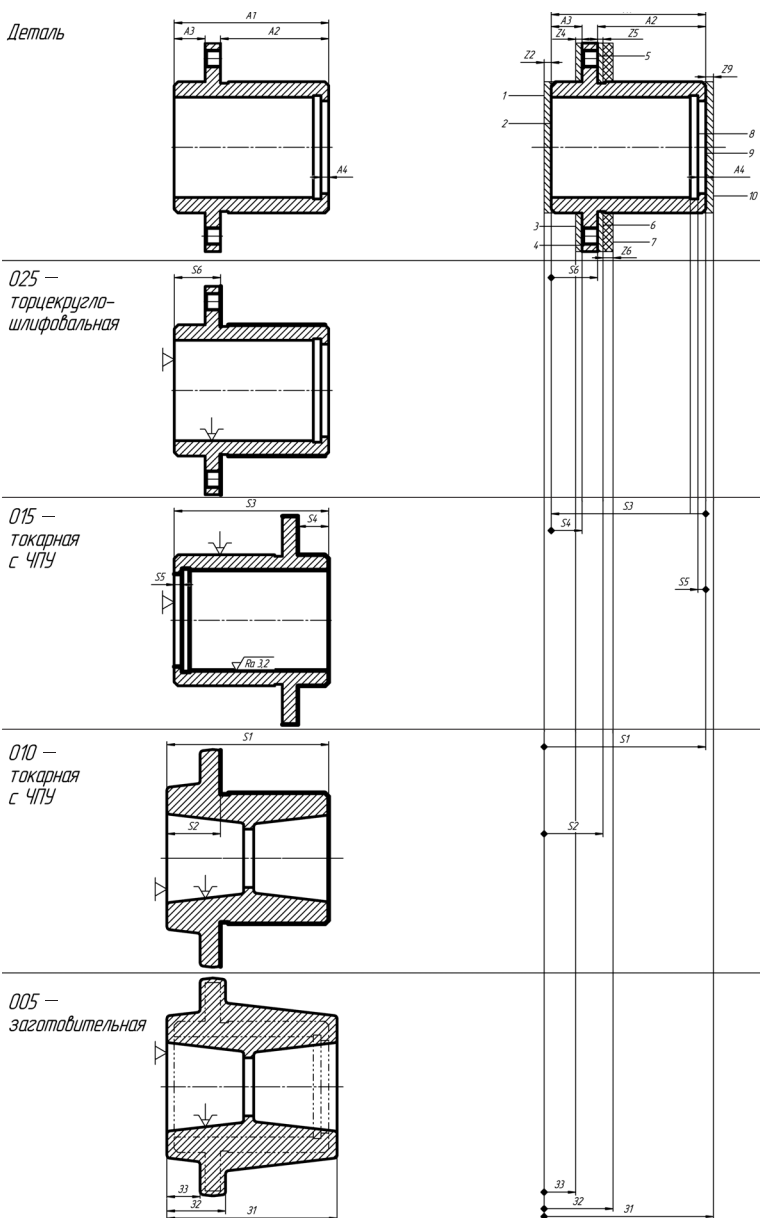


Рис. 3.11. Размерная схема технологического процесса изготовления стакана (операции)

На основании размерной схемы выполним построение дерева исходного графа и дерева производного графа (рис. 3.12).

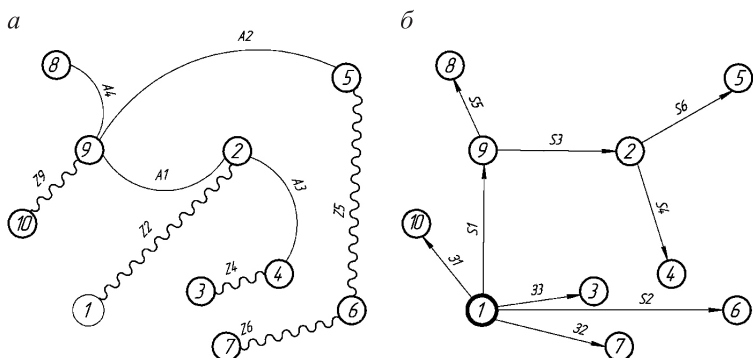


Рис. 3.12. Исходный и производный граф размерных связей технологического процесса изготовления стакана

Выполним проверку построения графов:

- число вершин у каждого дерева равно числу поверхностей на размерной схеме техпроцесса;
- число ребер у каждого дерева одинаково и равно числу вершин без единицы;
- к каждой вершине производного дерева, кроме корневой, приходит только одна стрелка ориентированного ребра, а к корневой вершине не приходит ни одной стрелки;
- деревья не имеют разрывов и замкнутых контуров.

На основании вышеизложенного формулируем вывод: графы построены верно.

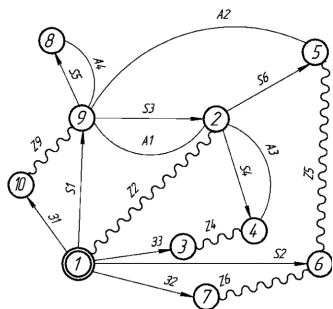


Рис. 3.13. Совмещенный граф размерных связей технологического процесса

Выполним построение совмещенного графа (рис. 3.13).

Рассчитаем линейные операционные размеры для всех операций технологического процесса, гарантирующие изготовление качественных деталей, для чего выявим и рассчитаем размерные цепи. Сначала выявим двухзвенные размерные цепи, затем — трехзвенные, а далее — остальные.

Рассчитываем двухзвенные технологические цепи (рис. 3.14):

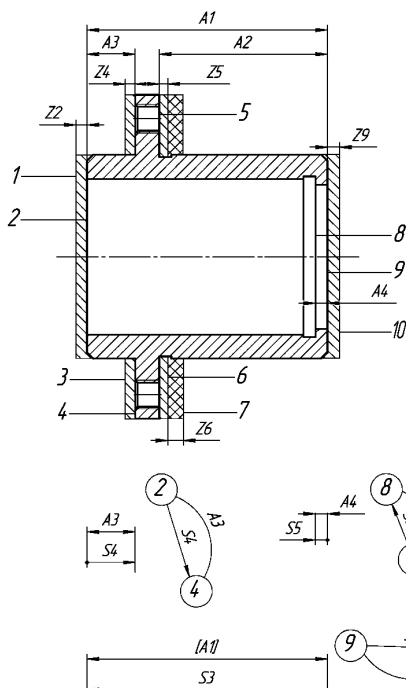


Рис. 3.14. Технологические размерные цепи

$$S3 = A1 = 100_{-0,87};$$

$$S4 = A3 = 20 \pm 0,26;$$

$$S5 = A4 = 5_{-0,3}.$$

Рассчитаем трехзвенные цепи методом полной взаимозаменяемости. Определим номинальное значение размера $S6$. Одной из целей обработки на операции 025 является обеспечение точности размера $A2$ (рис. 3.15):

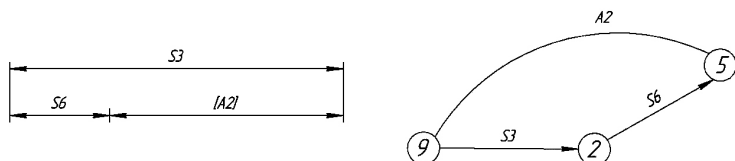


Рис. 3.15. Технологическая размерная цепь для размера $S6$

$$[A2] = S3 - S6.$$

Отсюда

$$S6 = S3 - [A2] = 100 - 70 = 30 \text{ мм.}$$

Определяем величину допуска размера $S8$ и $S5$:

$$TAi = \frac{TA\Delta}{n} = \frac{0,74}{2} = 0,37 \text{ мм.}$$

Назначаем поле допуска на размер $S3$ с учетом поля допуска, рассчитанного ранее (верхнее отклонение 0):

$$S3 = 100_{-0,37}.$$

Определяем середину поля звена $S6$ из условия:

$$ECA2 = ECS3 - ECS6;$$

$$ECS6 = ECS3 - ECA2 = -0,185 - 0,37 = -0,555 \text{ мм.}$$

Устанавливаем верхнее и нижнее отклонения поля допуска на размер $S6$:

$$S6 = 30_{-0,74}^{-0,37}.$$

Определим номинальное значение размера $S1$. При обработке на операции 010 правого торца также необходимо обеспечить требуемую величину припуска ($Z2$) для обработки левого торца (рис. 3.16):

$$[Z2] = S1 - S3;$$

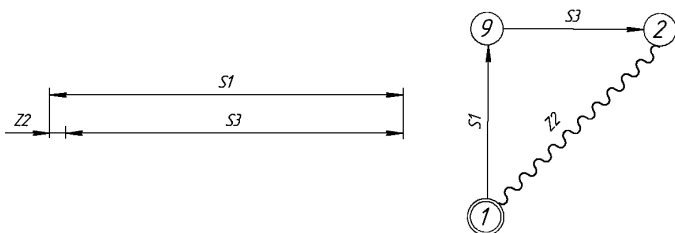


Рис. 3.16. Технологическая размерная цепь для размера $S8$

В соответствии с ГОСТ 7505–89 минимальная величина припуска $Z2_{\min} = 1,8$ мм. Запишем уравнение размерной цепи относительно $Z2_{\min}$:

$$Z_{\min} = \sum EI_j - \sum ES_k.$$

Тогда

$$Z2_{\min} = S1_{\min} - S3_{\max};$$

$$S1_{\min} = Z2_{\min} + S3_{\max} = 1,8 + 100 = 101,8 \text{ мм.}$$

Допуск $S1$ принимаем по 10-му качеству точности, что соответствует чистовой обработке $TS1 = 0,14$ мм. Устанавливаем верхнее и нижнее отклонения поля допусков на размер $S1$:

$$S1 = 101,8^{+0,14}_{\text{мм.}}$$

Устанавливаем соотношение $Z2_{\max}/Z2_{\min}$, для чего определяем поле рассеивания припуска:

$$\omega Z2 = TS1 + TS3 = 0,14 + 0,37 = 0,51 \text{ мм.}$$

Максимальное значение припуска

$$Z2_{\max} = Z2_{\min} + \omega Z2 = 1,8 + 0,51 = 2,31 \text{ мм.}$$

Тогда отношение максимального припуска к минимальному

$$\frac{Z2_{\max}}{Z2_{\min}} = \frac{2,31}{1,8} = 1,28 < 3.$$

Лезвийная обработка поверхности 9 возможна.

Определим номинальное значение размера $S2$ (рис. 3.17):

$$[Z6] = 32 - S2.$$

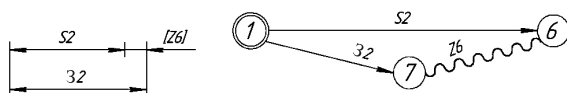


Рис. 3.17. Технологическая размерная цепь для размера $S2$

Суммарная величина припуска на поверхность 5 устанавливается в соответствии с ГОСТ 7505–89:

$$Z5_{\min} + Z6_{\min} = 1,7 \text{ мм.}$$

Распределяем общий припуск между $Z5$ и $Z6$ в соотношении 2 : 1:

$$Z5_{\min} = \frac{1,7}{3} \cdot 1 = 0,56 \text{ мм};$$

$$Z6_{\min} = 1,7 - 0,56 = 1,14 \text{ мм}.$$

Запишем уравнение размерной цепи относительно $Z6_{\min}$:

$$Z6_{\min} = 32_{\min} - S2_{\max};$$

$$S2_{\max} = 32_{\min} - Z6_{\min} = 33,2 - 1,7 = 31,5 \text{ мм}.$$

Допуск $S2$ принимаем по 10-му качеству точности, что соответствует чистовой обработке $TS1 = 0,1$ мм. Устанавливаем верхнее и нижнее отклонения поля допуска на размер $S2$:

$$S2 = 31,5_{-0,1} \text{ мм}.$$

Устанавливаем соотношение $Z6_{\max}/Z6_{\min}$, для чего определяем поле рассеивания припуска:

$$\omega Z6 = T32 + TS2 = 1,2 + 0,1 = 1,3 \text{ мм}.$$

Максимальная величина припуска

$$Z6_{\max} = Z6_{\min} + \omega Z6 = 1,14 + 1,3 = 2,34 \text{ мм}.$$

Тогда отношение максимального припуска к минимальному

$$\frac{Z6_{\max}}{Z6_{\min}} = \frac{2,34}{1,14} = 2,05 < 3.$$

Лезвийная обработка поверхности b возможна.

Результаты расчета сводим в табл. 3.8

Таблица 3.8

Расчет технологических размерных цепей

Определяемый размер	Экономически выгодный допуск обработки, мм	Уравнение размерной цепи	Замыкающее звено	Определяемый размер
1	2	3	4	5
$S3$	0,14	$S3 = [A1]$	$A1 = 100_{-0,87}$	$S3 = 100_{-0,37}$

1	2	3	4	5
$S4$	0,033	$S4 = [A3]$	$A3 = 20 \pm 0,26$	$S4 = 20 \pm 0,26$
$S5$	0,048	$S5 = [A4]$	$A4 = 5_{-0,3}$	$S5 = 5_{-0,3}$
$S6$	0,14	$[A2] = S3 - S6$	$A2 = 70_{-0,74}$	$S6 = 30_{-0,74}^{-0,37}$
$S1$	0,14	$[Z2] = S1 - S3$	$Z2_{\min} = 1,8$	$S1 = 101,8^{+0,14}$

***Задачи по выполнению размерного анализа
технологического процесса***

Выполнить размерный анализ маршрутного технологического процесса изготовления валов, стаканов, втулок, зубчатых колес (рис. 3.1–3.15, 3.20–3.26), разработанного при выполнении п. 3.1–3.3.

4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ СБОРКИ МАШИН. МЕТОДЫ ДОСТИЖЕНИЯ ТОЧНОСТИ ПРИ СБОРКЕ МАШИН

4.1. Метод полной взаимозаменяемости

Пример решения размерной цепи методом максимума-минимума

Методом максимума-минимума определить допуски и предельные отклонения составляющих звеньев размерной цепи A (рис. 4.1). Задачу решить способом назначения допусков одного квалитета точности. Задача решается с помощью размерной цепи A , исходным (замыкающим) звеном которой является звено A_{Δ} . Размер и предельные отклонения звена A_{Δ} вытекают из служебного назначения сборочной единицы:

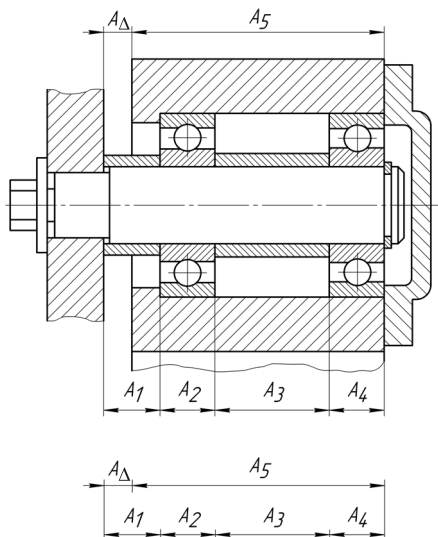


Рис. 4.1. Схема подшипникового узла

- номинальный размер: $A_{\Delta} = 10$ мм;
- верхнее отклонение: $ESA_{\Delta} = +0,3$ мм;
- нижнее отклонение: $EIA_{\Delta} = -0,1$ мм;
- допуск: $TA_{\Delta} = 0,3 - (-0,1) = 0,4$ мм;
- координата середины поля допуска:

$$Ec_{\Delta} = \frac{ESA_{\Delta} + EIA_{\Delta}}{2}, \quad (4.1)$$

$$Ec_{\Delta} = \frac{0,3 - 0,1}{2} = +0,1 \text{ мм.}$$

На схеме подшипникового узла (см. рис. 4.1) выявляем все звенья размерной цепи ($A_1 - A_5$), участвующие в решении поставленной задачи, т.е. влияющие на величину замыкающего звена, и вычерчиваем отдельно размерную цепь.

Выявляем увеличивающие и уменьшающие звенья: A_1, A_2, A_3, A_4 — увеличивающие звенья; A_5 — уменьшающее звено.

По сборочному чертежу устанавливаем номинальные размеры составляющих звеньев:

$A_1 = 18$ мм, $A_2 = A_4 = 19$ мм (подшипники № 306 по ГОСТ 8338–85), $A_3 = 40$ мм, $A_5 = 86$ мм.

Проверяем правильность определения номинальных размеров составляющих звеньев размерной цепи по уравнению

$$A_{\Delta} = \sum_{i=1}^m A_{\text{ув}} - \sum_{j=1}^n A_{\text{ум}}, \quad (4.2)$$

где A_{Δ} — номинальное значение замыкающего звена; $\sum_{i=1}^m A_{\text{ув}}$ — сумма увеличивающих звеньев; $\sum_{j=1}^n A_{\text{ум}}$ — сумма уменьшающих звеньев; m, n — число увеличивающих и уменьшающих звеньев соответственно.

$$A_{\Delta} = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 - A_5,$$

$$10 = 18 + 19 + 40 + 19 - 86 = 10 \text{ мм.}$$

Из табл. Ж.1 приложения выписываем единицы допусков составляющих звеньев:

$$i_1 = 1,08; i_3 = 1,53; i_5 = 2,17.$$

Звенья A_2 и A_4 являются стандартными изделиями (подшипниками), и допуски на них определены ГОСТ 520–89:

$TA_2 = TA_4 = 120$ мкм. Поэтому звенья A_2 и A_4 в определении среднего качества точности не участвуют.

Среднее количество единиц допусков рассчитываем по формуле

$$a_{\text{ср}} = \frac{TA_{\Delta} - TA_j}{\sum_{k=1}^{m+n} i}, \quad (4.3)$$

где TA_j — допуски на стандартные изделия, установленные соответствующими стандартами:

$$a_{\text{ср}} = \frac{TA_{\Delta} - TA_2 - TA_4}{i_1 + i_3 + i_5},$$

$$a_{\text{ср}} = \frac{400 - 120 - 120}{1,08 + 1,53 + 2,17} = 33.$$

Полученное значение $a_{\text{ср}}$ находится между 8-м и 9-м качествами точности (см. приложение, табл. Ж.1). С учетом технологических возможностей изготовления деталей на звено A_5 назначаем допуск по 9-му качеству точности, на звено A_3 — по 8-му качеству, на звено A_1 назначаем нестандартный допуск (см. приложение, табл. В.2). Таким образом, имеем $TA_1 = 34$ мкм; $TA_2 = 120$, $TA_3 = 39$, $TA_4 = 120$, $TA_5 = 87$ мкм (см. приложение, табл. В.3).

Выполняем проверку правильности назначения допусков по формуле

$$TA_{\Delta} = \sum_{k=1}^{m+n} TA_i, \quad (4.4)$$

где TA_i — допуски составляющих звеньев.

$$TA_{\Delta} = TA_1 + TA_2 + TA_3 + TA_4 + TA_5,$$

$$400 = 34 + 120 + 39 + 120 + 87.$$

Задаем расположение допусков: «в плюс» — для охватывающих размеров, «в минус» — для охватываемых размеров, для остальных — симметрично, кроме звена A_1 :

$$A_2 = 19_{-0,12}; A_3 = 40_{-0,039}; A_4 = 19_{-0,12}; A_5 = 86_{-0,087}.$$

Рассчитываем координаты середин полей допусков звеньев $A_2 - A_5$ по формуле

$$Ec_i = \frac{ESA_i + EIA_i}{2}, \quad (4.5)$$

где ESA_i – верхнее отклонение размера A_i ; EIA_i – нижнее отклонение размера A_i .

$$Ec_2 = \frac{0 - 0,12}{2} = -0,06 \text{ мм}; \quad Ec_3 = \frac{0 - 0,039}{2} = -0,0195 \text{ мм};$$

$$Ec_4 = \frac{0 - 0,12}{2} = -0,06 \text{ мм}; \quad Ec_5 = \frac{0 - 0,087}{2} = -0,0435 \text{ мм}.$$

Координату середины поля допуска звена A_1 определяем из уравнения

$$Ec_{\Delta} = \sum_{i=1}^m Ec_{yB} - \sum_{j=1}^n Ec_{yM}, \quad (4.6)$$

где $\sum_{i=1}^m Ec_{yB}$ – сумма координат середин полей допусков увеличивающих звеньев; $\sum_{j=1}^n Ec_{yM}$ – сумма координат середин полей допусков уменьшающих звеньев.

$$Ec_{\Delta} = Ec_1 + Ec_2 + Ec_3 + Ec_4 - Ec_5;$$

$$Ec_1 = Ec_{\Delta} - Ec_2 - Ec_3 - Ec_4 + Ec_5;$$

$$Ec_1 = 0,1 + 0,06 + 0,0195 + 0,06 - 0,0435 = +0,196 \text{ мм}.$$

Рассчитываем предельные отклонения звена A_1 по формулам:

$$ESA_1 = Ec_1 + 0,5T_1; \quad EIA_1 = Ec_1 - 0,5T_1; \quad (4.7)$$

$$ESA_1 = +0,196 + \frac{0,034}{2} = +0,213 \text{ мм};$$

$$EIA_1 = +0,196 - \frac{0,034}{2} = +0,179 \text{ мм}.$$

Выполняем проверку правильности выполненных расчетов по формулам:

$$ESA_{\Delta} = \sum_{k=1}^m Ec_{yB} - \sum_{j=1}^n Ec_{yM} + 0,5 \sum_{i=1}^{m+n} TA_i; \quad (4.8)$$

$$EIA_{\Delta} = \sum_{k=1}^m Ec_{yB} - \sum_{j=1}^n Ec_{yM} - 0,5 \sum_{i=1}^{m+n} TA_i; \quad (4.9)$$

$$ESA_{\Delta} = Ec_1 + Ec_2 + Ec_3 + Ec_4 - Ec_5 + 0,5(TA_1 + TA_2 + TA_3 + TA_4 + TA_5);$$

$$+0,3 = 0,196 - 0,06 - 0,0195 - 0,06 + 0,0435 +$$

$$+0,5(0,04 + 0,12 + 0,039 + 0,12 + 0,087).$$

$$EIA_{\Delta} = Ec_1 + Ec_2 + Ec_3 + Ec_4 - Ec_5 - 0,5(TA_1 + TA_2 + TA_3 + TA_4 + TA_5);$$

$$-0,1 = 0,196 - 0,06 - 0,0195 - 0,06 + 0,0435 -$$

$$-0,5(0,04 + 0,12 + 0,039 + 0,12 + 0,087).$$

Проверка показывает, что расчеты выполнены правильно. Результаты расчетов сводим в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Результаты расчета размерной цепи *A* методом максимума-минимума

Обозначение звена	Номинальный размер A_j , мм	Допуск T_j , мкм	Квалитет точности	Предельные отклонения ESA_j, EIA_j , мм	Координата середины поля допуска, Ec_j , мм	Окончательные размеры звеньев A_j , мм
A_{Δ}	10	400	—	+0,3 −0,1	+0,1	10 ^{+0,3} _{−0,1}
A_1	18	34	—	+0,213 +0,179	+0,196	18 ^{+0,213} _{+0,179}
A_2	19	120	ГОСТ 520—89	0 −0,12	−0,06	19 _{−0,12}
A_3	40	39	8	0 −0,039	−0,0195	40 _{−0,039}
A_4	19	120	ГОСТ 520—89	0 −0,12	−0,06	19 _{−0,12}
A_5	86	87	9	0 −0,087	−0,0435	86 _{−0,087}

Задачи по решению размерной цепи методом максимума-минимума

Методом максимума-минимума определить допуски и предельные отклонения составляющих звеньев размерной цепи *A* (см. приложение, рис. 3.36—3.41). Задачу решить способом на-

значения допусков одного качества точности. Варианты заданий представлены в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Варианты заданий

Вариант	1	2	3	4	5		7	8	9	10
Номер рисунка	3.32	3.33	3.34	3.35	3.36	3.37	3.32	3.33	3.34	3.35
Предельные отклонения звена A_{Δ} , мм	+0,5 0	$\pm 0,4$	+0,6 0	$\pm 0,6$	+0,8 0	+0,2 -0,5	$\pm 0,3$	+0,4 -0,2	$\pm 0,3$	+0,4 -0,5
Вариант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Номер рисунка	3.36	3.37	3.32	3.33	3.34	3.35	3.36	3.37	3.32	3.33
Предельные отклонения звена A_{Δ} , мм	+0,62 0	+1,1 0	+0,4 -0,2	+0,3 -0,6	+0,7 0	+0,5 -0,6	+0,3 -0,6	+0,8 +0,1	+0,6 0	+0,3 -0,6
Вариант	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Номер рисунка	3.34	3.35	3.36	3.37	3.32	3.33	3.34	3.35	3.36	3.37
Предельные отклонения звена A_{Δ} , мм	+0,7 0	$\pm 0,3$	+0,9 +0,2	+0,6	+0,3 -0,5	+1,0 +0,1	+0,4 -0,5	+0,9 -0,1	+0,3	+0,5 -0,4

4.2. Метод неполной взаимозаменяемости

Пример решения размерной цепи теоретико-вероятностным методом

Теоретико-вероятностным методом определить допуски и предельные отклонения составляющих звеньев размерной цепи A (см. рис. 4.1). Задачу решить способом назначения допусков одного качества точности.

Исходные данные:

- номинальный размер: $A_{\Delta} = 10$ мм;
- верхнее отклонение: $ESA_{\Delta} = +0,3$ мм;
- нижнее отклонение: $EIA_{\Delta} = -0,1$ мм;
- координаты середины поля допуска: $Ec_{\Delta} = +0,1$ мм;
- процент риска: $P = 1\%$;

- рассеяние размеров подчиняется нормальному закону ($\lambda_i^2 = 1/9$);

- коэффициент $t = 2,57$ (см. приложение, табл. Ж.2);

- номинальные размеры и единицы допуска звеньев размерной цепи (определены в п. 4.2):

$$A_1 = 18 \text{ мм}; A_2 = A_4 = 19 \text{ мм}; A_3 = 40 \text{ мм}; A_5 = 86 \text{ мм};$$

$$i_1 = 1,08; i_3 = 1,53; i_5 = 2,17.$$

Определяем среднее количество единиц допуска. Звенья A_2 и A_4 являются стандартными изделиями. На них установлены допуски по ГОСТ 520–89:

$$TA_1 = TA_2 = 120 \text{ мкм};$$

$$a_{\text{ср}} = \frac{TA_{\Delta} - TA_j}{t \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^{m+n} \lambda_i^2 i^2}}, \quad (4.10)$$

где TA_j – допуски на стандартные изделия, установленные соответствующими стандартами; t – коэффициент, зависящий от процента риска (см. приложение, табл. Ж.2); λ_i^2 – коэффициент, характеризующий закон распределения размеров ($\lambda_i^2 = 1/9$ – при законе нормального распределения, $\lambda_i^2 = 1/6$ – при законе равной вероятности; $\lambda_i^2 = 1/3$ – при законе треугольника);

$$a_{\text{ср}} = \frac{400 - 120 - 120}{2,57 \sqrt{\frac{1}{9}(1,08^2 + 1,53^2 + 2,17^2)}} = 65.$$

Полученная величина $a_{\text{ср}}$ примерно соответствует 10-му качеству точности (см. приложение, табл. Ж.1). На звенья A_3 и A_5 допуски устанавливаем по 10-му качеству точности, на звено A_1 устанавливаем нестандартный допуск. Таким образом, имеем $TA_1 = 400 \text{ мкм}$; $TA_2 = 120 \text{ мкм}$; $TA_3 = 100 \text{ мкм}$; $TA_4 = 120 \text{ мкм}$; $TA_5 = 140 \text{ мкм}$.

Правильность определения допусков составляющих звеньев проверяем по зависимости

$$TA_{\Delta} = t \sqrt{\sum_{i=1}^{m+n} \lambda_i^2 \cdot TA_i^2}, \quad (4.11)$$

$$400 = 2,57 \sqrt{\frac{1}{9}(400^2 + 120^2 + 100^2 + 120^2 + 140^2)} = 400.$$

Задаем расположение допусков составляющих звеньев, кроме звена A_1 :

$$A_2 = 19_{-0,12}; A_3 = 400_{-0,1}; A_4 = 19_{-0,12}; A_5 = 86_{-0,14}.$$

Рассчитываем координаты середин полей допусков звеньев $A_2 - A_5$:

$$Ec_2 = \frac{0 - 0,12}{2} = -0,06 \text{ мм}; Ec_3 = \frac{0 - 0,01}{2} = -0,05 \text{ мм};$$

$$Ec_4 = \frac{0 - 0,12}{2} = -0,06 \text{ мм}; Ec_5 = \frac{0 - 0,14}{2} = -0,07 \text{ мм}.$$

Координату поля допуска звена A_1 определяем из уравнения

$$Ec_{\Delta} = Ec_1 + Ec_2 + Ec_3 + Ec_4 - Ec_5;$$

$$Ec_1 = Ec_{\Delta} - Ec_2 - Ec_3 - Ec_4 + Ec_5;$$

$$Ec_1 = 0,1 + 0,06 + 0,05 + 0,06 - 0,07 = +0,2 \text{ мм}.$$

Рассчитываем предельные отклонения звена A_1 :

$$ESA_1 = 0,2 + \frac{0,4}{2} = +0,4 \text{ мм};$$

$$EIA_1 = 0,2 - \frac{0,4}{2} = 0 \text{ мм}.$$

Выполняем проверку правильности выполненных расчетов по зависимостям

$$ESA_{\Delta} = \sum_{k=1}^m Ec_{yb} - \sum_{j=1}^n Ec_{ym} + t \sqrt{\sum_{i=1}^{m+n} \lambda_i^2 (0,5TA_i)^2}; \quad (4.12)$$

$$EIA_{\Delta} = \sum_{k=1}^m Ec_{yb} - \sum_{j=1}^n Ec_{ym} - t \sqrt{\sum_{i=1}^{m+n} \lambda_i^2 (0,5TA_i)^2}. \quad (4.13)$$

$$\begin{aligned} ESA_{\Delta} &= Ec_1 + Ec_2 + Ec_3 + Ec_4 - Ec_5 + \\ &+ 2,57 \sqrt{\frac{1}{9} 0,25(TA_1^2 + TA_2^2 + TA_3^2 + TA_4^2 + TA_5^2)}; \\ &+ 0,3 = 0,2 - 0,06 - 0,05 - 0,06 + 0,07 + \\ &+ 2,57 \sqrt{\frac{1}{9} 0,25(0,4^2 + 0,12^2 + 0,1^2 + 0,12^2 + 0,14^2)} = +0,3; \\ &- 0,1 = 0,2 - 0,06 - 0,05 - 0,06 + 0,07 - \\ &- 2,57 \sqrt{\frac{1}{9} 0,25(0,4^2 + 0,12^2 + 0,1^2 + 0,12^2 + 0,14^2)} = -0,1. \end{aligned}$$

Проверка показывает, что расчеты выполнены правильно. Результаты расчетов сводим в табл. 4.3.

Результаты расчетов размерной цепи *A* теоретико-вероятностным методом

Обозначение звена	Номинальный размер A_j , мм	Допуск T_j , мкм	Квалитет точности	Предельные отклонения ESA_j , ELA_j , мм	Координата середины поля допуска, ES_j , мм	Окончательные размеры звеньев A_j , мм
A_Δ	10	400	—	+0,3 -0,1	+0,1	$10^{+0,3}_{-0,1}$
A_1	18	400	—	+0,4 +0	+0,2	$18^{+0,4}$
A_2	19	120	ГОСТ 520—89	0 -0,12	-0,06	$19_{-0,12}$
A_3	40	100	10	0 -0,1	-0,05	$40_{-0,1}$
A_4	19	120	ГОСТ 520—89	0 -0,12	-0,06	$19_{-0,12}$
A_5	86	140	10	0 -0,14	-0,07	$86_{-0,14}$

Вывод: при методе неполной взаимозаменяемости допуски на составляющие звенья могут быть увеличены примерно в 3 раза по сравнению с методом полной взаимозаменяемости. Однако при сборке узла существует вероятность получения бракованных изделий в объеме 1%.

Задачи по решению размерной цепи теоретико-вероятностным методом

Теоретико-вероятностным методом определить допуски и предельные отклонения составляющих звеньев размерной цепи *A* (см. приложение, рис. 3.32—3.37). Задачу решить способом назначения допусков одного квалитета точности. Варианты заданий представлены в табл. 4.2. Сравнить средние квалитеты точности и допуски составляющих звеньев размерной цепи *A*, полученные различными методами расчетов, и объяснить причины их различия. Процент риска принимается в рабочем порядке.

4.3. Метод групповой взаимозаменяемости

Пример решения задачи методом групповой взаимозаменяемости

В соединении «палец — шатун» обеспечить зазор $S = 6...24$ мкм. Соединение выполнить в системе отверстия. Диаметр соединения $d = 30$ мм. Количество групп сортировки $n = 4$.

Таким образом, имеем $S_{\min} = 6$ мкм; $S_{\max} = 24$ мкм. Рассчитываем допуск посадки (допуск зазора) по формуле

$$TS = S_{\max} - S_{\min}, \quad (4.14)$$

или

$$TN = N_{\max} - N_{\min}; \quad (4.15)$$

$$TS = 24 - 6 = 18 \text{ мкм.}$$

Определяем групповые допуски пальца и отверстия в шатуне по формуле

$$Td_{\text{гр}} = TD_{\text{гр}} = \frac{TS}{2} = \frac{18}{2} = 9 \text{ мкм.} \quad (4.16)$$

Определяем производственные допуски изготовления пальца и шатуна по формулам

$$Td_{\text{пр}} = n \cdot Td_{\text{гр}}; \quad (4.17)$$

$$TD_{\text{пр}} = n \cdot TD_{\text{гр}}; \quad (4.18)$$

$$Td_{\text{пр}} = 9 \cdot 4 = 36 \text{ мкм.}$$

Строим схему полей допусков (рис. 4.2), рассчитываем предельные размеры деталей в группах и составляем карту сортировки деталей (табл. 4.4).

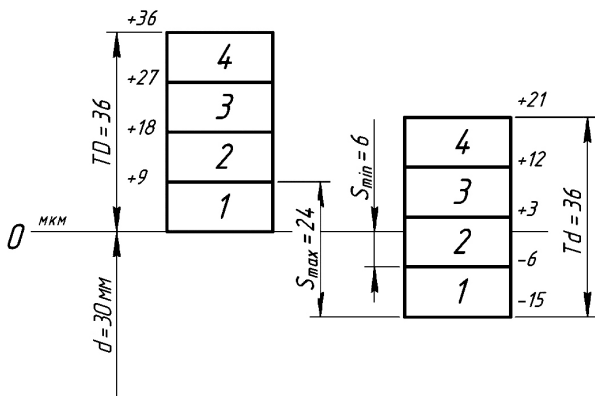


Рис. 4.2. Схема полей допусков соединения

Таблица 4.4

Карта сортировки деталей на группы

Номер группы	Предел размеров	Размер, мм	
		отверстия	пальца
1	2	3	4
1	От До	30,000 30,009	29,985 29,994
2	Свыше До	30,009 30,018	29,994 30,003
3	Свыше До	30,018 30,027	30,003 30,012
4	Свыше До	30,027 30,036	30,012 30,021

**Задачи по решению размерной цепи методом
групповой взаимозаменяемости**

В соединении «вал — вкладыш» обеспечить минимальный и максимальный функциональные зазоры $S_{\min}$ и $S_{\max}$, определить производственные допуски деталей, составить карту сортировки деталей. Соединение выполнить в системе отверстия. Варианты заданий взять из табл. 4.5.

Таблица 4.5

Варианты заданий

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Диаметр соединения d , мм	40	16	20	35	12	45	24	30	18	42	36	15	22	32	44
Минимальный зазор $S_{\min}$, мкм	7	3	4	7	4	8	5	6	4	7	6	4	5	7	8
Максимальный зазор $S_{\max}$, мкм	21	19	16	29	14	30	17	24	20	29	28	20	23	21	30
Число групп сортировки	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3
Вариант	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Диаметр соединения d , мм	48	12	38	14	21	33	15	28	50	22	18	30	24	45	20

Вариант	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	2»	28	29	30
Минимальный зазор $S_{\min}$, мкм	8	4	7	3	5	6	4	6	8	5	4	5	6	7	5
Максимальный зазор $S_{\max}$, мкм	22	20	29	13	23	20	14	24	30	17	14	17	24	29	17
Число групп сортировки	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4

4.4. Метод регулирования и пригонки

Пример решения размерной цепи методом регулирования

Методом регулирования обеспечить осевой зазор в конических роликовых подшипниках задней опоры шпинделя агрегатного станка (рис. 4.3).

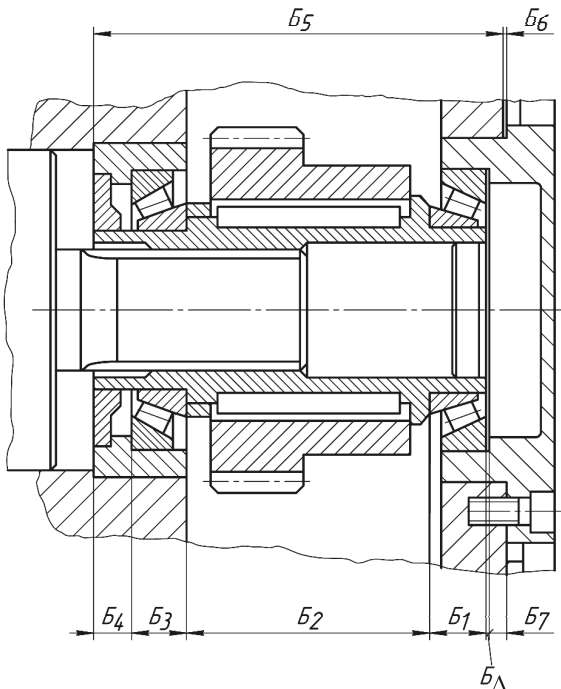


Рис. 4.3. Схема задней опоры шпинделя агрегатного станка

Допускаемая величина осевого зазора в конических роликовых подшипниках составляет 0,1 мм на два подшипника. На сборочном чертеже (рис. 4.3) зазор условно отнесен к одному подшипнику.

Таким образом, исходным (замыкающим) звеном является звено $B_{\Delta} = 0^{+0,1}$ мм. Составляющими звеньями являются $B_1, B_2, B_3, B_4, B_5, B_6, B_7$.

Записываем параметры замыкающего звена:

$$TB_{\Delta} = 0,1 \text{ мм}; ES_{B_{\Delta}} = +0,1 \text{ мм}; EB_{\Delta} = 0; Ec_{\Delta} = +0,05 \text{ мм}.$$

Звенья B_5 и B_6 являются увеличивающими, звенья B_1, B_2, B_3, B_4, B_7 — уменьшающими звеньями, звено B_6 — компенсирующим звеном.

По сборочному чертежу устанавливаем номинальные величины составляющих звеньев: $B_1 = 15$ мм, $B_2 = 70$ мм, $B_3 = 15$ мм, $B_4 = 10$ мм, $B_5 = 118$ мм, $B_6 = 0$, $B_7 = 8$ мм.

Проверяем правильность определения номинальных размеров составляющих звеньев по уравнению

$$\begin{aligned} B_{\Delta} &= B_5 + B_6 - B_1 - B_2 - B_3 - B_4 - B_7, \\ 0 &= 118 + 0 - 15 - 70 - 15 - 10 - 8 = 0. \end{aligned}$$

По ГОСТ 25347–82 устанавливаем производственные (экономически целесообразные) допуски на составляющие звенья, кроме компенсирующего звена B_6 : $TB_1 = TB_3 = 0,12$ мм; $TB_2 = 0,074$ мм; $TB_4 = 0,058$ мм; $TB_5 = 0,14$ мм; $TB_7 = 0,058$ мм; $B_1 = B_3 = 15_{-0,12}$ (монтажная ширина подшипников); $B_2 = 70_{-0,074}$; $B_4 = 10_{-0,058}$; $B_5 = 118 \pm 0,07$; $B_7 = 8 \pm 0,029$.

Рассчитываем координаты средин полей допусков составляющих звеньев:

$$\begin{aligned} Ec'_1 &= \frac{0 - 0,12}{2} = -0,06 \text{ мм}; Ec'_2 = \frac{0 - 0,074}{2} = -0,037 \text{ мм}; \\ Ec'_3 &= \frac{0 - 0,12}{2} = -0,06 \text{ мм}; Ec'_4 = \frac{0 - 0,058}{2} = -0,029 \text{ мм}; \\ Ec'_5 &= \frac{0,07 - 0,07}{2} = 0 \text{ мм}; Ec'_7 = \frac{0,029 - 0,029}{2} = 0 \text{ мм}. \end{aligned}$$

Рассчитываем производственный допуск замыкающего звена, используя зависимость

$$\begin{aligned} TB'_{\Delta} &= \sum TB'_i; \\ TB'_{\Delta} &= TB'_1 + TB'_2 + TB'_3 + TB'_4 + TB'_5 + TB'_7, \end{aligned}$$

$$ТБ'_\Delta = 0,12 + 0,074 + 0,12 + 0,058 + 0,14 + 0,058 = 0,57 \text{ мм.}$$

Определяем величину необходимой компенсации:

$$T_K = ТБ'_\Delta - ТБ_\Delta + T_{\text{м.к}},$$

где $T_{\text{м.к}}$ — допуск на изготовление компенсатора, $T_{\text{м.к}} = 0,03 \text{ мм}$.

$$T_K = 0,57 - 0,1 + 0,03 = 0,5 \text{ мм.}$$

Определяем координату середины поля производственного допуска замыкающего звена:

$$Ec'_\Delta = \sum_{k=1}^m Ec'_{yB} - \sum_{j=1}^n Ec'_{yM},$$

$$Ec'_\Delta = Ec'_1 - Ec'_2 - Ec'_3 - Ec'_4 + Ec'_5,$$

$$Ec'_\Delta = 0 + 0,06 + 0,037 + 0,06 + 0,029 - 0 = +0,186.$$

Определяем величину компенсации координаты середины поля производственного допуска замыкающего звена:

$$Ec_K = \pm (Ec_\Delta - Ec'_\Delta).$$

В формуле знак «плюс» ставится в том случае, если компенсатор является увеличивающим звеном, а знак «минус» — при уменьшающем звене.

В нашем примере компенсирующее звено B_6 является увеличивающим. Поэтому

$$Ec_K = +0,05 - 0,186 = -0,136 \text{ мм.}$$

Определяем предельные отклонения величины необходимой компенсации:

$$ES_K = Ec_K + \frac{T_K}{2}, ES_K = -0,136 + \frac{0,5}{2} = -0,144 \text{ мм;}$$

$$EI_K = Ec_K - \frac{T_K}{2}, EI_K = -0,136 - \frac{0,5}{2} = -0,386 \text{ мм.}$$

В связи с тем что $EI_K < 0$, меняем координату середины поля допуска звена B_5 . Новую координату рассчитываем по формуле

$$Ec''_i = Ec'_i - EI_K \text{ (для увеличивающих звеньев);}$$

$$Ec_i'' = Ec_i' + EI_k \text{ (для уменьшающих звеньев);}$$

$$Ec_5'' = 0 - (-0,386) = +0,386 \text{ мм.}$$

Рассчитываем новые предельные отклонения звена Б₅:

$$ESB_5 = 0,386 + \frac{0,14}{2} = 0,456 \text{ мм;}$$

$$EIB_5 = 0,386 - \frac{0,14}{2} = 0,136 \text{ мм.}$$

Принимаем толщину одной прокладки по условию $S \leq TB_{\Delta}$:

$$S = TB_{\Delta} = 0,1 \text{ мм.}$$

Необходимое количество прокладок рассчитываем, используя зависимость

$$N = \frac{T_k}{S}, N = \frac{0,5}{0,1} = 5.$$

Результаты расчетов сводим в табл. 4.6.

Таблица 4.6

Результаты расчетов размерной цепи методом регулирования

Звено	Номинальное значение, мм	Предельные отклонения, мм	Допуск, мм	Координата середины поля допуска, мм	Примечания
Б _Δ	0	+0,1 0	0,1	+0,05	
Б ₁	15	0 -0,12	0,12	-0,06	ГОСТ 520-89
Б ₂	70	0 -0,074	0,074	-0,037	
Б ₃	15	0 -0,12	0,12	-0,06	ГОСТ 520-89
Б ₄	10	0 -0,058	0,058	-0,029	
Б ₅	118	±0,07	0,14	0	
Б ₆	0		0,03		Компенсатор
Б ₇	8	±0,029	0,058	0	

Задачи по решению размерной цепи методом регулирования и пригонки

Методом регулирования обеспечить осевой зазор в радиально-упорных подшипниках сборочной единицы (см. приложение, рис. 3.32, 3.38, 3.39). Варианты заданий представлены в табл. 4.7.

Таблица 4.7

Варианты заданий

Вариант	Вариант заданий									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Предельные отклонения звена B_{Δ} , мм	+0,1	+0,14	+0,12	+0,18	+0,12	+0,17	+0,14	+0,16	+0,15	+0,18
		+0,02	0	+0,05	+0,02	+0,06	+0,02	+0,02	0	+0,05
Номер рисунка	3.36	3.39	3.32	3.38	3.39	3.32	3.38	3.39	3.32	3.38
Вариант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Предельные отклонения звена B_{Δ} , мм	+0,17	+0,11	+0,15	+0,12	+0,68	+0,12	+0,18	+0,15	+0,16	+0,14
	+0,06	+0,01	+0,05	0	+0,05	0	+0,05	+0,05	0	+0,02
Номер рисунка	3.39	3.32	3.38	3.39	3.32	3.38	3.39	3.32	3.38	3.39
Вариант	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Предельные отклонения звена B_{Δ} , мм	+0,17	+0,12	+0,10	+0,14	+0,14	+0,10	+0,12	+0,10	+0,12	+0,16
	+0,06	+0,02	0	0	+0,02	0	+0,02	0	0	+0,01
Номер рисунка	3.32	3.38	3.39	3.32	3.38	3.39	3.32	3.38	3.39	3.32

5. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ СБОРКИ МАШИН. СБОРКА ТИПОВЫХ УЗЛОВ МАШИН

5.1. Сборка соединений с натягом

Пример решения задачи по проектированию сопряжений с натягом

Для сборки соединения $\varnothing 50H8/\times 8$ рассчитать усилие запрессовки, увеличение диаметра втулки, подобрать пресс для выполнения операции. При сборке соединения с нагревом втулки рассчитать необходимую температуру ее нагрева. Материал вала и втулки – сталь 45 без термической обработки. Размеры соединения: $d = 50$ мм, $d_1 = 25$ мм, $d_2 = 60$ мм, $L = 60$ мм.

Из ГОСТ 25347–82 выписываем предельные отклонения вала и отверстия $ES = +39$ мкм, $EI = 0$, $es = +136$ мкм, $ei = +97$ мкм.

Рассчитываем максимальный натяг в соединении по формуле

$$N_{\max} = es - EI,$$

$$N_{\max} = 136 - 0 = 136 \text{ мкм.}$$

Определяем соотношения диаметров соединения и коэффициенты C_1 и C_2 , зависящие от относительных размеров сопрягаемых деталей (см. приложение, табл. Ж.3):

$$\frac{d_1}{d} = \frac{25}{50} = 0,5; \quad C_1 = 1,37;$$

$$\frac{d}{d_2} = \frac{50}{60} = 0,83; \quad C_2 = 5,75.$$

Из табл. Ж.4 приложения выписываем модули упругости материалов вала и втулки

$$E_1 = E_2 = 2 \cdot 10^{11} \text{ Н/м}^2.$$

Рассчитываем давление на поверхности контакта:

$$p = \frac{N_{\max} \cdot 10^{-6}}{d \left(\frac{C_1}{E_1} + \frac{C_2}{E_2} \right)}, \quad (5.1)$$

где $N_{\max}$ — максимальный натяг в соединении, мкм; C_1 и C_2 — коэффициенты Ляме для охватываемой (вала) и охватывающей (втулки) деталей соответственно; E_1 и E_2 — модули упругости материалов соответственно вала и втулки, Н/м²,

$$p = \frac{136 \cdot 10^{-6}}{50 \cdot 10^{-3} \left(\frac{1,37}{2 \cdot 10^{11}} + \frac{5,75}{2 \cdot 10^{11}} \right)} = 76,4 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2.$$

Необходимое усилие запрессовки рассчитываем по зависимости

$$P = f \pi d L p, \quad (5.2)$$

где f — коэффициент трения на контактных поверхностях ($f = 0,08 \dots 0,1$); d — номинальный диаметр соединения, м; L — длина сопрягаемых поверхностей, м; p — давление на поверхности контакта, Н/м²:

$$p = 0,1 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 10^{-3} \cdot 60 \cdot 10^{-3} \cdot 76,4 \cdot 10^6 = 71967 \text{ Н} = 72 \text{ кН}.$$

Необходимое усилие прессы

$$Q = kP = 1,5P, \quad (5.3)$$

$$Q = 1,5 \cdot 72 = 108 \text{ кН}.$$

Принимаем пресс П6320 с номинальным усилием 100 кН.

Увеличение диаметра охватывающей детали (втулки) при запрессовке рассчитываем по зависимости

$$\Delta d_2 = \frac{2 p d_2 d^2}{E_2 (d_2^2 - d^2)}, \quad (5.4)$$

$$\Delta d_2 = \frac{2 \cdot 76,4 \cdot 10^6 \cdot 60 \cdot 10^{-3} \cdot (50 \cdot 10^{-2})^2}{2 \cdot 10^{11} ((60 \cdot 10^{-3})^2 - (50 \cdot 10^{-3})^2)} = 104 \cdot 10^{-6} \text{ м} = 104 \text{ мкм}.$$

При сборке соединения с нагревом охватывающей детали (втулки) ее температуру рассчитывают как

$$t = \frac{N_{\max} + S_{\text{сб}}}{\alpha d} + t_{\text{сб}}, \quad (5.5)$$

где $N_{\max}$ – максимальный натяг в соединении, мм; $S_{\text{сб}}$ – минимально необходимый зазор при сборке, принимается равным $S_{\min}$ в посадке H7/g6, мм (табл. Ж.5); α – коэффициент линейного расширения материала детали, град⁻¹ (табл. Ж.6); d – диаметр соединения, мм; $t_{\text{сб}}$ – температура помещения.

В примере имеем: $S_{\text{сб}} = 0,009$ мм; $\alpha = 11,5 \cdot 10^{-6}$ град⁻¹;

$$t = \frac{0,136 + 0,009}{11,5 \cdot 10^{-6} \cdot 50} + 20 = 272 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Задачи по проектированию соединений с натягом

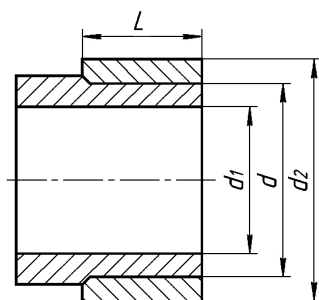


Рис. 5.1. Эскиз цилиндрического соединения с натягом

Для сборки соединения с натягом (рис. 5.1) рассчитать предельные натяги, усилие запрессовки и увеличение наружного диаметра охватываемой детали (втулки). При сборке соединения с нагревом рассчитать необходимую температуру нагрева. Подобрать пресс для выполнения операции сборки. Варианты заданий представлены в табл. 5.1. Вал и втулка изготовлены из стали. Длина соединения $L = 1,2d$.

Таблица 5.1

Варианты заданий

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
d , мм	32	55	82	40	15	25	30	24	48	55
d_1 , мм	0	20	40	20	0	0	16	0	20	25
d_2 , мм	40	60	90	50	20	31	40	30	60	70
Посадка по d	$\frac{\text{H}8}{\text{s}7}$	$\frac{\text{H}7}{\text{p}6}$	$\frac{\text{H}7}{\text{s}6}$	$\frac{\text{H}8}{\text{s}7}$	$\frac{\text{H}8}{\text{x}8}$	$\frac{\text{H}7}{\text{t}6}$	$\frac{\text{H}7}{\text{r}6}$	$\frac{\text{H}8}{\text{u}7}$	$\frac{\text{H}7}{\text{r}6}$	$\frac{\text{H}7}{\text{s}6}$
Вариант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
d , мм	42	36	20	60	18	28	34	44	52	60
d_1 , мм	24	18	0	30	0	15	18	20	20	34
d_2 , мм	50	42	28	70	28	40	40	50	60	70
Посадка по d	$\frac{\text{H}7}{\text{s}7}$	$\frac{\text{H}8}{\text{u}8}$	$\frac{\text{H}7}{\text{r}6}$	$\frac{\text{H}7}{\text{p}6}$	$\frac{\text{H}7}{\text{t}6}$	$\frac{\text{H}7}{\text{s}7}$	$\frac{\text{H}7}{\text{u}7}$	$\frac{\text{H}8}{\text{s}7}$	$\frac{\text{H}7}{\text{p}6}$	$\frac{\text{H}7}{\text{p}6}$

Вариант	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
d , мм	58	14	28	36	48	27	64	70	68	62
d_1 , мм	20	0	0	0	15	0	30	40	0	48
d_2 , мм	70	20	40	40	54	35	76	88	76	74
Посадка по d	$\frac{H7}{s7}$	$\frac{H8}{u7}$	$\frac{H7}{t6}$	$\frac{H7}{r6}$	$\frac{H7}{p6}$	$\frac{H8}{s7}$	$\frac{H7}{s7}$	$\frac{H7}{u7}$	$\frac{H7}{r6}$	$\frac{H7}{P6}$

5.2. Сборка подшипников скольжения

Пример решения задачи по сборке неразъемного подшипника скольжения

Сборка неразъемного подшипника скольжения выполняется механической запрессовкой. Рассчитать необходимое усилие запрессовки и величину уменьшения диаметра отверстия вкладыша. При сборке подшипника с охлаждением вкладыша рассчитать температуру его охлаждения.

Исходные данные:

- номинальный диаметр d и посадка соединения $\varnothing 50$ H7/p6;
- диаметр отверстия вкладыша $\varnothing 40$ H7;
- материал вкладыша – бронза, материал корпуса – чугун серый;
- корпус имеет большие размеры ($d_2 = \infty$);
- длина соединения $L = 60$ мм.

Выписываем предельные отклонения вкладыша ($\varnothing 50$ p6) и отверстия в корпусе ($\varnothing 50$ H7):

$$es = +42 \text{ мкм}; ei = 26 \text{ мкм}; ES = +25 \text{ мкм}; EI = 0.$$

Рассчитываем максимальный натяг в соединении по формуле (5.1):

$$N_{\max} = es - EI,$$

$$N_{\max} = 42 - 0 = 42 \text{ мкм}.$$

Рассчитываем коэффициенты C_1 и C_2 , учитывая, что вкладыш изготовлен из бронзы, а корпус — из чугуна, т.е. $E_1 = 0,84 \cdot 10^{11}$ Н/м², $\mu_1 = 0,35$, $E_2 = 0,9 \cdot 10^{11}$ Н/м², $\mu_2 = 0,25$:

$$C_1 = \frac{d^2 + d_1^2}{d^2 - d_1^2} - \mu_1, \quad (5.6)$$

$$C_2 = \frac{d_2^2 - d^2}{d_2^2 + d^2} + \mu_2, \quad (5.7)$$

где d_1 — диаметр отверстия пустотелого вала; d_2 — наружный диаметр втулки; μ_1 и μ_2 — коэффициенты Пуассона для охватываемой и охватывающей деталей соответственно;

$$C_1 = \frac{50^2 + 40^2}{50^2 - 40^2} - 0,35 = 4,2.$$

При массивном корпусе ($d_2 = \infty$)

$$C_2 = 1 + \mu_2 = 1 + 0,25 = 1,25.$$

Рассчитываем давление на поверхности контакта вкладыша и корпуса по зависимости (5.1):

$$P = \frac{42 \cdot 10^{-6}}{50 \cdot 10^{-3} \left(\frac{4,2}{0,84 \cdot 10^{11}} + \frac{1,25}{0,9 \cdot 10^{11}} \right)} = 13 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2.$$

Необходимое усилие запрессовки рассчитываем, как

$$P = 0,1 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 10^{-3} \cdot 60 \cdot 10^{-3} \cdot 13 \cdot 10^6 = 12 \, 246 \text{ Н}.$$

Рассчитываем уменьшение диаметра отверстия во вкладыше:

$$\Delta d_1 = \frac{2pd_1d^2}{E_1(d^2 - d_1^2)}, \quad (5.8)$$

$$\Delta d_1 = \frac{2 \cdot 13 \cdot 10^6 \cdot 40 \cdot 10^{-3} \cdot (50 \cdot 10^{-2})^2}{0,84 \cdot 10^{11} ((50 \cdot 10^{-3})^2 - (40 \cdot 10^{-3})^2)} = 34 \cdot 10^{-6} \text{ м} = 34 \text{ мкм}.$$

При сборке подшипника с охлаждением вкладыша температуру охлаждения рассчитываем по формуле

$$t = t_{сб} - \frac{N_{\max} + S_{сб}}{\alpha d}, \quad (5.9)$$

$$t = 20 - \frac{0,042 + 0,009}{17,5 \cdot 10^{-6} \cdot 50} = -38 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Задачи по сборке подшипников скольжения

Сборка неразъемного подшипника скольжения (рис. 5.2) выполняется механической запрессовкой вкладыша в корпус. Рассчитать величину уменьшения диаметра отверстия вкладыша и решить вопрос о необходимости дополнительной обработки отверстия после сборки. При сборке подшипника с охлаждением вкладыша рассчитать температуру его охлаждения.

Дополнительные условия сборки:

- материал вкладыша — бронза, материал корпуса — сталь;
- корпус имеет большие размеры ($d_2 = \infty$);
- длина соединения $L = 1,5d$;
- поле допуска отверстия (диаметра d_1) — Н7.

Варианты заданий использовать из табл. 5.2.

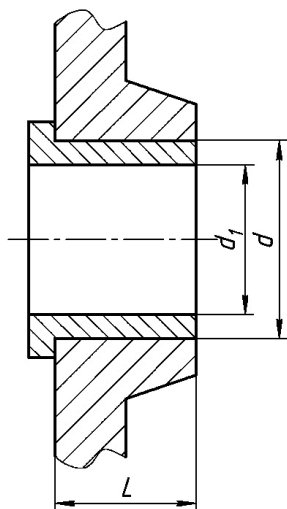


Рис. 5.2. Принципиальная схема подшипника скольжения

Таблица 5.2

Варианты заданий

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
d , мм	42	70	24	36	55	60	40	20	64	35
d_1 , мм	38	64	19	30	50	54	35	16	58	30
Посадка по d	$\frac{\text{H7}}{\text{r6}}$	$\frac{\text{H8}}{\text{s7}}$	$\frac{\text{H7}}{\text{s7}}$	$\frac{\text{H7}}{\text{p6}}$	$\frac{\text{H7}}{\text{s6}}$	$\frac{\text{H8}}{\text{u8}}$	$\frac{\text{H7}}{\text{r6}}$	$\frac{\text{H8}}{\text{s7}}$	$\frac{\text{H7}}{\text{s6}}$	$\frac{\text{H7}}{\text{r6}}$
Вариант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
d , мм	48	64	38	56	74	44	28	34	68	58

Вариант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
d_1 , мм	40	59	34	50	68	38	24	28	64	54
Посадка по d	$\frac{H7}{s6}$	$\frac{H8}{s7}$	$\frac{H7}{r6}$	$\frac{H8}{u7}$	$\frac{H7}{p6}$	$\frac{H7}{t6}$	$\frac{H7}{r6}$	$\frac{H8}{s7}$	$\frac{H7}{u7}$	$\frac{H7}{p6}$
Вариант	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
d , мм	36	54	27	23	41	62	72	33	47	18
d_1 , мм	31	48	23	19	35	54	66	29	42	14
Посадка по d	$\frac{H7}{p6}$	$\frac{H8}{s7}$	$\frac{H7}{p6}$	$\frac{H8}{u7}$	$\frac{H7}{s7}$	$\frac{H7}{u7}$	$\frac{H7}{s6}$	$\frac{H8}{u8}$	$\frac{H7}{r6}$	$\frac{H8}{s7}$

5.3. Сборка узлов с подшипниками качения

Пример решения задачи по сборке узлов с подшипниками качения

Рассчитать необходимое усилие при запрессовке подшипника на вал и величину уменьшения натяга при запрессовке подшипника с нагревом. Исходные данные:

- радиальный шарикоподшипник № 314;
- класс точности подшипника 6;
- поле допуска вала п6.

Из табл. Ж.7 выписываем размеры подшипника № 314: $D = 150$ мм; $d = 70$ мм; $B = 35$ мм.

Из ГОСТ 25347–82 выписываем предельные отклонения вала $\varnothing 70n6$; $es = +0,39$ мм; $ei = +0,020$ мкм.

Из табл. Ж.8 выписываем предельные отклонения внутреннего кольца подшипника: $ES = 0$; $EI = -0,012$ мм.

Рассчитываем максимальный натяг в соединении подшипника и вала:

$$N_{\max} = es - EI,$$

$$N_{\max} = 0,039 - (-0,012) = 0,051 \text{ мм.}$$

Рассчитываем фактический натяг в соединении:

$$N_{\phi} = 0,8N_{\max}, \quad (5.10)$$

$$N_{\phi} = 0,8 \cdot 0,051 = 0,04 \text{ мм.}$$

Рассчитываем условный диаметр внутреннего кольца подшипника по формуле

$$d_0 = d + 0,25(D - d), \quad (5.11)$$

где D и d – наружный и внутренний диаметры подшипника,

$$d_0 = 70 + 0,25(150 - 70) = 90 \text{ мм.}$$

Рассчитываем необходимое усилие запрессовки:

$$P = 0,5 \cdot 10^{-6} N_{\Phi} f \pi B E \left(1 - \frac{d}{d_0}\right)^2, \quad (5.12)$$

где N_{Φ} – фактический натяг в соединении, мм; f – коэффициент трения, $f = 0,1 \dots 0,15$; B – ширина подшипника, мм; E – модуль упругости материала подшипника, $E = 2,12 \cdot 10^{11} \text{ Н/м}^2$,

$$P = 0,5 \cdot 10^{-6} \cdot 0,04 \cdot 0,1 \cdot 3,14 \cdot 35 \cdot 2,12 \cdot 10^{11} \left(1 - \frac{70}{90}\right)^2 = 2300 \text{ Н.}$$

При сборке соединения с нагревом подшипника величину уменьшения натяга рассчитываем как

$$\Delta N = \Delta t \cdot \alpha \cdot d, \quad (5.13)$$

где Δt – разность температур подшипника и вала; α – коэффициент линейного расширения, $\alpha = 12 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$.

Допускаемая температура нагрева подшипника составляет 100°C . При температуре вала, равной температуре окружающей среды ($t = 20^\circ\text{C}$), их разность составит

$$\Delta t = 100 - 20 = 80^\circ\text{C}.$$

В этом случае уменьшение натяга в соединении может быть

$$\Delta N = 80 \cdot 12 \cdot 10^{-6} \cdot 70 = 0,067 \text{ мм.}$$

Таким образом, уменьшение натяга превышает его максимальную величину, т.е. $0,067 > 0,051$. Это значит, что нагретый подшипник может быть установлен с зазором.

Задачи по сборке узлов с подшипниками качения

Рассчитать необходимое усилие при запрессовке подшипника на вал и величину уменьшения натяга при запрессовке его с нагревом. Класс точности подшипника – 0.

Варианты заданий представлены в табл. 5.3. Размеры подшипников и предельные отклонения их внутренних колец приведены в табл. Ж.7 и Ж.8 приложения.

Таблица 5.3

Варианты заданий

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Номер подшипника	220	304	410	219	305	409	218	306	408	217
Поле допуска вала	k6	m6	k6	m6	k6	m6	k6	m6	k6	m6
Вариант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Номер подшипника	307	404	216	308	405	215	309	406	214	310
Поле допуска вала	k6	m6	k6	m6	k6	m6	k6	m6	k6	m6
Вариант	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Номер подшипника	407	213	311	210	312	211	313	212	314	316
Поле допуска вала	k6	m6	k6	m6	k6	m6	k6	m6	k6	m6

5.4. Расчет показателей технологичности

Расчет показателей технологичности коническо-цилиндрического редуктора (рис. 5.3) выполняем в соответствии с ГОСТ 14.203–73. Коэффициент сборности рассчитываем как

$$K_{сб} = \frac{E}{E + D}, \quad (5.14)$$

где E — число сборочных единиц в изделии; D — число деталей в изделии, не вошедших в сборочные единицы.

В число сборочных единиц E входят вал быстроходный, вал промежуточный, вал тихоходный, подшипники (6 шт.), маслоуказатель. Таким образом, $E = 10$. В спецификации исключаем детали, вошедшие в сборочные единицы, используя рис. 5.3, 5.4, 5.5, и считаем оставшиеся детали. Получаем $D = 20$. Тогда коэффициент сборности

$$K_{сб} = \frac{10}{10 + 20} = 0,33.$$

Коэффициент применяемости унифицированных сборочных единиц рассчитываем по зависимости

$$K_y = \frac{E_y}{E}, \quad (5.15)$$

где E_y — число унифицированных сборочных единиц в изделии;
 E — число сборочных единиц в изделии.

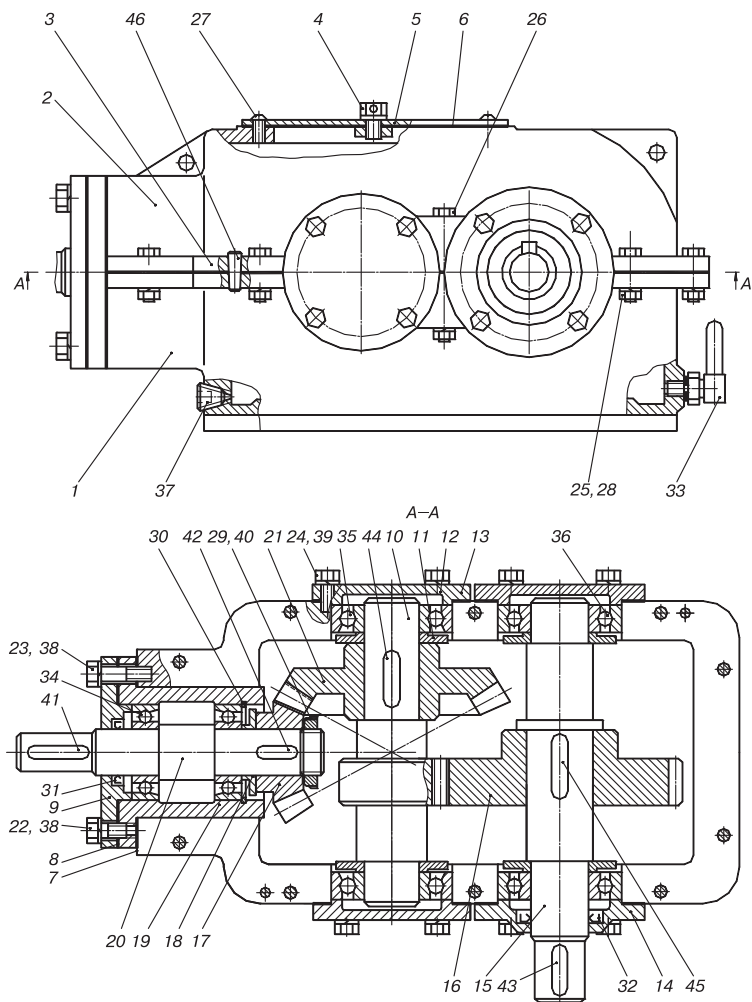


Рис. 5.3. Вариант конструктивного исполнения коническо-цилиндрического редуктора

Перв. примен.		Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
						<u>Документация</u>		
						Сборочный чертёж		
						<u>Детали</u>		
				1		Корпус	1	
				2		Крышка	1	
				3		Прокладка	1	
				3		Пробка	1	
				4		Крышка	1	
				5		Прокладка	1	
				6		Прокладка	1	
				7		Прокладка	1	
				8		Крышка	1	
				9		Вал	1	
				10		Шайба	4	
				11		Крышка	3	
				12		Прокладка	3	
				13		Крышка	1	
				14		Вал	1	
				15		Колесо зубчатое	1	
				16		Шестерня	1	
				17		Шайба	1	
				18		Стакан	1	
				19		Вал	1	
		РКЦ.00.000						
		Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		
		Разраб.						
		Пров.						
		Н.контр.						
		Утв.						
		Редуктор коническо-цилиндрический					Лит.	Лист
							1	2

Копировал

Формат А4

Рис. 5.4. Спецификация к коническо-цилиндрическому редуктору

Инв. № подл.		Подп. и дата		Взам. инв. №		Инв. № дубл.		Подп. и дата	
Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание			
		20		Колесо зубчатое	1				
				Стандартные изделия					
		23		Болты ГОСТ 7805-70					
		22		M8-6gx20.48	3				
		24		M8-6gx30.48	3				
		24		M10-6gx20.48	12				
		25		M10-6gx30.48	8				
		26		M10-6gx75.48	2				
		27		Винт M6-6gx12.48	4				
		28		Гайка M10-6H.5	10				
				ГОСТ 5927-70					
		29		Гайка M24x1,5-6H	1				
				ГОСТ 11871-80					
		30		Кольцо A62.65Г	1				
				ГОСТ 13941-80					
				Манжеты ГОСТ 8752-70					
		31		1-25x40-3	1				
		32		1-30x50-1	1				
		33		Маслоуказатель 80					
				MH 178-79	1				
				Подшипники ГОСТ 831-62					
		34		46305	2				
		35		46306	2				
		36		306	2				
		37		Пробка КГ 1/2"	1				
				ГОСТ 12718-67					
		38		Шайба 8.65Г.029	3				
				ГОСТ 6402-70					
Инв. № подл.		Подп. и дата		Взам. инв. №		Инв. № дубл.		Подп. и дата	
Изм.		Лист		№ докум.		Подп.		Дата	
РКЦ.00.000								Лист	
								2	
Копировал								Формат А4	

Рис. 5.5. Спецификация к коническо-цилиндрическому редуктору (стандартные изделия)

К унифицированным сборочным единицам в редукторе относятся подшипники (6 шт.) и маслоуказатель (1 шт.). Таким образом, $E_d = 7$, $E = 10$. Тогда

$$K_y = \frac{7}{10} = 0,7.$$

Коэффициент повторяемости составных частей изделия рассчитываем по формуле

$$K_{\text{повт}} = 1 - \frac{Q}{E + D}, \quad (5.16)$$

где Q — число различных наименований составных частей в спецификации (сборочных единиц и деталей), $Q = 46$; $E + D = 10 + 80 = 90$,

$$K_{\text{повт}} = 1 - \frac{46}{10 + 80} = 0,49.$$

Коэффициент применяемости стандартных изделий рассчитываем по зависимости

$$K_{\text{ст}} = \frac{D_{\text{ст}}}{D_o}, \quad (5.17)$$

где $D_{\text{ст}}$ — число стандартных деталей; D_o — общее число деталей (без унифицированных сборочных единиц). По спецификации $D_{\text{ст}} = 29$, $D_o = 79$;

$$K_{\text{ст}} = \frac{29}{79} = 0,37.$$

Полученные показатели технологичности соответствуют их базовым значениям для редукторов общего назначения. Следовательно, конструкция коническо-цилиндрического редуктора достаточно технологична. Это значит, что при расчетах трудоемкости и стоимости сборки подобных изделий могут использоваться соответствующие укрупненные нормативы.

5.5. Деление машины на сборочные единицы

В качестве примера деления машины на сборочные единицы рассмотрим коническо-цилиндрический редуктор (см. рис. 5.3). Анализ его конструкции показывает, что в редукторе можно выделить три сборочные единицы:

- вал быстроходный (рис. 5.6, табл. 5.4);
- вал промежуточный (рис. 5.7, табл. 5.5);
- вал тихоходный (рис. 5.8, табл. 5.6).

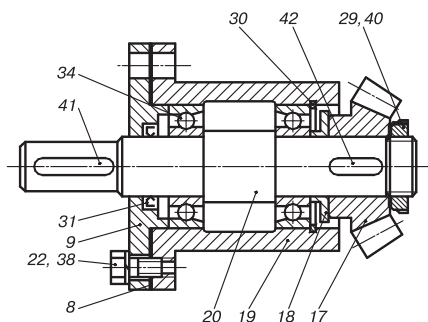


Рис. 5.6. Вал быстроходный в конструктивном исполнении редуктора (см. рис. 5.3)

Таблица 5.4

Ведомость деталей вала быстроходного в конструкции редуктора

Позиция	Наименование детали	Количество
8	Прокладка	1
9	Крышка	1
17	Шестерня	1
18	Шайба	1
19	Стакан	1
20	Вал	1
22	Болт 8–6g×20.48 ГОСТ 7805–70	3
29	Гайка М24×1,5–6Н.5 ГОСТ 11871–80	1
30	Кольцо А62.65Г ГОСТ 13941–80	1
31	Манжета 1–25×40–3 ГОСТ 8752–70	1
34	Подшипник 46305 ГОСТ 831–62	2
38	Шайба 8.65Г.029 ГОСТ 6402–70	3
40	Шайба 24.01.05 ГОСТ 23360–78	1
41	Шпонка 6×6×30 ГОСТ 23360–78	1
42	Шпонка 6×7×20 ГОСТ 23360–78	1

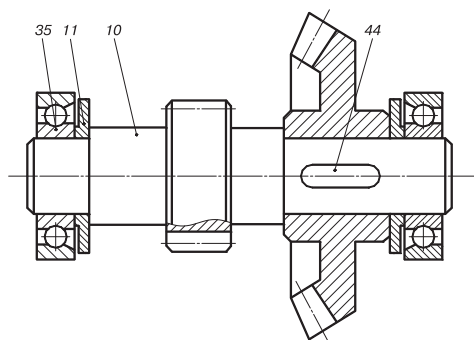


Рис. 5.7. Вал промежуточный в конструктивном исполнении редуктора (см. рис. 5.3)

Таблица 5.5

Ведомость деталей вала промежуточного в конструкции редуктора

Позиция	Наименование детали	Количество
10	Вал-шестерня	1
11	Шайба	2
21	Колесо зубчатое	1
35	Подшипник 46306 ГОСТ 831–62	2
44	Шпонка 12×8×32	1

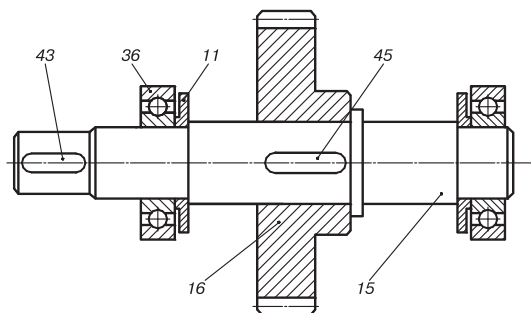


Рис. 5.8. Вал тихоходный в конструктивном исполнении редуктора (см. рис. 5.3)

Таблица 5.6

Ведомость деталей вала тихоходного в конструкции редуктора

Позиция	Наименование детали	Количество
11	Шайба	2
15	Вал	1
16	Колесо зубчатое	1
36	Подшипник 306 ГОСТ 8338–75	2
43	Шпонка 87×30 ГОСТ 23360–78	1
45	Шпонка 12×8×40 ГОСТ 23360–78	1

Выделенные в коническо-цилиндрическом редукторе три сборочные единицы (вал быстроходный, вал промежуточный, вал тихоходный) отвечают условиям, предъявляемым к сборочным единицам с позиции обеспечения технологичности сборки:

- сборочные единицы могут быть собраны независимо друг от друга;
- сборочные единицы не требуют разборки при выполнении операции общей сборки;
- сборочные единицы не требуют пригоночных операций при общей сборке;

- при транспортировке детали сборочные единицы не требуют дополнительных средств крепления.

5.6. Составление схемы сборки машины

Основные требования технологических схем сборки

Последовательность сборки определяется конструкцией изделия, компоновкой деталей, методами достижения требуемой точности и может быть представлена в виде технологической схемы сборки — наглядного изображения порядка сборки машины и входящих в нее деталей сборочных единиц или комплектов. Эта схема позволяет наглядно представить весь технологический процесс, проверить правильность намеченной последовательности операций. На этих схемах каждый элемент изделия обозначают прямоугольником, в котором указывают наименование составной части, позицию на сборочном чертеже изделия, количество. Деталь или ранее собранная сборочная единица, с которой начинают сборку изделия, присоединяя к ней другие детали и сборочные единицы, называется базовой деталью или базовой сборочной единицей. Процесс сборки изображается на схеме горизонтальной (вертикальной) линией в направлении от прямоугольника с изображением базовой детали до прямоугольника, изображающего готовое изделие. Сверху и снизу от горизонтальной или справа и слева от вертикальной линии показывают прямоугольники, условно обозначающие детали и сборочные единицы в последовательности присоединения их к базовой детали. На схеме сборки условными обозначениями (кружками, треугольниками с буквами) показывают места регулировки, пригонки и другие операции.

Использование технологических схем сборки целесообразно в любом производстве. В массовом и серийном производстве схемы позволяют быстрее освоить сборку сложных машин, когда еще не налажено нормальное поступление деталей на сборку.

Пример построения схемы сборки

Базовой деталью коническо-цилиндрического редуктора (см. рис. 5.3) является корпус (поз. 1). С него начинается построение схемы сборки. При составлении схемы сборки учитываем, что в конструкции редуктора выделены три сборочные единицы: вал быстроходный, вал промежуточный, вал тихоходный. На схеме сборки они выделены пунктирными линиями. Установка названных сборочных единиц в корпус может выполняться в любой последовательности. Схема сборки коническо-цилиндрического редуктора представлена на рис. 5.9.

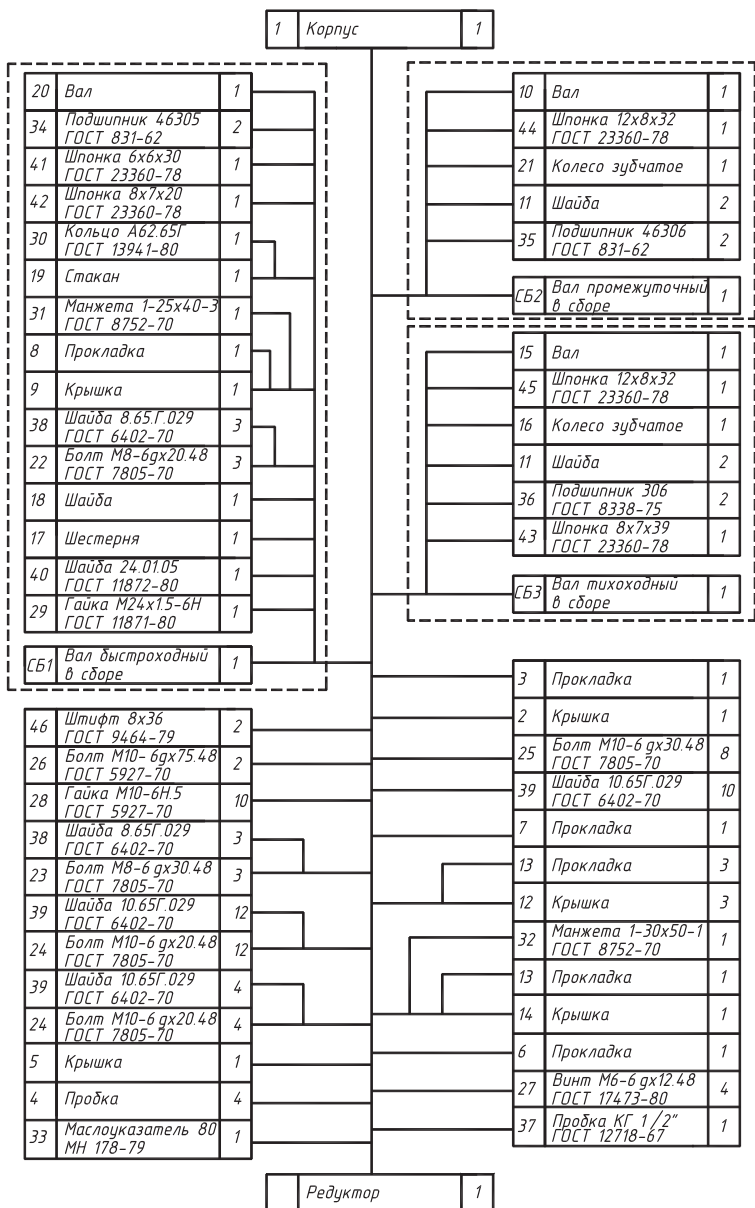


Рис. 5.9. Схема сборки редуктора

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А

Справочные материалы для определения структуры технологического процесса и операций

Таблица А.1

Коды технологических процессов

Код	Вид технологического процесса по способу выполнения	Код	Вид технологического процесса по способу выполнения
01	Операции общего назначения	60	Формообразование из полимерных материалов, керамики, стекла и резины
02, 03	Технический контроль		
04	Перемещение	65	Порошковая металлургия
06, 07	Испытания	71	Получение покрытий (металлических и неметаллических неорганических)
08	Консервация и упаковывание	73,74	Получение покрытий органических (лакокрасочных)
10	Литье металлов и сплавов	75	Электрофизическая, электрохимическая и радиационная обработка
21	Обработка давлением	80, 81	Пайка
41, 42	Обработка резанием	85	Электромонтаж
50, 51	Термообработка	88	Сборка
55	Фотохимико-физическая обработка	90,91	Сварка

Таблица А.2

Операции общего назначения — код 01

Код	Наименование операции	Код	Наименование операции
0105 0107	Охлаждение Обдувка	0108 0109	Слесарная Зачистка

Технический контроль — код 02

Код	Наименование операции	Код	Наименование операции
0200	Контроль ГОСТ 3.1702–79	0238	Контроль позиционного расположения
0220	Контроль линейных размеров		
0230	Контроль расположения поверхностей	0240	Контроль формы поверхности
		0241	Контроль плоскостности
0231	Контроль параллельности	0242	Контроль прямолинейности
0232	Контроль перпендикулярности	0245	Контроль цилиндричности
0233	Контроль наклона	0246	Контроль круглости
0235	Контроль соосности (концентричности)	0247	Контроль профиля продольного сечения
0236	Контроль симметричности	0250	Контроль формы и расположения поверхностей
0237	Контроль пересечения осей		

Литье металлов и сплавов

Код	Наименование операции			
1	2	3	4	5
1020	Изготовление песчаных литейных форм			
1021	Изготовление песчаных литейных форм	Ручным уплотнением формовочной смеси	С помощью модели	«По сырому»
1022				«По сухому»
1023				Химическим отвержением
1024			По шаблону	«По сырому»
1025				«По сухому»
1026				Химическим отвержением
1027		Машинным уплотнением формовочной смеси	С помощью модели	«По сырому»
1028				«По сухому»
1029				Химическим отвержением

1	2	3	4	5
1061	Заливка формы	Свободная	В оболочко- вые формы с применением песчано-смо- ляных смесей	Без вращатель- ного движения
1062				С вращательным движением
1063			В керамиче- ские формы	Без вращатель- ного движения
1064				С вращательным движением
1065			В песчаные формы	
1066			В кокиль	
1067			По выплавляемым моделям	

Таблица А.5

Обработка давлением – код 21

Формоизменяющие	Код	Наименование операции
	2160	Ковка
	2170	Штамповка

Таблица А.6

Обработка резанием – код 41

Код	Наименование операции	
1	2	
4100	Обработка резанием	
4101	Агрегатная	
4102	Автоматно-линейная	
4105	Резьбонарезная	
4107	Резьбонарезные	Гайконарезная
4108		Болтонарезная
4110	Токарная	
4111	Токарные	Токарно-револьверные
4112		Автоматная токарная
4113		Токарно-карусельная
4114		Токарно-винторезная

1	2	
4115		Лоботокарная
4116		Токарно-затыловочная
4117		Токарно-копировальная
4118		Специальная токарная
4119		Торцеподрезная центровая
4121		Вальцетокарная
4122		Резьботокарная
4123		Токарная бесцентровая
4130	Шлифовальная	
4131	Шлифовальные	Круглошлифовальная
4132		Внутришлифовальная
4133		Плоскошлифовальная
4134		Бесцентровошлифовальная
4135		Резьбошлифовальная
4136		Координатно-шлифовальная
4137		Обдирочно-шлифовальная
4138		Ленточно-шлифовальная
4139		Шлифовально-затыловочная
4141		Шлицешлифовальная
4142		Заточная
4143		Центрошлифовальная
4144		Карусельно-шлифовальная
4145		Торцешлифовальная
4146		Специальная шлифовальная
4147		Вальцешлифовальная
4150	Зубообрабатывающая	
4151	Зубообрабатывающие	Зубошлифовальная
4152		Зубодолбежная
4153		Зубофрезерная
4154		Зубострогальная

1	2	
4155		Зубопротяжная
4156		Зубозакругляющая
4157		Зубошевинговальная
4158		Зубопритирочная
4159		Зубоприрабатывающая
4161		Зубообкатывающая
4162		Специальная зубообрабатывающая
4163		Зубохонинговальная
4164		Зуботокарная
4165		Шлицефрезерная
4166		Шлицестрогальная
4167	Комбинированная	
4170	Строгальная	
4171	Строгальные	Продольно-строгальная
4172		Поперечно-строгальная
4173		Специальная строгальная
4175	Долбежная	
4180	Протяжная	
4181	Протяжные	Горизонтально-протяжная
4182		Вертикально-протяжная
4183		Специальная протяжная
4190	Отделочная	
4192	Отделочные	Хонинговальная
4193		Суперфинишная
4194		Доводочная
4195		Притирочная
4196		Полировальная
4197		Глянцевочная

Обработка резанием — код 42

Код	Наименование операции	
1	2	
4210	Сверлильная	
4211	Сверлильные	Сверлильно-центровальная
4212		Радиально-сверлильная
4213		Горизонтально-сверлильная
4214		Вертикально-сверлильная
4216		Координатно-сверлильная
4220	Расточная	
4221	Расточные	Горизонтально-расточная
4222		Вертикально-расточная
4223		Координатно-расточная
4224		Алмазно-расточная
4230	Программная	
4231	Программные	Расточная с ЧПУ
4232		Сверлильная с ЧПУ
4233		Токарная с ЧПУ
4234		Фрезерная с ЧПУ
4236		Шлифовальная с ЧПУ
4237		Комплексная на многооперационных станках с ЧПУ
4260	Фрезерная	
4261	Фрезерные	Вертикально-фрезерная
4262		Горизонтально-фрезерная
4263		Продольно-фрезерная
4264		Карусельно-фрезерная
4265		Барабанно-фрезерная
4267		Копировально-фрезерная
4268		Гравировально-фрезерная
4269		Фрезерно-центровальная
4271		Шпоночно-фрезерная

1	2	
4272		Специальная фрезерная
4273		Универсально-фрезерная
4274		Резьбофрезерная
4280	Отрезная	
4281	Отрезные	Ножовочно-отрезная
4282		Ленточно (проволочно)-отрезная
4283		Алмазно-отрезная
4284		Токарно-отрезная
4285		Пилоотрезная
4286		Фрезерно-отрезная
4287		Абразивно-отрезная

Таблица А.8

Термическая обработка – код 50

Код	Наименование операции
5000	Термическая обработка
5030	Закалка

Таблица А.9

Сборка – код 88

Код	Наименование операции
1	2
8800	Сборка
8801	Базирование
8803	Балансировка
8821	Стопорение
8822	Штифтование
8823	Запрессование
8824	Контровка
8831	Свинчивание

1	2
8832	Застегивание
8841	Клепка
8842	Развальцовка
8843	Фальцевание
8844	Навивка
8846	Склеивание
8847	Сшивание
8848	Сколачивание
8849	Центровка
8851	Шплинтование
8852	Распрессование
8853	Расштифтовывание
8854	Расшплинтовывание
8856	Развинчивание
8857	Расстегивание
8858	Монтаж
8859	Демонтаж
8861	Разборка
8862	Сборочно-подготовительная
8863	Сборочно-монтажная
8864	Слесарно-сборочная
8866	Приклеивание
8867	Отклеивание
8870	Сборка и монтаж изделий электронной техники (ИЭТ)

1	2	
8871	Сборка и монтаж ИЭТ	Сборка корпуса
8872		Сборка блока арматуры
8873		Монтаж ножки собранной
8874		Монтаж блока арматуры на ножку
8876		Монтаж блока арматуры (кристалла) на ножку
8877		Монтаж кристалла в корпус
8878		Монтаж комплектующих изделий
8879		Загрузка кассет комплектующими изделиями
8881		Присоединение выводов
8882		Распайка в «тару-спутник»

Таблица А.10

Указатель кодов профессий согласно классификатору (выборочно)

Код	Наименование профессии	Код	Наименование профессии
1	2	1	2
11629	Газосварщик	17335	Сверловщик
11746	Грузчик	17461	Слесарь-инструментальщик
11868	Долбежник	17474	Слесарь механосборочных работ
12260	Заточник	17567	Слесарь-ремонтник
12287	Зуборезчик	17843	Станочник на прошивочных станках
12290	Зубошлифовщик	17845	Станочник на специальных станках по обработке металла
12939	Контролер станочных и слесарных работ	17878	Станочник фрезерно-копировальных станков
14492	Наладчик машин и оборудования	17960	Строгальщик

1	2	1	2
14972	Оператор автоматических и полуавтоматических линий станков и установок	18186	Термообработчик
15292	Оператор станков с программным управлением	18217	Токарь
15887	Полировщик	18219	Токарь-карусельщик
15997	Правильщик-рихтовщик	18225	Токарь-полуавтоматчик
16014	Прессовщик	18235	Токарь-расточник
16458	Протяжник	18236	Токарь-револьверщик
16641	Разметчик	18632	Фрезеровщик
16937	Резчик на пилах, ножовках и станках	18969	Штамповщик
17001	Резьбофрезеровщик	18873	Шлифовщик
17003	Резьбошлифовщик		

Приложение Б

Справочные материалы для расчета суммарной погрешности обработки

Таблица Б.1

Значение u_0 при чистовом точении, мкм/км [5, 8]

Материал режущего инструмента	Обрабатываемый материал			
	Углеродистая сталь	Легированная сталь	Серый чугун	Чугун 375–400 НВ
1	2	3	4	5
T60K6	0,7...4	0,7...4	—	—
T30K4	3...4	4...6	—	—
T15K6	5...7	9...10	—	—
T5K10	8	12...13	—	—
BK9	—	65	—	—
BK8	—	17...25	13...14	—

1	2	3	4	5
ВК6	—	—	14	—
ВК4	—	25...30	—	—
ВК3	—	9...10	6	16
ВК2	—	—	4...25	12
ЦМ-332	0,5...1	1—6	—	0

Примечание. Результаты получены при следующих условиях: сталь углеродистая — $\sigma_b = 500...600$ МПа при $v = 100...400$ м/мин; сталь легированная $\sigma_b = 920...1100$ МПа при $v = 100...200$ м/мин; серый чугун HB 187-207 при $v = 50...150$ м/мин; данные для закаленного чугуна (HB 375...400) относятся к тонкому растачиванию.

Таблица Б.2

**Значения относительного (удельного) износа
шлифовального круга u_o , мкм/км [5, 7]**

Материал		u_o
детали	круга керамического	
Сталь 45	14А, 24А	0,03
Чугун закаленный	14А, 24А	0,04
Сплавы цветных металлов	14А, 24А	0,01

Примечание. Относительный износ разверток составляет 0,005...0,008 мм/км

Таблица Б.3

**Средний допустимый размерный износ инструмента при обработке
партии заготовок, мкм [5, 8]**

Выдерживаемый размер, мм	Размерный износ при обработке		
	чистой	тонкой	однократной
До 30	15	2	20
30...80	20	3	25
80...180	30	6	30
180...360	40	10	40
360...500	50	15	50

Таблица Б.4

Значения мгновенной погрешности обработки Δ_m на токарных и токарно-револьверных станках, мкм [5, 7]

Размер, мм	Сила P_y , Н	Обработка на токарных станках			Обработка на токарно-револьверных станках и автоматах		
		Жесткость системы, МН/м					
		4...6	6...10	10...15	6...10	10...15	15...20
10...18	50...100 100...150	37	23	16	42	26	13
		38	24	17	44	27	14
18...30	50...100 100...150	40	26	17	48	29	14
		41	27	18	50	30	15
30...50	50...100 100...150	43	29	18	54	32	15
		44	30	19	56	33	16
50...80	50...100 100...150	46	32	19	60	35	16
		47	33	20	62	36	17
80...100	50...100	49	35	20	66	38	17

Таблица Б.5

Значения мгновенной погрешности обработки Δ_m на кругло- и плоскошлифовальных станках, мкм [5, 7]

Размер, мм	Сила P_y , Н	Обработка на круглошлифовальных станках			Обработка на плоскошлифовальных станках		
		Жесткость системы, МН/м					
		7...12	12...20	20...30	15...25	25...35	35...55
10...18	—	12	9	6	—	—	—
18...30	—	14	11	8	—	—	—
30...50	—	16	13	10	—	—	—
50...80	—	18	15	12	—	—	—
80...120	—	20	17	14	—	—	—
1...3	50...100	—	—	—	24	15	12
	100...150	—	—	—	23	14	11
3...30	50...100	—	—	—	19	12	10
	100...150	—	—	—	20	13	11

Таблица Б.6

Значения мгновенной погрешности обработки Δ_m на фрезерных и бесцентрово-шлифовальных станках, мкм [5, 7]

Размер, мм	Обработка на фрезерных станках				Обработка на плоскошлифовальных станках			
	Сила P_y , Н	Жесткость системы, МН/м			Сила P_y , Н	Жесткость системы, МН/м		
		4...7	7...10	10...15		20...30	30...40	40...50
6...10	50...150	64	46	24	20...60	27	18	9
	Свыше 150	66	48	26	60...120	28	19	9,5
10...18	50...150	70	52	30	20...60	30	21	10,
	Свыше 150	72	54	32	60...120	31	22	11
18...30	50...150	76	58	36	20...60	33	24	12
	Свыше 150	78	60	38	60...120	34	25	12,5
30...50	50...150	82	64	42	20...60	36	27	13,5
	Свыше 150	84	66	44	60...120	37	28	14
50...80	50...150	88	70	48	20...60	39	30	15
	Свыше 150	90	72	50	60...120	40	31	15,5
80...120	50...150	94	76	54	20...60	42	33	16,5
	Свыше 150	96	78	56	60...120	43	34	17

Таблица Б.7

Значения мгновенной погрешности обработки Δ_m на агрегатно-расточных станках, мкм. Жесткость технологической системы 3...4 МН/м, P_y до 10Н [5, 7]

Размер расточки d , мм	Свыше 10 до 18	Свыше 18 до 20	Свыше 30 до 50	Свыше 50 до 80
Δ_m , мкм	15	16	17	18

Таблица Б.8

Значения мгновенной погрешности обработки Δ_m сверлением, зенкерованием, развертыванием и протягиванием, мкм [5, 7]

Вид обработки	Диаметр отверстий, мм				
	1...3	3...6	6...10	10...18	18...30
1	2	3	4	5	6
Сверление без кондуктора	100	120	160	210	270
Сверление по кондуктору	90	105	115	130	145

1	2	3	4	5	6
Зенкерование	—	—	90	110	130
Однократное развертывание	—	25	30	35	35
Двукратное развертывание	—	13	14	15	16
Протягивание однократное	—	25	30	35	40
Протягивание двукратное	—	13	14	15	16

Примечание. Результаты в таблицах Б.1—Б.8 использованы из указанных литературных источников; при этом авторы внесли коррективы в размерности величин согласно современным представлениям.

Таблица Б.9

Погрешности регулирования $\Delta_{\text{рег}}$ инструмента, мкм [5, 9]

Способ регулирования положения инструмента	На сторону	На диаметр	Способ регулирования положения инструмента	На сторону	На диаметр
По лимбу с ценой деления, мм			По индикатору с ценой деления, мкм		
0,01	5...10	10...20	1	2	4
0,02	10...15	20...30	2	5	10
0,05	15...30	30...60	5	10	20
0,1...0,5	30...70	—	10	15	30

Таблица Б.10

Измерительные инструменты для динамической настройки станков [5, 9]

Допуск на обработку, мм	Инструмент для рациональной настройки	Цена деления инструмента, мм
0,5 и более	Штангенциркуль	0,1
0,25...0,5	Штангенциркуль	0,05
0,05...0,25	Микрометр	0,01
0,01...0,05	Индикаторная скоба или нутромер	0,01...0,002
0,005...0,01	Миниметр с измерительным столиком, опτικο-механические приборы типа «Микрозис»	0,002...0,001

**Предельные погрешности наиболее распространенных способов
измерения длин [5]**

Наименование приборов и инструментов	Концевые меры		Предельные погрешности (+), мкм		
	Раз-ряд	Класс точности	Интервалы размеров, мм		
			1...10	50...80	300...500
1	2	3	4	5	6
Оптиметры горизонтальный и вертикальный, измерительные машины при измерении наружных размеров	3	0	0,35	0,6	1,8
	4	1	0,4	0,8	3
	5	2	0,7	1,3	4,5
Оптиметр горизонтальный, измерительная машина с оптиметром и микроскопом при измерении внутренних размеров	3	0	—	1,1	—
	4	1	—	1,3	—
	5	2	—	1,8	—
Миниметр с ценой деления 0,001 мм	3	0	0,5	0,8	1,8
	4	1	0,6	1	3
	5	2	0,7	1,4	4,5
	6	3	1	2	8
Миниметр с ценой деления 0,002 мм	4	1	1	1,4	3,5
	5	2	1,2	1,8	5
	6	3	1,4	2,5	8
Миниметр с ценой деления 0,005 мм	5	2	2	2,5	5
	6	3	2,2	3	8,5
Индикаторы с ценой деления 0,01 мм при работе в пределах одного оборота стрелки					
0-го класса точности	6	3	10	10	13
1-го класса точности	6	3	15	15	16
2-го класса точности	6	3	20	20	22
Индикаторный прибор для внутренних измерений завода «Калибр» с индикатором 1-го класса точности при работе в пределах одного оборота стрелки	6	3	16	17	20
Микрометр 0-го класса точности	—	—	4,5	6	15

1	2	3	4	5	6
Микрометр 1-го класса точности	—	—	7	9	25
Микрометр 2-го класса точности	—	—	12	14	35
Штихмас микрометрический 1-го класса точности	—	—	—	18	35
Штихмас микрометрический 2-го класса точности	—	—	—	20	45
Штангенциркуль с отсчетом по нониусу 0,02 мм					
При измерении наружных размеров	—	—	40	45	70
При измерении внутренних размеров	—	—	—	60	90
Штангенциркуль с отсчетом по нониусу 0,05 мм					
При измерении наружных размеров	—	—	80	90	110
При измерении внутренних размеров	—	—	—	130	150
Штангенциркуль с отсчетом по нониусу 0,1 мм					
При измерении наружных размеров	—	—	150	160	230
При измерении внутренних размеров	—	—	—	230	300

Примечание. Для определения $\Delta_{\text{изм}}$ данные таблицы следует умножать на 2.

Таблица Б.12

Погрешность установки инструмента по эталону $\Delta_{\text{уст.ин}}$, мкм [5, 9]

Способ установки инструмента	На сторону	На диаметр
Закрепление резца винтами после касания с эталоном	100...130	200...260
Подведение резца, закрепленного в резцедержателе:		
до непосредственного касания с эталоном	20...30	40...60
с некоторым зазором, определяемым с помощью бумажного шупа	10...20	20...40
с помощью металлического шупа	7...10	14...20
с помощью индикатора	5...15	10...30

**Точность изготовления фрезерных установов и щупов
для станочных приспособлений [5]**

Вид установка или щупа	Точность изготовления (предельные отклонения – по)
Установы	
Высотные по ГОСТ 13443–68, H = 8...12 мм	по h6
Высотные торцовые по ГОСТ 13444–68	Неперпендикулярность плоскостей не более 0,005 мм
Угловые торцовые по ГОСТ 13446–68	
Угловые по ГОСТ 13445–68, H = 8...16 мм	Предельные отклонения по высоте щупа по h6
Щупы для станочных приспособлений	
Плоские по ГОСТ 8925–68, H = 1; 3; 5 мм	Предельные отклонения толщины щупа по h6 Неплоскостность не более 0,006 мм
Цилиндрические по ГОСТ 8926–68, d = 3; 5 мм	Предельное отклонение диаметра щупа по h6, непрямолинейность образующей диаметра не более 0,006 мм

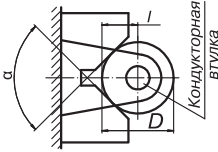
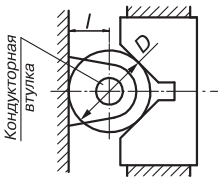
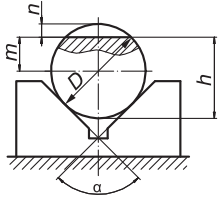
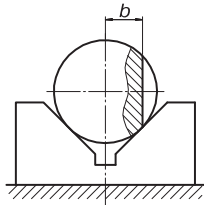
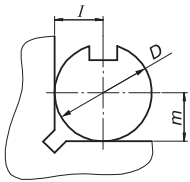
**Средние допускаемые погрешности настройки Δ_n
для лезвийных инструментов, мкм [5, 8]**

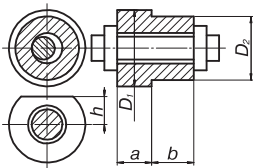
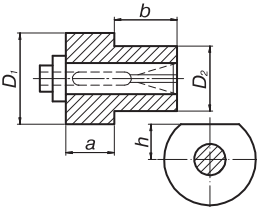
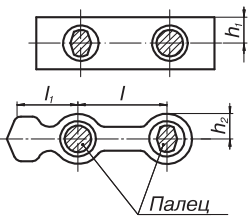
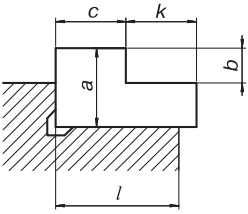
Интервалы выдерживаемых размеров, мм	Характер обработки			
	Черновая*	Чистовая	Тонкая	Однократная
До 30	40...100	10	5	20
30...80	60...150	20	6	25
80...180	80...200	30	7	30
180...360	100...250	40	8	40
360...500	120...300	50	10	50

* Меньшие значения принимают при обработке более точных черных заготовок 12–13-го квалитетов точности; большие — при обработке грубых черных заготовок 15-го квалитета точности и грубее.

Погрешности базирования при обработке в приспособлениях [5]

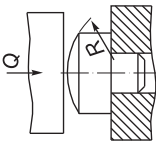
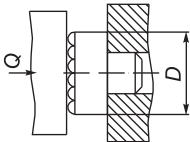
Базирование	Схема установки	Погрешность базирования для размеров
1	2	3
По центровым отверстиям		
На жесткий передний центр		$\Delta_{D_1} = 0; \Delta_{D_2} = 0;$ $\Delta_a = 0; \Delta_b = \Delta_{\text{ц}};$ $\Delta_c = \Delta_{\text{ц}}$
На плавающий передний центр		$\Delta_{D_1} = 0; \Delta_{D_2} = 0;$ $\Delta_a = 0; \Delta_b = 0; \Delta_c = 0$
По внешней поверхности в зажимной цанге по упору		$\Delta_D = 0; \Delta_L = 0$
В самоцентрирующем патроне с упором торцом		$\Delta_D = 0; \Delta_d = 0;$ $\Delta_a = 0; \Delta_b = 0$ (при параллельном подрезании торцов)
В самоцентрирующих призмах		$\Delta_D = 0; \Delta_l = 0$

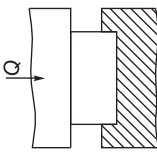
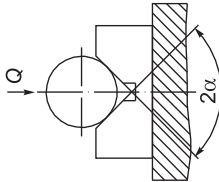
1	2	3
В призме при обработке отверстий по кондуктору		$\Delta_l = \frac{TD}{2 \sin \frac{\alpha}{2}}$
На плоской поверхности при обработке отверстия по кондуктору		$\Delta_l = \frac{TD}{2}$
В призме при обработке плоскости или паза		$\Delta_n = \frac{TD}{2} \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} - 1 \right);$ $\Delta_h = \frac{TD}{2} \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} + 1 \right);$ $\Delta_m = \frac{TD}{2 \sin \frac{\alpha}{2}}$
То же		$\Delta_b = 0$
>>		$\Delta_l = \frac{TD}{2}; \Delta_m = 0$

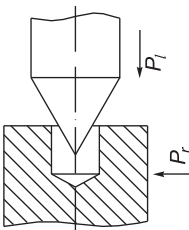
1	2	3
По отверстию		
На жесткой оправке со свободной посадкой		$\Delta_{D_1} = S_{\min} + TD_{\text{опр}} + TD_{\text{отв}};$ $\Delta_{D_2} = S_{\min} + TD_{\text{опр}} + TD_{\text{отв}};$ $\Delta_h = S_{\min} + TD_{\text{опр}} + TD_{\text{отв}}.$ При установке оправки на плавающий передний центр, в гильзу или патрон по упору $\Delta_a = 0$; $\Delta_b = 0$
На разжимной оправке. На жесткой оправке с натягом		При установке оправки на жесткий передний центр $\Delta_a = 0; \Delta_b = 0; \Delta_{D_1} = 0;$ $\Delta_{D_2} = 0; \Delta_h = 0;$ $\Delta_b = Ta; \Delta_a = 0.$
По двум отверстиям на пальцах при обработке верхней поверхности		$\Delta_{h_1} = S_{\min} + TD_{\text{отв}} + TD_{\text{п}};$ $\Delta_{h_2} =$ $= (S_{\min} + TD_{\text{отв}} + TD_{\text{п}}) \left(\frac{2l_1 + l}{l} \right)$
По плоскости при обработке уступа		$\Delta_b = Ta; \Delta_k = T_1; \Delta_c = 0$

Примечание. Условные обозначения: $\Delta_{\text{ц}}$ — просадка центров. Величины $\Delta_{\text{ц}}$ следующие: наибольший диаметр центрального отверстия/посадка центров $\Delta_{\text{ц}}$, мм: 1...2,5/0,11, 4...6/0,14, 7,5...10/0,18, 12,5...15/0,21, 20...30/0,25; $TD_{\text{п}}$ — допуск на размер пальца; TD — допуск на диаметр внешней поверхности; $S_{\min}$ — минимальный гарантированный зазор; $TD_{\text{отв}}$ — допуск на размер базового отверстия; $TD_{\text{опр}}$ — допуск на размер оправки.

Соотношение для расчета контактных деформаций стыка заготовка — опора приспособления, мкм [5, 8]

Тип опоры	Эскиз	Материал заготовки	Значения коэффициентов и показателей степени				
			k_{Rz}	k_{HB}	C_1	n	m
1	2	3	4	5	6	7	8
Установка на опоры постоянные и пластины опорные $\Delta_3 = \left[(k_{Rz} Rz + k_{HB} HB) + C_1 \right] \left(\frac{Q}{9,8} \right)^n \cdot \frac{1}{F^m}$							
Опора со сферической головкой по ГОСТ 13441–68		Сталь	0	–0,003	$0,67 + 6,23/r$	0,8	0
		Чугун	0	–0,008	$2,7 + 9,23/r$	0,6	0
Опора с насеченной головкой по ГОСТ 13442–68		Сталь	0	–0,004	$0,38 + 0,0034D$	0,6	0
		Чугун	0	–0,0008	$1,76 - 0,03D$	0,6	0

1	2	3	4	5	6	7	8
Опора с плоской головкой по ГОСТ 13440–68. Пластины опорные по ГОСТ 4743–68*		Сталь	0,004	–0,0016	0,4 + 0,012F	0,7	0,7
		Чугун	0,016	–0,0045	0,776 + 0,053F	0,6	0,6
	Установка на призму $\Delta_3 = \left[\left(k_{Rz} R_z + \frac{k_{HB}}{HB} \right) + C_1 \right] \left(\frac{Q}{19,6l} \right)^m$						
Призма с углом $2\alpha = 90^\circ$		–	0,005	15	0,086 + 8,4/D _{заг}	0,7	–

Эскиз	Направление смещения	Значения коэффициента С при диаметре центра гнезда, мм											
		1	2	2,5	4	5	6	7,5	10	12,5	15	20	30
Установка заготовки из стали 45 на центры при давлении в местах контакта не более 8000 кПа $\Delta_3 = CP^{0,5}$													
	Радиальное	15,7	11,8	8,6	5,8	3,8	3,2	2,9	2,1	1,7	1,4	1	0,7
	Осевое	12,1	8,6	6,6	4,1	2,9	2,5	2,2	1,6	1,3	1,1	0,8	0,55

Примечание. Условные обозначения: НВ – твердость материала заготовки по Бринеллю; Q – сила, действующая по нормали к опоре, Н; F – площадь контакта опоры с заготовкой, см²; l – длина образующей, по которой происходит контакт, см; Rz – высота неровностей профиля поверхности заготовки, мкм; P – составляющая усилия резания, в направлении которой определяют смещение, Н; r – радиус сферической головки, мм.

Погрешность закрепления заготовок (мкм) при установке в радиальном направлении для обработки на станках [5, 13]

Характеристика базовой поверхности		Поперечные размеры заготовки, мм									
		6...10	10...18	18...30	30...50	50...80	80...120	120...180	180...260	260...360	360...500
Установка в зажимной гильзе (цанге)											
Холоднотянутая	калиброванная	40	40	60	70	80					
Предварительно	обработанная	40	50	60	70	80					
Чисто обработанная		20	25	30	35	40					
Установка в трехкулачковом самоцентрирующем патроне											
Литье в песчаную форму машинной формовки по металлической модели		220	270	320	370	420	500	600	700	800	900
Литье в постоянную форму		150	175	200	250	300	350	400	450	550	650
Литье по выплавляемой модели		50	60	70	80	100	120	140	160	—	—
Литье под давлением		25	30	35	40	50	60	70	80	—	—
Горячая штамповка		220	270	320	370	420	500	600	700	800	—
Горячекатаная		220	270	320	370	420	500	500	—	—	—
Предварительно	обработанная	50	60	70	80	100	120	140	160	180	200
Чисто обработанная		25	30	35	40	50	60	70	80	90	100
Установка в пневматическом патроне											
Литье в песчаную форму машинной формовки по металлической модели		180	220	260	320	380	440	500	580	600	760
Литье в постоянную форму		120	140	170	200	240	280	320	380	400	500
Литье по выплавляемой модели		40	50	60	70	80	90	100	120	—	—
Литье под давлением		20	25	30	35	40	45	50	60	—	—
Горячая штамповка		180	220	260	320	380	440	500	580	660	—
Горячекатаная		180	220	260	320	380	440	500	—	—	—
Предварительно	обработанная	40	50	60	70	80	90	100	120	140	160
Чисто обработанная		20	25	30	35	40	45	50	60	70	80

**Погрешность закрепления заготовок (мкм) при установке в осевом направлении
для обработки на станках [5]**

Характеристика базовой поверхности	Поперечные размеры заготовки, мм									
	6...10	10...18	18...30	30...50	50...80	80...120	120...180	180...260	260...360	360...500
Установка в зажимной гильзе (цанге)										
Холоднотянутая калиброванная	40	50	60	70	80	—	—	—	—	—
Предварительно обработанная	40	50	60	70	80	—	—	—	—	—
Чисто обработанная	20	25	30	35	40	—	—	—	—	—
Установка в трехлачковом самоцентрирующем патроне										
Литье в песчаную форму машинной формовки по металлической модели	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160
Литье в постоянную форму	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
Литье по выплавляемой модели	50	60	70	80	90	100	110	120	—	—
Литье под давлением	30	40	50	60	70	80	90	100	—	—
Горячая штамповка	70	80	90	100	110	120	130	140	150	—
Горячекатаная	70	80	90	100	110	120	130	—	—	—
Предварительно обработанная	50	60	70	80	90	110	110	120	130	140
Чисто обработанная	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Установка в пневматическом патроне										
Литье в песчаную форму машинной формовки по металлической модели	55	60	70	80	90	100	110	120	130	140
Литье в постоянную форму	55	60	65	75	80	90	100	110	120	130
Литье по выплавляемой модели	45	50	55	65	75	80	85	90	—	—
Литье под давлением	25	35	45	50	55	65	70	80	—	—
Горячая штамповка	55	60	70	80	90	100	110	120	130	—
Горячекатаная	55	60	70	80	90	100	110	120	—	—
Предварительно обработанная	40	50	60	70	80	80	90	100	110	120
Чисто обработанная	25	30	35	40	50	60	70	80	90	100

**Погрешность закрепления заготовок (мкм) при установке
на опорные штифты приспособлений [5]**

Характеристика базовой поверхности	Поперечные размеры заготовки, мм									
	6...10	10...18	18...30	30...50	50...80	80...120	120...180	180...260	260...360	360...500
Установка в зажимное приспособление с винтовыми или эксцентриковыми зажимами										
Литье в песчаную форму машинной формовки по металлической модели	—	100	125	150	175	200	225	250	300	350
Литье в постоянную форму	—	100	110	120	130	140	150	160	180	200
Литье по выплавляемой модели	80	90	100	110	120	130	140	150	—	—
Литье под давлением	70	80	90	100	ПО	120	130	140	—	—
Горячая штамповка	—	100	125	150	175	200	225	250	300	—
Горячекатаная	90	100	125	150	175	200	225	—	—	—
Предварительно обработанная	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160
Шлифованная	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
Установка в зажимное приспособление пневматическим зажимом										
Литье в песчаную форму машинной формовки по металлической модели	—	90	100	120	140	160	180	200	240	280
Литье в постоянную форму	—	80	90	100	110	120	130	140	160	180
Литье по выплавляемой модели	65	70	75	80	90	100	110	120	—	—
Литье под давлением	40	45	50	60	70	80	90	100	—	—
Горячая штамповка	—	90	100	120	140	160	180	200	240	—
Горячекатаная	70	80	100	120	140	150	180	—	—	—
Предварительно обработанная	65	70	75	80	90	100	110	120	130	140
Чисто обработанная	50	60	70	80	90	90	100	110	120	130
Шлифованная	40	50	60	70	80	90	90	100	110	120

**Погрешность закрепления заготовок (мкм) при установке
на опорные пластинки приспособлений [5]**

Характеристика базовой поверхности	Поперечные размеры заготовки, мм									
	6...10	10...18	18...30	30...50	50...80	80...120	120...180	180...260	260...360	360...500
Установка в зажимное приспособление с винтовыми или эксцентриковыми зажимами										
Литье в песчаную форму машинной формовки по металлической модели	—	100	110	120	135	150	175	200	240	280
Литье в постоянную форму	55	60	70	80	90	100	110	120	130	140
Литье по выплавляемой модели	40	50	60	70	80	90	100	110	—	—
Литье под давлением	30	40	50	60	70	80	90	100	—	—
Горячая штамповка	—	100	110	120	135	150	175	200	240	—
Горячекатаная	90	100	110	120	135	150	175	—	—	—
Предварительно обработанная	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
Чисто обработанная	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Шлифованная	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
Установка в зажимное приспособление пневматическим зажимом										
Литье в песчаную форму машинной формовки по металлической модели	—	80	90	100	110	120	140	160	190	220
Литье в постоянную форму	50	55	60	65	70	80	90	100	110	120
Литье по выплавляемой модели	35	40	50	55	60	70	80	90	—	—
Литье под давлением	25	30	35	40	50	60	70	80	—	—
Горячая штамповка	—	80	90	100	110	120	140	160	190	—
Горячекатаная	70	80	90	100	110	120	140	—	—	—
Предварительно обработанная	35	40	50	55	60	70	80	90	100	110
Чисто обработанная	25	30	35	40	50	60	70	80	90	100
Шлифованная	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90

Справочные материалы для расчета припусков

Таблица В.1

Точность и качество поверхности при обработке наружных цилиндрических поверхностей [8]

Обработка	Параметр шероховатости Ra, мкм	Глубина дефектного слоя, мкм	Квалитет допуска размера	Технологические допуски (мкм) на размер при номинальных диаметрах отверстий, мм											
				до 6	Свыше 6 до 10	Свыше 18 до 30	Свыше 30 до 50	Свыше 50 до 80	Свыше 80 до 120	Свыше 120 до 180	Свыше 180 до 250	Свыше 250 до 315	Свыше 315 до 400	Свыше 400 до 500	
				Обтачивание											
Черновое	50...6,3	120...60	14	—	—	—	—	620	740	870	1000	1150	1300	1400	1550
			13	180	220	270	330	390	460	540	630	720	810	890	970
			12	120	150	180	210	250	300	350	400	460	520	570	630
Получистовое или однократное	25...1,6	50...20	13	180	220	270	330	390	460	540	630	720	810	890	970
			12	120	150	180	210	250	300	350	400	460	520	570	630
			11	75	90	110	130	160	190	220	250	290	320	360	400
Чистовое	6,3...0,4	30...20	10	48	58	70	84	100	120	140	160	185	210	230	250
			9	30	36	43	52	62	74	87	100	115	130	140	155
			8	18	22	27	33	39	46	57	63	72	81	89	97
Обтачивание тонкое	1,6...0,2	10...5	9	30	36	43	52	62	74	87	100	115	130	140	155
			8	18	22	27	33	39	46	57	63	72	81	89	97
			7	12	15	18	21	25	30	35	40	46	52	57	63
			6	8	9	11	13	16	19	22	25	29	32	36	40

Шлифование																
Предварительное	6,3...0,4	20	9 8	30 18	36 22	43 27	52 33	62 39	74 46	87 57	100 63	115 72	130 81	140 89	155 97	
Чистое	3,2...0,2	15...5	7 6	12 8	15 9	18 11	21 13	25 16	30 19	35 22	40 25	46 29	52 32	57 36	63 40	
Тонкое	1,6...0,1	5	6 5	8 5	9 6	11 8	13 9	16 11	19 13	22 15	25 18	29 20	32 23	36 25	40 27	
Притирка, суперфиниширование	0,8...0,1	5...3	5 4	5 4	6 4	8 5	9 6	11 7	13 8	15 10	18 12	20 14	23 16	25 18	27 20	
Обкатывание, алмазное выглаживание	0,8...0,05	—	10 9 8 7 6 5	48 30 18 12 8 5	58 36 22 15 9 6	70 43 27 18 11 8	84 52 33 21 13 9	100 62 39 25 16 11	120 74 46 30 19 13	140 87 57 35 22 15	160 100 63 40 25 18	185 115 72 46 29 20	210 130 81 52 32 23	230 140 89 57 36 25	250 135 97 63 40 27	

Точность и качество поверхности при обработке отверстий [8]

Обработка	Параметр шероховатости R_a , мкм	Глубина дефектного слоя, мкм	Квалитет допуска	Технологические допуски (мкм) на размер при номинальных диаметрах отверстий, мм											
				Свыше 3 до 6	Свыше 6 до 10	Свыше 10 до 18	Свыше 18 до 30	Свыше 30 до 50	Свыше 50 до 80	Свыше 80 до 120	Свыше 120 до 180	Свыше 180 до 250	Свыше 250 до 315	Свыше 315 до 400	Свыше 400 до 500
Сверление и рассверливание	25...0,8	70...15	13	—	—	270	330	390	460	—	—	—	—	—	—
			12	—	—	180	210	250	300	—	—	—	—	—	
			11	75	90	110	130	160	190	—	—	—	—	—	
			10	48	58	70	84	100	120	—	—	—	—	—	
			9	30	36	43	52	62	74	—	—	—	—	—	
Зенкерование: черновое	25...6,3	50...20	13	—	—	270	330	390	460	540	—	—	—	—	
			12	—	—	180	210	250	300	350	—	—	—	—	
			13	—	—	270	330	390	460	540	—	—	—	—	
			12	—	—	180	210	250	300	350	—	—	—	—	
			11	—	—	110	130	160	190	220	—	—	—	—	
Развертывание: нормальное	12,5...0,8	25...15	9	—	—	70	84	100	120	140	87	—	—	—	
			10	—	—	43	52	62	74	87	—	—	—	—	
			8	—	—	27	33	39	46	57	—	—	—	—	
			11	75	90	110	130	160	190	220	250	290	320	360	—
			10	48	58	70	84	100	120	140	160	185	210	230	—
тонкое	3,2...0,1	10...5	9	30	36	43	52	62	74	87	100	115	130	140	—
			8	18	22	27	33	39	46	57	63	72	81	89	—
			7	12	15	18	21	25	30	35	40	46	52	57	—
тонкое	3,2...0,1	10...5	6	9	11	13	16	19	22	25	29	32	36	—	
			5	8	9	11	13	15	18	20	23	25	28	30	—

Протягивание: черновое литого или прошито­го отвер­стия чистовое после чер­нового или после сверления	12,5...0,8	25...10	11	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	6,3...0,2	10...5	10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			9	—	43	52	62	74	87	100	63	—	—	—	—	—
			8	—	27	33	39	46	57	63	—	—	—	—	—	—
			7	—	18	21	25	30	35	40	—	—	—	—	—	—
Растачивание: черновое чистовое тонкое	25...1,6	50...20	13	180	220	270	330	390	460	540	630	720	810	890	970	—
			12	120	150	180	210	250	300	350	400	460	520	570	630	—
	6,3...0,4	25...10	11	75	90	110	130	160	190	220	250	290	320	360	400	—
			10	48	58	70	84	100	120	140	160	185	210	230	250	—
			9	30	36	43	52	62	74	87	100	115	130	140	155	—
Шлифование: предварительное чистовое тонкое	3,2...1,6	10...5	8	18	22	27	33	39	46	57	63	72	81	89	97	—
			7	12	15	18	21	25	30	35	40	46	52	57	63	—
			6	8	9	11	13	16	19	22	25	29	32	36	40	—
			5	5	6	8	9	11	13	15	18	20	23	25	27	—
	6,3...0,4	25...10	9	—	—	43	52	62	74	87	100	115	130	140	155	—
Притирка, хонингование	3,2...0,2	20...5	8	—	—	27	33	39	46	57	63	72	81	89	97	—
			7	—	—	18	21	25	30	35	40	46	52	57	63	—
	1,6...0,1	10...5	6	—	—	11	13	16	19	22	25	29	32	36	40	—
			5	—	—	8	9	11	13	15	18	20	23	25	27	—
	1,6...0,1	5...3	5	5	6	8	9	11	13	15	18	20	23	25	27	—
Раскатывание, калибрование, ал- мазное выглаживание	6,3...0,1	—	4	4	4	5	6	7	8	10	12	14	16	18	20	—
			10		58	70	84	100	120	140	160	185	210	230	250	—
			9		36	43	52	62	74	87	100	115	130	140	155	—
			8		22	27	33	39	46	57	63	72	81	89	97	—
			7		15	18	21	25	30	35	40	46	52	57	63	—
			6		9	11	13	16	19	22	25	29	32	36	40	—
			5		6	8	9	11	13	15	18	20	23	25	27	—

Таблица В.3

Допуски для размеров от 1 до 500 мм [8]

Интервал номинальных размеров		Квалитет точности											
		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
свыше	до	мкм						мм					
	3	6	10	14	25	40	60	0,10	0,14	0,25	0,40	0,60	1,00
3	6	8	12	18	30	48	75	0,12	0,18	0,30	0,48	0,75	1,20
6	10	9	15	22	36	58	90	0,15	0,22	0,36	0,58	0,90	1,50
10	18	11	18	27	43	70	110	0,18	0,27	0,43	0,70	1,10	1,80
18	30	13	21	33	52	84	130	0,21	0,33	0,52	0,84	1,30	2,10
30	50	16	25	39	62	100	160	0,25	0,39	0,62	1,00	1,60	2,50
50	80	19	30	46	74	120	190	0,30	0,46	0,74	1,20	1,90	3,00
80	120	22	35	54	87	140	220	0,35	0,54	0,87	1,40	2,20	3,50
120	180	25	40	63	100	160	250	0,40	0,63	1,00	1,60	2,50	4,00
180	250	29	46	72	115	185	290	0,46	0,72	1,15	1,85	2,90	4,60
250	315	32	52	81	130	210	320	0,52	0,81	1,30	2,10	3,20	5,20
315	400	36	57	89	140	230	360	0,57	0,89	1,40	2,30	3,60	5,70
400	500	40	63	97	155	250	400	0,63	0,97	1,55	2,50	4,00	6,30
500	630	44	70	110	175	280	440	0,70	1,10	1,75	2,80	4,40	7,00

Таблица В.4

Качество поверхности различных видов заготовок [13]

Вид заготовки	Квалитет	Rz	h
		мкм	
1	2	3	4
Отливки в песчаные формы I класса:			
наибольший габаритный размер отливки, мм: не более 1250 1250...3150			600 800
То же II класса:			
наибольший габаритный размер отливки, мм: не более 1250 1250...3150			700 900

1	2	3	4
Отливки в кокиль	12...14	200	300
Литье в оболочковые формы	12...14	40	260
Литье под давлением	9...12	20	140
Литье по выплавляемым моделям	9...12	30	170
Штампованные заготовки массой, кг: не более 0,25 0,25...2,5 2,5...25 25...100 100...200		150	150
		150	200
		150	250
		200	300
		300	300
Прокат горячекатаный диаметром, мм: 5...25 26...75 80...150 160...250		150	150
		150	250
		200	300
		300	400
Калиброванный гладкотянутый	7...12	60	60
Калиброванный шлифовальный	6...9	10	20

Примечание. Для отливок в песчаные формы указано суммарное значение $R_z + h$.

Таблица В.5

Качество торцевой поверхности после резки заготовок из горячекатаного проката (размеры в миллиметрах) [13]

Способ резки	Диаметр отрезаемой заготовки D	Допускаемое отклонение размеров по длине заготовки	$R_z + h$	Отклонение от перпендикулярности торца к оси заготовки
1	2	3	4	5
По упору на ножницах, дисковыми пилами и приводными ножовками	5...25	$\pm 1,0$	0,3	0,01 D
	26...75	$\pm 1,3$		
	80...150	$\pm 1,8$		
	Свыше 150	$\pm 2,3$		

1	2	3	4	5
На прессах и дисковыми фрезами на отрезных станках	5...25	$\pm 0,3$	0,2	0,0007D
	26...75	$\pm 0,4$		
Отрезными резцами на станках токарного типа	5...35	$\pm 0,25$	0,2	0,045D
	26...75	$\pm 0,35$		
	80...150	$\pm 0,40$		
	160...250	$\pm 0,50$		

Примечание. При резке на ножницах получаются вмятина и скос; вмятина в направлении, перпендикулярном к поверхности среза, достигает 0,2D, а скос по торцу — 3°. Величину вмятины и скоса необходимо учитывать при последующей обработке отрезанной заготовки соответственно по диаметру и торцу.

Таблица В.6

**Параметры, достигаемые после механической обработки
наружных поверхностей [13]**

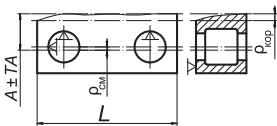
Вид обработки	Rz	h
	мкм	
Обдирочная обработка лезвийным инструментом отливок II класса, горячего проката обычной точности, нежестких валов, поковок с большими припусками и др.	100	100
Черновая обработка лезвийным инструментом заготовок всех видов	50	50
Чистовая обработка лезвийным инструментом и однократная обработка заготовок с малыми припусками	30	30
Чистовое торцовое фрезерование	10	15
Протягивание наружное	5	10
Тонкая обработка лезвийными инструментами	3	
Шлифование: предварительное чистовое	10	20
	5	15
	6	12
Бесцентровое шлифование калиброванного проката 9–10-го качеств: до термообработки после термообработки	6 3...0,8	12

Параметры, достигаемые после механической обработки отверстий [13]

Вид обработки	Rz	h
	мкм	
Сверление спиральными сверлами	40	60
Глубокое сверление	20	30
Зенкерование: черновое чистовое	50 30	50 40
Растачивание: черновое чистовое	50 20	50 25
Развертывание: нормальное точное тонкое	10 5 3	25 10
Протягивание	4	6
Калибрование шариком или оправкой	0,6	

Примечание. Виды развертывания (нормальное, точное и тонкое) определяются допусками на диаметральные размеры разверток

Суммарное значение пространственных отклонений для различных видов заготовок и механической обработки [13]

Тип детали и метод базирования	Эскиз	Расчетные формулы
1	2	3
Литейные заготовки		
Корпусные детали, по отверстиям с параллельными осями и перпендикулярной к ним плоскости		$\rho = \sqrt{\rho_{\text{кор}}^2 + \rho_{\text{см}}^2};$ $\rho = \rho_{\text{кор}} + \rho_{\text{см}};$ $\rho_{\text{си}} = TL;$ $\rho_{\text{кор}} = \Delta_K / l$
То же, по плоскости, противоположной обрабатываемой		$\rho = \rho_{\text{кор}}$

1	2	3
Детали — тела вращения, в самоцентрирующих патронах по наружному диаметру с прижимом к торцевой поверхности		$\rho_D = \rho_{\text{кор}} = \Delta_K D;$ $\rho_d = \sqrt{\rho_{\text{кор}}^2 + \rho_{\text{см}}^2};$ $\rho_{\text{см}} = TB;$ $\rho_B = \Delta_K B$
Штампованные заготовки		
Стержневые детали (валы ступенчатые, рычаги и др.) с базированием по крайней ступени (поверхности)		$\rho = \sqrt{\rho_{\text{кор}}^2 + \rho_{\text{см}}^2};$ $\rho_{\text{кор}} = \Delta_K l$
Стержневые детали при обработке в центрах		$\rho = \sqrt{\rho_{\text{кор}}^2 + \rho_{\text{см}}^2 + \rho_{\text{ц}}^2};$ $\rho_{\text{кор}} = \Delta_K l$ при $l \leq \frac{L}{2}$
Детали типа дисков с прошиваемым центральным отверстием (шестерни, диски и др.) с установкой по наружному диаметру и торцу		$\rho = \sqrt{\rho_{\text{см}}^2 + \rho_{\text{эксц}}^2}$
То же, при обработке торцовых поверхностей		$\rho = \rho_{\text{кор}};$ $\rho_{\text{кор}} = \Delta_K D = \Delta_K 2R$

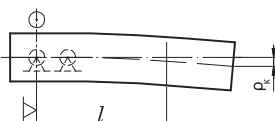
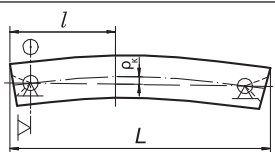
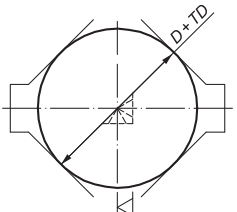
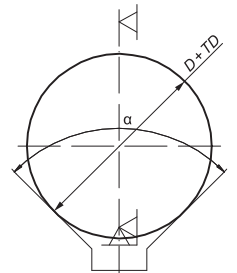
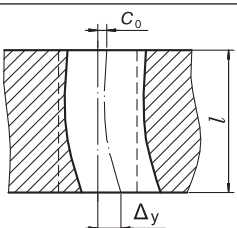
1	2	3
Заготовки из сортового проката		
При консольном закреплении в самоцентрирующих патронах		$\rho_k = \Delta_k l$
При обработке в центрах		$\rho = \sqrt{\rho_k^2 + \rho_{ц}^2};$ $\rho_k = \Delta_k l$ при $l \leq \frac{L}{2}$
Зацентрировка заготовок		
При установке в самоцентрирующих зажимных устройствах		$\rho = 0,25 \text{ мм}$
При установке на призмах с односторонним прижимом		$\rho = \sqrt{\frac{TD^2}{2} + 0,25^2}$ (при $\alpha = 90^\circ$); $\rho = \sqrt{\frac{TD^2}{3} + 0,25^2}$ (при $\alpha = 120^\circ$);
Сверление отверстий		
Детали всех типов, при обработке отверстия в неподвижной детали		$\rho = \sqrt{C_0^2 + (\Delta_y l)^2}$

Таблица В.9

Удельная кривизна заготовок Δ_k (мкм) на 1 мм длины [13]

Материал и состояние	Диаметр заготовки, мм					
	5...25	25...50	50...75	75...120	120...150	Свыше 150
Прокат калиброванный: 6-й квалитет	0,50	0,50				
9-й квалитет	1	0,75	0,5			
10–11-й квалитеты	2	1	1			
12-й квалитет	3	2	1			
Прокат калиброванный после термообработки	2	1,3	0,6			
Прокат горячекатаный: после правки на прессе после термообработки	0,15 2,0	0,12 1,3	0,10	0,08 0,6	0,06	0,05 0,3
Штампованные заготовки: после правки после термообработки	2,0 1,0	1,5 0,8	0,7	1,0 0,6	0,5	
Отливки: плиты корпуса	2...3 0,7...1					

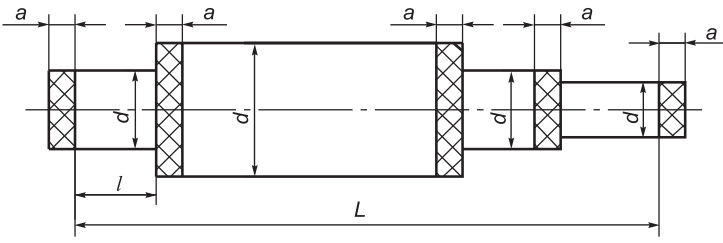
Примечания: 1. Общая кривизна прутка не должна превышать произведения допускаемой кривизны на его длину. 2. Кривизну отрезанной заготовки определяют в зависимости от способа базирования при обработке. 3. При термообработке проката ТВЧ табличные значения принимать с коэффициентом 0,5. 4. Для ступенчатых валов принимают приведенный диаметр. 5. Для стержневых деталей типа рычагов и пластин d_{cp} рассчитывают по среднему сечению стержня.

Таблица В.10

Удельный увод Δ_k и смещение C_o оси отверстий при сверлении [13]

Диаметр отверстия, мм	Сверление спиральными сверлами		Глубокое сверление	
	Δ_k , мкм/мм	C_o , мкм	Δ_k , мкм/мм	C_o , мкм
3...6	2,1	10	1,6	10
6...10	1,7	15	1,3	15
10...18	1,3	20	1,0	20
18...30	0,9	25	0,7	25
30...50	0,7	30		

Припуск на подрезку и шлифование торцов, мм [23]

						
Диаметр обрабатываемой детали d , мм	Припуск a и предельные отклонения длины l при длине детали L , мм					
	до 30	свыше 30 до 50	свыше 50 до 120	свыше 120 до 260	свыше 260 до 500	свыше 500
1	2	3	4	5	6	7
Свыше 6 до 18	Черновое подрезание торцов					
	$1,2 \pm 0,25$	$1,3 \pm 0,30$	$1,4 \pm 0,40$	$1,6 \pm 0,60$	—	—
Свыше 18 до 30			$1,5 + 0,40$	$1,7 \pm 0,60$	$2,1 \pm 0,70$	$2,3 \pm 0,80$
Свыше 30 до 50	$1,3 + 0,25$	$1,4 \pm 0,30$	$1,6 \pm 0,40$	$1,8 + 0,60$	$2,2 \pm 0,70$	$2,4 \pm 0,80$
Свыше 50 до 80	$1,5 \pm 0,25$	$1,6 \pm 0,30$	$1,8 \pm 0,40$	$2,2 \pm 0,60$	$2,4 \pm 0,70$	$2,6 \pm 0,80$
Свыше 80 до 120	$1,6 + 0,25$	$1,8 \pm 0,30$	$1,9 \pm 0,40$	$2,3 \pm 0,60$	$2,6 \pm 0,70$	$2,8 \pm 0,80$
Свыше 120 до 180	$1,8 \pm 0,25$	$1,9 \pm 0,30$	$2,0 \pm 0,40$	$2,4 \pm 0,60$	$2,7 \pm 0,70$	$3,0 \pm 0,80$
Свыше 180 до 200	$2,0 \pm 0,25$	$2,1 \pm 0,30$	$2,3 \pm 0,40$	$2,5 \pm 0,60$	$3,0 \pm 0,70$	$3,2 \pm 0,80$

1	2	3	4	5	6	7	
Свыше 6 до 18	Чистовое подрезание торцов						
	0,6 _{–0,28}	0,6 _{–0,34}	0,8 _{–0,4}	0,9 _{–0,6}	—	—	
Свыше 18 до 30		0,7 _{–0,28}	0,7 _{–0,34}	0,9 _{–0,4}	1,0 _{–0,6}	1,2 _{–0,76}	1,5 _{–0,9}
	Свыше 30 до 50				0,8 _{–0,34}	1,1 _{–0,6}	1,3 _{–0,76}
Свыше 50 до 80		0,8 _{–0,28}	1,0 _{–0,4}	1,2 _{–0,6}		1,4 _{–0,76}	
	Свыше 80 до 120		0,9 _{–0,34}	1,1 _{–0,4}	1,3 _{–0,6}	1,5 _{–0,76}	1,7 _{–0,9}
Свыше 120 до 180	0,9 _{–0,28}	1,0 _{–0,34}	1,2 _{–0,4}	1,4 _{–0,6}	1,6 _{–0,76}	1,8 _{–0,9}	
Свыше 180 до 200	1,0 _{–0,28}	1,1 _{–0,34}	1,3 _{–0,4}	1,5 _{–0,6}	1,7 _{–0,76}	1,9 _{–0,9}	
Свыше 6 до 18	Шлифование						
	0,3 _{–0,14}	0,3 _{–0,17}	0,3 _{–0,23}	0,4 _{–0,3}	—	—	
			0,4 _{–0,23}		0,5 _{–0,38}	0,6 _{–0,45}	
		Свыше 50 до 80		0,4 _{–0,17}			0,5 _{–0,3}
		Свыше 120 до 180	0,4 _{–0,14}	0,5 _{–0,23}	0,7 _{–0,45}		
	Свыше 180 до 200	0,5 _{–0,14}	0,5 _{–0,17}		0,6 _{–0,3}	0,7 _{–0,38}	0,8 _{–0,45}

Примечания: 1. Припуски на черновое подрезание торцов представлены для случаев, когда заготовки отрезают механическими ножовками, дисковыми пилами и фрезами на фрезерных, фрезерно-отрезных станках и отрезными резцами. 2. Величины припусков указаны на сторону. 3. При обработке валов с уступами припуск следует брать на каждый уступ отдельно исходя из его диаметра и общей длины вала. 4. Предельные отклонения и шероховатость поверхности приняты: под черновое подрезание — по $IT14/2$ и $IT13/2$; под чистовое — по $h12$, $h13$ и $Rz 40$; под шлифование — по $h11$ и $Rz 20$. 5. Предельные отклонения установлены на измеряемый размер.

Нормативы времени для массового производства [13, 15]

Таблица Г.1

**Вспомогательное время на установку и снятие детали вручную
(патроны самоцентрирующие), мин**

Способ установки и крепления детали	Масса детали, кг, до							
	0,25	0,5	1	3	5	8	12	20
В бесключевом патроне	0,05	0,06	0,06	0,08	0,1	0,13		
В самоцентрирующем патроне с креплением: пневматическим зажимом ключом	0,06	0,07	0,08	0,1	0,12	0,15	0,18	0,22
	—	0,15	0,17	0,23	0,27	0,3	0,4	0,5
Подвести и отвести центр задней бабки, закрепить и открепить пиноль рукояткой:								
	пневматически	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24
	рычагом	—	—	—	0,03	0,04	0,04	0,05
	маховичком	—	—	—	0,04	0,05	0,06	0,07

Таблица Г.2

Вспомогательное время на установку и снятие прутка в цанговом патроне, мин

Способ установки и крепления детали	Диаметр прутка, мм, до					
	12	20	30	40	50	60
Взять прутки и вставить в трубу	0,2	0,24	0,3	0,44	0,6	0,9
Заправить прутки в патрон, установить в размер на подрезку, проверить регулировку зажима и закрепить: пневматическим зажимом рукояткой рычага						
	0,11 0,12	0,18 0,2	0,28 0,3	0,38 0,4	0,47 0,5	0,52 0,55
Разжать патрон для освобождения остатка прутка: пневматическим зажимом рукояткой рычага						
	0,01 0,025	0,01 0,028	0,01 0,031	0,01 0,036	0,01 0,04	0,01 0,045
Вынуть остаток прутка из патрона и отложить	0,015	0,018	0,021	0,025	0,03	0,035

Таблица Г.3

**Вспомогательное время на установку детали в центрах
и снятие ее (вручную), мин**

Способ подвода центра задней бабки и крепления детали	Масса детали (оправка с деталями), кг						
	0,5	1	3	5	8	12	20
Рукояткой пневматического зажима	0,06	0,07	0,08	0,1	0,13	0,16	0,21
Отводной пружинной рукояткой с креплением пинноли рукояткой	0,07	0,08	0,10	0,12	0,15	0,18	0,23
Закрывать, открыть, закрепить и открепить крышку люнета закрытого типа	—	—	—	0,087	0,099	0,111	0,124
Содержание работы — взять деталь (оправку с деталями), установить в центрах, закрепить центром задней бабки; отвести центр задней бабки, снять деталь (оправку с деталями) и отложить							

Таблица Г.4

Вспомогательное время на установку и снятие одной детали, мин

Количество одновременно устанавливаемых деталей	Масса детали, кг, до							
	0,05	0,1	0,5	1	3	5	8	12
На магнитном столе: содержание работы — взять деталь, установить; снять деталь, отложить, очистить плиту от стружки								
1				0,049	0,057	0,067	0,078	0,09
3				0,04				
5	0,017	0,019	0,023	0,028				
10	0,014	0,016	0,02					
15	0,011	0,013	0,016					
20 и более	0,01	0,012						
На опорный нож при бесцентровом шлифовании: содержание работы — установить деталь на опорный нож при работе напроход или установить ее на опорный нож, подвести и отвести круг, снять деталь с опорного ножа при работе врезанием								
1 (напроход)			0,028	0,033	0,044	0,05		
1 (до упора)			0,049	0,058	0,078	0,091	0,101	0,114

**Вспомогательное время на установку и снятие детали, мин
(различные приспособления)**

Способ установки и крепления детали	Масса детали, кг, до							
	0,25	0,5	1	3	5	8	12	20
В цанговом патроне с креплением: пневмозажимом рукояткой рычага	0,06	0,07	0,08	0,11	0,13	0,16	0,19	0,24
	0,07	0,08	0,09	0,12	0,14	0,17	0,2	0,25
На гладкой оправке: без крепления с креплением гай- кой с быстросъем- ной шайбой	0,06	0,08	0,08	0,12	0,15	0,2	—	—
	0,11	0,13	0,15	0,2	0,26	0,32	0,39	0,47
На резьбовой оправке	0,1	0,12	0,13	0,19	0,25	—	—	—
Установка детали по зубу долбика, фрезы с подводом инструмен- та к детали	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,06	0,06
Установка на оправке каждой последующей детали свыше одной	0,06	0,06	0,06	0,07	0,09	0,11	—	—
Установить и снять быстросъемную шайбу	0,036	0,036	0,036	0,036	0,036	0,036	0,036	0,036
Установка в тисках с креплением: пневмозажимом эксцентриковым зажимом	0,06	0,07	0,07	0,08	0,10	0,11	0,14	0,17
	0,06	—	0,08	0,09	0,10	0,12	0,15	0,18
Установка в тисках каждой последующей детали свыше одной	0,03	—	0,04	0,05	0,06	—	—	—
Содержание работы — взять деталь, установить, закрепить; открепить де- таль, снять, отложить								

Вспомогательное время на установку деталей вручную в специальных приспособлениях и на их снятие, мин

Установочные плоскости, элементы приспособления и его тип	Масса детали, кг: до							
	0,25	0,5	1	3	5	8	12	20
Установка на горизонтальные плоскость или призму в приспособлении: открытом — первая деталь то же — последующая деталь закрытом	0,034 0,024 0,037	0,038 0,027 0,042	0,043 0,03 0,047	0,053 0,037 0,058	0,063 0,05 0,069	0,078 0,062 0,086	0,1 0,08 0,11	0,13 0,104 0,143
Установка на горизонтальную плоскость с упором или на призму, расположенную вертикально в приспособлении: открытом — первая деталь то же — каждая последующая деталь закрытом	0,037 0,026 0,041	0,042 0,029 0,046	0,047 0,033 0,052	0,058 0,041 0,064	0,069 0,055 0,076	0,086 0,069 0,095	0,11 0,088 0,121	0,142 0,114 0,156
Установка на горизонтальную плоскость и палец гладкий или на вертикальную плоскость с упором в приспособлении: открытом — первая деталь то же — каждая последующая деталь закрытом	0,041 0,029 0,045	0,046 0,032 0,051	0,051 0,036 0,056	0,063 0,044 0,069	0,075 0,06 0,083	0,095 0,076 0,105	0,119 0,095 0,131	0,154 0,122 0,169
Установка в отверстие или гнездо в горизонтальной плоскости, на палец гладкий и вертикальную плоскость в приспособлении: открытом — первая деталь то же — каждая последующая деталь закрытом	0,044 0,031 0,048	0,049 0,034 0,054	0,055 0,039 0,061	0,068 0,048 0,075	0,082 0,066 0,09	0,102 0,082 0,112	0,129 0,103 —	0,168 0,134 —

Установка на горизонтальную плоскость и на два пальца или в отверстие и на вертикальную плоскость в приспособлении: открытом – первая деталь то же – каждая последующая деталь закрытом	0,048 0,034 0,053	0,054 0,038 0,059	0,06 0,042 0,066	0,075 0,053 0,083	0,089 0,071 0,098	0,12 0,09 0,123	0,141 0,113 0,155	0,152 0,123 0,167
Установка на палец шлицевый в горизонтальной плоскости или на два пальца и вертикальную плоскость в приспособлении: открытом – первая деталь то же – каждая последующая деталь закрытом	0,053 0,037 0,058	0,059 0,041 0,065	0,066 0,046 0,073	0,082 0,057 0,09	0,098 0,078 0,108	0,121 0,097 0,133	0,581 0,126 0,174	0,197 0,157 0,217
Установка по горизонтальному пазу или на палец шлицевый в вертикальной плоскости в приспособлении: открытом – первая деталь то же – каждая последующая деталь закрытом	0,037 0,026 0,041	0,042 0,029 0,046	0,047 0,033 0,052	0,058 0,041 0,064	0,069 0,055 0,076	0,086 0,069 0,095	0,11 0,088 —	0,142 0,114 —
Установка на призму и палец горизонтально в открытом приспособлении: первая деталь каждая последующая деталь	0,045 0,032	0,051 0,036	0,056 0,039	0,069 0,048	0,083 0,066	0,105 0,084	0,131 0,105	0,169 0,135
Установка на призму и в паз горизонтально в открытом приспособлении: первая деталь каждая последующая деталь	0,041 0,029	0,046 0,032	0,052 0,036	0,064 0,045	0,076 0,061	0,095 0,076	0,121 0,101	0,156 0,125

Таблица Г.7

**Вспомогательное время на закрепление и открепление детали
в специальных приспособлениях, мин**

Способ крепления	Ко- личе- ство закре- пов	Масса детали, кг, до				
		1	5	12	20	Свыше 20
Крепление в приспособлениях						
Рукояткой: пневматического зажима и гидравлического	1	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024
эксцентрикового зажима	1	0,03	0,034	0,036	—	—
	2	—	0,054	0,061	0,065	0,082
Винтовым зажимом, махо- вичком, звездочкой	1	0,034	0,042	0,055	0,068	0,128
	2	0,06	0,076	0,097	0,12	0,196
Гаечным или винтовым зажи- мом с помощью гаечного ключа	1	0,094	0,11	0,135	0,16	0,2
	2	0,153	0,18	0,22	0,26	0,32
	3	—	0,24	0,29	0,35	0,42
	4	—	0,3	0,39	0,44	0,55
Гаечным зажимом с бы- стросъемной шайбой с помо- щью гаечного ключа	1	0,085	0,1	0,12	0,135	0,17
Рукояткой пневматического зажима и винтовым зажимом	2	0,052	0,06	0,071	0,083	0,137
Рукояткой эксцентрикового зажима и винтовым зажимом	2	0,058	0,068	0,082	0,095	0,154
Крепление откидной или скользящей планкой						
Рукояткой пневматического зажима	1	0,034	0,042	0,046	0,05	0,06
Рукояткой эксцентрикового зажима	1	0,04	0,052	0,058	0,064	0,079
Винтовым зажимом вручную	1	0,044	0,06	0,077	0,094	0,163
Гаечным или винтовым зажи- мом с помощью гаечного ключа	1	0,104	0,123	0,157	0,186	0,235
Рукояткой пневматического зажима и винтовым зажимом	2	0,062	0,078	0,093	0,109	0,172

Вспомогательное время на приемы управления станками

Содержание приема управления	Время, мин
1	2
Разные станки	
Включить или выключить станок или его узлы: кнопкой	0,01
рычагом	0,02
Повернуть резцовую головку на следующую позицию	0,04
Повернуть revolverную головку на следующую позицию	0,015
Установить и снять инструмент в быстросъемном патроне при диаметре инструмента:	
до 15 мм	0,035
до 25 мм	0,04
до 30 мм	0,06
свыше 30 мм	0,08
Поставить кондукторскую втулку и снять ее при внутреннем диаметре:	
до 20 мм	0,05
до 40 мм	0,06
свыше 40 мм	0,07
Подвести инструмент при снятии одной фаски	0,016
То же, при снятии каждой последующей фаски	0,01
Свести плашки резбонарезной головки рычагом	0,02
Разжать бруски хонинговальной головки:	
вручную	0,03
гидравлической подачей	0,02
Сжать бруски хонинговальной головки:	
вручную	0,025
гидравлической подачей	0,015
Закрепить или открепить каретку	0,02
Повернуть стол с рабочей позиции на загрузочную	0,05
Подвести или отвести инструмент к детали при обработке:	
резца	0,025
revolverной головки	0,02
сверла, развертки, метчика, зенкера, плашки	0,01
фрезы к детали в вертикальном направлении	0,04
то же, в горизонтальном направлении	0,04
детали к фрезе в поперечном направлении	0,04
то же, в продольном направлении	0,03
шлифовального круга к детали до появления искры:	
в вертикальном направлении	0,04
в поперечном или продольном направлении	0,02
детали к шлифовальному кругу подъемом стола до появления искры	0,04

1	2
Подвести или отвести инструмент к детали при обработке: хонинговальной головки	0,01
державку с брусками суперфинишной головки: вручную	0,06
с механической подачей	0,04
долбяка:	
в вертикальном направлении	0,06
в горизонтальном направлении	0,06
детали к шеверу	0,04
шлифовального круга для торцового шлифования	0,025
Зубострогальные станки	
Включить или выключить движение ползунов и подачу: кнопкой	0,01
рычагом	0,02
Отвести деталь от резцов перемещением каретки	0,04
Закрепить или открепить каретку	0,02
Болторезные станки	
Включить или выключить вращение шпинделя	0,01
Включить или выключить продольную подачу	0,01
Переключить направление вращения шпинделя	0,01
Подвести и направить деталь в плашки	0,015
Отвести каретку в исходное положение на длину: до 100 мм	0,015
свыше 100 мм	0,025
Протяжные станки для внутреннего и наружного протягивания	
Включить движение ползуна (рабочий или холостой ход): ножной педалью	0,015
кнопкой	0,01
рычагом	0,02
Установить протяжку в зажимной патрон: диаметр протяжки до 20 мм	0,06
то же, до 40 мм	0,08
то же, до 80 мм	0,11
Закрепить протяжку в зажимном патроне рукояткой	0,015
Открепить протяжку рукояткой патрона	0,015
Очистить протяжку от стружки: диаметр протяжки до 40 мм	0,03
то же, до 80 мм	0,05
то же, свыше 80 мм	0,07

1	2
Подвести или отвести стол	0,04
Зубошлифовальные станки	
Включить или выключить вращение шлифовального круга	0,01
Включить или выключить подачу обкатки и возвратно-поступательное движение каретки	0,01
Включить счетчик продолжительности обкатки	0,01
Установить глубину шлифования и равномерность снятия припуска для первого рабочего хода	0,5
Подвести шлифовальный круг и установить на размер для последующего рабочего хода	0,05
Отвести шлифовальный круг от детали	0,035
Шлицешлифовальные станки	
Включить станок	0,01
Включить или выключить вращение шлифовального круга	0,01
То же, движение стола	0,01
То же, вертикальную подачу круга	0,01
То же, подачу делительного механизма	0,01
Подвести шлифовальный круг к детали в вертикальном направлении и установить на размер до появления искры	0,04
Отвести шлифовальный круг от детали в вертикальном направлении	0,035
Переместить стол в продольном направлении (подвод или отвод) на длину: до 100 мм до 200 мм	0,035 0,05

Таблица Г.9

**Вспомогательное время на приемы управления станком,
связанные с перемещением рабочих органов станков, мин**

Тип станка	Содержание приема	Длина перемещения, мм до					
		50	100	200	300	400	500
1	2	3	4	5	6	7	8
Токарно-центровой операционный и токарно-многорезцовый	Переместить каретку суппорта в продольном направлении: наибольший диаметр обработки 400 то же, 600	—	0,04	0,06	0,09	0,11	0,14
		—	0,05	0,08	0,11	0,13	0,16

1	2	3	4	5	6	7	8
Расточный	Переместить шпиндель в исходное положение	0,03	0,05	0,09	0,12	0,15	0,18
Револьверный с вертикальной осью вращения	Переместить каретку суппорта в продольном направлении	—	0,05	0,08	0,09	—	—
	Переместить суппорт в поперечном направлении	0,05	0,08	—	—	—	—
	Переместить револьверную головку	—	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07
Сверлильный	Переместить шпиндель в вертикальном направлении	—	0,01	0,015	0,02	0,03	—
Горизонтально-и вертикально-фрезерный	Переместить стол в продольном или поперечном направлении при длине стола до: 750 мм 1250 мм 1800 мм	—	0,04	0,07	0,11	0,13	0,16
		—	0,05	0,09	0,14	0,16	0,19
		—	0,0	0,11	0,15	0,18	0,21
		—	0,04	0,07	0,11	0,13	0,16
Зубофрезерный	Переместить фрезерную головку в горизонтальном направлении: наибольший модуль 12 мм свыше 12 мм	0,1	0,19	0,36	—	—	—
		0,15	0,28	0,52	—	—	—
	Переместить фрезерную головку в вертикальном направлении: наибольший модуль до 12 мм то же, свыше 12 мм	0,1	0,18	0,34	—	—	—
		0,15	0,27	0,50	—	—	—
Шлицефрезерный	Переместить фрезерную головку в продольном направлении	—	0,06	0,1	0,14	0,18	0,26

Вспомогательное время на измерение калибрами-пробками и кольцами

Измерительный инструмент	Точность измерения, квалитет	Измеряемый размер, мм до	Время, мин
Калибр-пробка гладкая двусторонняя (полный промер)	7	10—25	0,11
		50	0,13
		75	0,15
	8, 9, 10-й	25	0,09
		50	0,11
		75	0,12
	11, 12, 13-й	25	0,06
		50	0,07
		75	0,08
Калибр-пробка плоская	7-й	75	0,22
		100	0,24
		125	0,25
	8, 9, 10-й	75	0,17
		100	0,19
		125	0,2
	11, 12, 13-й	75	0,096
		100	0,11
		125	0,12
Калибр-пробка шлицевая	7-й	25	0,1
		50	0,14
		75	0,16
	8, 9, 10-й	25	0,09
		50	0,12
		75	0,14
Калибр-вкладыш шлицевый	8, 9, 10-й	25	0,05
		50	0,06
		75	0,07

Таблица Г.11

Вспомогательное время на измерение шлицевыми калибрами-кольцами, мин

Измерительный инструмент	Точность измерения, квалитет	Измеряемый размер, мм до	Измеряемая длина, мм до			
			50	100	200	300
Калибр-кольцо шлицевое	7-й	25	0,15	0,18	0,21	0,23
		50	0,2	0,23	0,27	0,34
		75	0,23	0,27	—	—
Калибр-кольцо шлицевое	8, 9, 10-й	25	0,13	0,14	0,16	0,18
		50	0,17	0,2	0,23	0,24
		75	0,2	0,23	—	—

Таблица Г.12

Вспомогательное время на измерение скобами, мин

Измерительный инструмент	Точность измерения	Измеряемый размер, мм	Длина измеряемой поверхности, мм, до		
			50	100	250
1	2	3	4	5	6
Квалитет					
Скоба двусторонняя предельная (полный промер)	6—7-й	50	0,09	0,11	0,15
		100	0,11	0,13	0,18
	8—9-й	50	0,07	0,09	0,13
		100	0,09	0,11	0,15
Скоба односторонняя предельная	6—7-й	50	0,07	0,08	0,1
		100	0,08	0,10	0,14
	8—9-й	50	0,06.	0,07	0,1
		100	0,07	0,09	0,13
	10—12-й	50	0,03	0,04	0,06
		100	0,04	0,05	0,07

1	2	3	4	5	6
Степень точности					
Скоба резьбовая	6–7-й	50	0,08	0,09	0,12
		100	0,09	0,11	0,15
	8–9-й	50	0,07	0,08	0,11
		100	0,08	0,1	0,14
	10-й	50	0,03	0,04	0,07
		100	0,04	0,06	0,08
Скоба индикаторная	0,01 мм	50	0,07	0,08	0,12
		100	0,09	0,11	0,14
		200	0,12	0,13	0,17

Таблица Г.13

**Вспомогательное время на измерение резьб с точностью 6...8g
и 6...7H пробками и кольцами резьбовыми в массовом производстве, мин**

Измеряемый размер, мм, до		Длина измеряемой резьбы, мм, до								
		5	10	15	20	30	40	50	60	80
<i>D</i>	<i>S</i>	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Измерение резьбовой пробкой										
10	0,5	0,21	0,39	0,54	0,72					
	1	0,12	0,21	0,3	0,39	0,54				
	1,5	0,08	0,15	0,21	0,27	0,39				
20	1	0,13	0,22	0,31	0,4	0,59				
	1,5	0,09	0,16	0,22	0,29	0,41	0,54	0,63		
	2	0,08	0,13	0,17	0,22	0,31	0,41	0,5		
	2,5	0,07	0,1	0,14	0,19	0,26	0,33	0,4		
40	1	0,14	0,24	0,34	0,44	0,63	0,81	1,04		
	1,5	0,11	0,18'	0,24	0,31	0,44	0,59	0,72		
	2	0,09	0,14	0,19	0,24	0,34	0,44	0,54		
	2,5	0,08	0,13	0,16	0,2	0,28	0,36	0,44		
	3	—	0,11	0,14	0,18	0,24	0,31	0,38		

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
60	1	0,15	0,27	0,38	0,5	0,72	0,9	1,13		
	1,5	0,12	0,2	0,27	0,35	0,5	0,63	0,72	0,9	
	2	0,1	0,15	0,22	0,27	0,38	0,5	0,59	0,72	
	3	—	0,12	0,15	0,19	0,27	0,35	0,4	0,5	
Измерение резьбовым кольцом										
10	0,5	0,15	0,28	0,41	0,54					
	1	0,09	0,15	0,22	0,28	0,41	0,54	0,68		
	1,5	0,06	0,1	0,15	0,2	0,28	0,38	0,54		
20	1	0,09	0,16	0,23	0,3	0,45	0,59	0,72		
	1,5	0,07	0,12	0,16	0,21	0,3	0,39	0,48	0,59	
	2	0,05	0,1	0,13	0,16	0,23	0,3	0,37	0,45	0,59
	2,5	0,04	0,07	0,1	0,13	0,19	0,26	0,3	0,36	0,45
40	1	0,1	0,18	0,25	0,32	0,5	0,63	0,77		
	1,5	0,07	0,13'	0,18	0,23	0,32	0,44	0,54	0,63	
	2	0,07	0,1	0,13	0,18	0,25	0,32	0,41	0,5	0,63
	2,5	0,05	0,09	0,12	0,15	0,21	0,27	0,32	0,39	0,5
	3	—	0,07	0,1	0,13	0,18	0,23	0,27	0,32	0,43
60	1	0,11	0,2	0,30	0,38	0,54	0,72	0,9		
	1,5	0,08	0,15	0,2	0,26	0,38	0,5	0,59	0,72	
	2	0,07	0,13	0,16	0,22	0,29	0,38	0,45	0,59	0,72
	3	—	0,08	0,12	0,15	0,2	0,26	0,32	0,38	0,5

Примечание. При измерении резьб более высокой степени точности время по таблице использовать с коэффициентом 1,2.

Таблица Г.14

Вспомогательное время на измерения шаблонами, мин

Измерительный инструмент	Точность измерения, мм	Измеряемый размер, мм, до				
		100	300	500	750	1000
1	2	3	4	5	6	7
Шаблон линейный односторонний	0,2...0,5	0,04	0,06	0,07	0,08	0,09
	До 0,2	0,07	0,09	0,11	0,13	0,14

Окончание табл. Г.14

1	2	3	4	5	6	7
Шаблон линейный двусторонний	0,2...0,5	0,06	0,07	0,09	0,1	0,11
	До 0,2	0,08	0,11	0,14	0,15	0,17
Шаблон фасонный простого профиля	0,15...0,25	0,07	0,08	0,1		
	До 0,15	0,09	0,12	0,15		
Шаблон фасонный сложного профиля	0,15...0,25	0,09	0,11	0,13		
	До 0,15	0,17	0,21	0,22		

Таблица Г.15

**Вспомогательное время на проверку биения
или эллиптичности индикатором часового типа**

Контролируемый размер, мм, до	Время, мин
50	0,05
100	0,055
200	0,061
300	0,065
400	0,068

Таблица Г.16

**Вспомогательное время на контрольные промеры универсальным инструментом
с установкой его на размер в процессе измерения, мин**

Измерительный инструмент	Точность измерения	Измеряемый размер, мм	Измеряемая длина, мм, до				
			50	100	200	300	500
1	2	3	4	5	6	7	8
Штангенглубиномер	0,02...0,05 мм		0,16	0,18	0,2	0,22	0,24
Штангенциркуль	До 0,1 мм	50	0,12	0,15	0,18	0,2	0,24
		100	0,13	0,16	0,19	0,22	0,24
		200	0,16	0,17	0,21	0,23	0,25
		400	0,22				
Микрометр	6—7-й квалитет	100	0,22	0,22	0,23	0,28	0,3
		200	0,27	0,27	0,28	0,29	0,33

1	2	3	4	5	6	7	8
Нутромер индикаторный	6–7-й квалитет	50	0,17	0,2	0,23	0,26	—
		100	0,19	0,22	0,24	0,27	—
		200	0,22	0,26	0,27	0,29	—
Угломер универсальный	Свыше 5'		0,2	0,23	0,24	0,27	0,33
	До 5'		0,23	0,26	0,35	0,36	0,38

Таблица Г.17

**Техническое обслуживание рабочего места.
Время на смену режущего инструмента $t_{см}$, мин**

Режущий инструмент	Способ закрепле- ния инструмента на станке	Точность установки, мм	Размер инструмента — диа- метр или квадрат, мм, до			
			Ø20 10×10	Ø30 15×15	Ø50 25×25	Свы- ше Ø50 Свы- ше 25×25
1	2	3	4	5	6	7
Токарно-операционные, многолезцовые, токарные многошпиндельные полуавтоматы, расточные и револьверные станки						
Резцы проход- ные, подрез- ные расточные	В резцедержатель суппорта	—	1	1,3	1,5	1,7
		Свыше 0,2	1,7	2	2,5	3
		До 0,2	2,5	3,3	4	5,8
	В гнездо головки	—	2	2,5	—	—
Резцы отрез- ные, канавоч- ные, фасонные	В резцедержатель суппорта	—	0,8	1,1	1,2	1,3
		Свыше 0,2	1,3	1,5	2	2
		До 0,2	1,7	2	2,3	2,3
	В гнездо головки	—	1,2	1,5	—	—
Резцы фасон- ные	В резцедержатель суппорта	—	1,5	2	2,5	3
		Свыше 0,2	2	3	4	5
		До 0,2	3,5	5	6	7
	В гнездо головки	—	2,5	3,5	—	—

1	2	3	4	5	6	7
Сверла, зенкеры, развертки, метчики		—	0,4	0,5	0,6	0,7
Сверлильные одношпиндельные, многошпиндельные полуавтоматы и автоматы						
Сверла, зенкеры, развертки, зенковки, метчики	В конус шпинделя	—	0,3	0,35	0,4	0,5
	То же, с переходной втулкой	—	0,5	0,55	0,6	0,65
	В кулачковый патрон	—	0,5	0,6	—	—

Таблица Г.18

Техническое обслуживание рабочего места. Время на смену режущего инструмента на фрезерных одношпиндельных, многошпиндельных и автоматах $t_{см}$, мин

Фрезы	Количество фрез в наладке	Диаметр фрезы, мм, до							
		50	80	100	160	200	320	400	500
Торцовые	1	1,5	1,9	2,2	2,8	3,1	4	4,5	5
	2	2,5	3,2	3,7	4,8	5,3	6,8	7,6	8,5
	3	3,5	4,5	5,2	6,7	7,5	9,6	10,7	12
	4	4,5	5,8	6,7	8,6	9,7	12,4	13,8	15,5
Концевые	1	1,8	2						
	2	2,7	3						
Набор фрез с оправкой	—	3	3	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	—
Цилиндрические	1	2	2,8	3,6	4,4	5,2			
	2	2,5	3,3	4,1	4,9				
	3	3	3,8	4,6	5,4				
	4	3,5	4,3	5,1	5,9				
Дисковые пазовые отрезные	1	2	3	4	5	6	7		
	2	2,6	3,6	4,6	5,6	6,6	7,6		
	4	3,8	4,8	5,8	6,8	7,8	8,8		
	6	5	6	7	8	9	10		

Техническое обслуживание рабочего места при шлифовании. Время на одну правку шлифовального круга $t_{\text{п}}$, мин

Правка	Правящий инструмент	Поверхность правки	Ширина круга или радиус, мм, до	Шерохова- тость поверхно- сти Ra, мкм, до	
				0,63	0,32
1	2	3	4	5	6
Круглошлифовальные станки					
С установкой правящего инструмента на станке	Алмаз, алмазно-металлический карандаш, твер- досплавные диски и ролики	Периферия круга	40	1,8	2
			60	2	2,3
			80	2,3	2,6
	Шлифовальный круг, гофрированные шарошки	Торец, периферия круга	До 10	1,5	1,6
			40	1,6	1,9
60			1,8	2,2	
Без установки правящего инструмента на станке	Алмаз, алмазно-металлический карандаш, твер- досплавные диски и ролики	Торец, периферия круга	80	2,1	2,5
			До 10	1,3	1,5
			40	1,4	1,6
	Торец	60	1,6	1,9	
		80	1,8	2,2	
			До 10	1,1	1,2

Внутришлифовальные станки (диаметр круга до 150 мм)				
Без установки правящего инструмента на станке	Алмаз, алмазно-металлический карандаш	Периферия круга	До 20	0,9
			30	1
			40	1,1
			60	1,2
	Твердосплавные диски и ролики	Периферия круга	До 20	1,2
			30	1,3
			40	1,4
			60	1,5
Плоскошлифовальные станки, работающие периферией круга				
С установкой правящего инструмента на станке	Алмаз, алмазно-металлический карандаш, твердосплавные ролики, шлифовальный круг, ша-рошка	Периферия круга	До 20	1,2
			40	1,4
			60	1,6
			Торец	До 10
		Свыше 10	1,9	
			1,3	1,4
			1,1	1,2

1	2	3	4	5	6
Бесцентровошлифовальные станки					
С установкой правящего инструмента на станке	Алмаз, алмазно-металлический карандаш	Периферия круга	60	1,9	2,2
			100	2,6	3
			150	2,9	4
			200	4,2	4,8
	Твердосплавные диски и ролики	Периферия круга	60	1,6	1,9
			100	2,1	2,6
			150	2,7	3,3
			200	3,3	4
	Металлические диски, шарошки	Периферия круга	60	1,4	—
			100	1,8	—
			150	2,3	—
			200	2,8	—

**Затраты времени на техническое обслуживание рабочего места
в процентах от основного**

Наименование станков	П _{тех} , %
Плоскошлифовальные станки, работающие торцом круга:	
черновое шлифование поверхностей шириной:	
до 100 мм	3
до 200 мм	4
до 300 мм	5
чистовое шлифование поверхностей шириной:	
до 200 мм	2
до 300 мм	3
Хонинговальные	4
Станки для суперфиниша	4
Зубошлифовальные	6
Шлицешлифовальные	6,5
Зубофрезерные	2,5
Зубодолбежные	2,5
Зубошвинговальные	2
Зубозакругляющие	2
Зубострогальные для прямозубых конических колес	2,5
Зубострогальные для конических колес с криволинейным зубом	2
Резьбофрезерные	2
Гайконарезные	2
Резьбонакатные полуавтоматы	2
Болтонарезные	2
Протяжные для внутреннего протягивания	2
Протяжные для наружного протягивания	2
Центровальные	1,5

Таблица Г.21

**Затраты времени на организационное обслуживание рабочего места $t_{\text{орг}}$
в процентах П от оперативного $t_{\text{оп}}$**

Станки	Размерные характеристики станков, мм	Основные размеры или модели станков	Условия работы	
			С ох- лажде- нием	Без ох- лажде- ния
1	2	3	4	5
Токарно-центровые операционные	Наибольший диаметр изделия над станиной	300	1,3	1
		400	1,5	1,2
		600	1,7	1,4
Токарные многорезцовые	—	—	1,7	1,4
Токарные многошпиндельные полуавтоматы		1262	2,4	2,1
		1283	3,1	2,9
Резьботокарные полуавтоматы для коротких резб			1,3	1
Револьверные			1,3	1
Расточные			1,7	1,4
Вертикально-сверлильные			1	0,8
Вертикально-сверлильные многошпиндельные			2,4	2,1
Горизонтально- и вертикально-фрезерные			1,4	1,2
Фрезерные полуавтоматы карусельного типа	Диаметр стола до	1000	2,4	2,1
		2000	3,0	2,8
Фрезерные полуавтоматы барабанного типа			2,4	2,1
Шлицефрезерные			2,1	1,7
Шпоночно-фрезерные вертикальные			1,4	1,2
Круглошлифовальные			1,7	1,3
Внутришлифовальные			2	1,7
Плоскошлифовальные с круглым столом	Диаметр стола до	900	1,8	1,5
		1000	2	1,8

1	2	3	4	5
Плоскошлифовальные с прямоугольным столом	Длина стола до	1000 2000	1,8 2	1,5 1,8
Бесцентровошлифовальные			2,2	—
Хонинговальные			2,0	—
Станки для суперфиниша			2,0	—
Зубошлифовальные			1,8	1,5
Шлицешлифовальные			1,8	—
Зубофрезерные			1,8	1,4
Зубодолбежные, работающие круглыми долбьями и режущей рейкой			1,8	1,4
Зубошвинговальные			1,6	—
Зубозакругляющие			1,6	—
Зубострогальные			1,8	—
Зуборезные для конических колес с криволинейным зубом			1,3	—
Резьбофрезерные			1,3	1
Протяжные станки для внутреннего протягивания			1,5	—
Протяжные станки для наружного протягивания			2,0	—
Центровальные			—	1,0

Таблица Г.22

Затраты времени на перерывы, отдых и личные надобности $T_{\text{отд}}$ при установке деталей вручную в процентах П от оперативного $t_{\text{оп}}$

Масса детали, кг, до	Процент основного времени t_o от $t_{\text{оп}}$	$t_{\text{оп}}$, мин до						
		0,1	0,2	0,5	1	3	6	Свыше 6
1	2	3	4	5	6	7	8	9
При работе с ручной подачей								
1	20	8	7	7	6	6	—	—
	40	8	7	7	7	7	—	—
	80	8	8	8	8	8	—	—

1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	20	—	8	7	6	6	—	—
	40	—	8	7	7	7	—	—
	80	—	8	8	9	9	—	—
10	20	—	—	8	6	6	—	—
	40	—	—	8	7	7	—	—
	80	—	—	8	9	9	—	—
20	20	—	—	9	8	8	—	—
	40	—	—	9	9	9	—	—
	80	—	—	9	10	10	—	—
При работе с механической подачей								
1	40	—	—	7	6	6	5	—
	80	—	—	7	6	5	5	—
5	40	—	—	7	6	6	6	—
	80	—	—	7	6	6	5	—
10	40	—	—	8	6	6	6	5
	80	—	—	7	6	6	5	5
20	40	—	—	—	8	8	7	5
	80	—	—	—	7	7	6	5

Примечание. При установке деталей массой свыше 20 кг подъемником $t_{\text{отд}}$ во всех случаях принимается 5% от $t_{\text{оп}}$.

Приложение Д

Нормативы времени для серийного производства [16]

Таблица Д.1

Нормативы времени на обслуживание рабочего места, отдых и естественные надобности

Наименование станка	П _{об., отд.} %
1	2
Токарные: высота центров до 125 мм то же, до 200 мм то же, до 300 мм	6 6,5 7

1	2
Вертикально- и радиально-сверлильные (работа с механической подачей): наибольший диаметр сверления до 12 мм то же, до 50 мм то же, до 75 мм	5,5 6 6,5
Горизонтально-, вертикально- и универсально-фрезерные (работа с механической подачей): длина стола станка до 750 мм то же, до 1800 мм то же, до 2500 мм	6–8 7–9 7,5–9,5
Резьбофрезерные: высота центров до 150 мм то же, 200 мм то же, 300 мм	7,2 8 8,8
Зубофрезерные	8
Шлицефрезерные	7,6
Зубодолбежные	7,7
Шевинговальные	7,2
Зубострогальные	8
Зубострогальные для конических колес с криволинейными зубьями	8
Зубозакругляющие	8
Горизонтально- и вертикально-протяжные	7–8
Шлицешлифовальные	12
Хонинговальные	10
Суперфинишные	10

Примечание. При фрезеровании меньшие значения суммарного процента $P_{об.,отд}$ использовать для фрез из быстрорежущих сталей, большие — для фрез, оснащенных пластинками из твердых сплавов.

Таблица Д.2

Нормативы времени на отдых и естественные надобности

Наименование станка	$P_{отд}, \%$
1	2
Круглошлифовальные: точность шлифования 5-й квалитет то же, 6-й квалитет то же, 7-й квалитет	6 5 4

1	2
Бесцентровые круглошлифовальные: масса шлифуемой детали до 0,5 кг	5
то же, до 1 кг	6
то же, свыше 1 кг	7
Внутришлифовальные: точность шлифования 6-й квалитет	6
то же, 7-й квалитет	5
то же, 8-й квалитет	4
Плоскошлифовальные	4
Зубошлифовальные	4

Таблица Д.3

**Нормативы подготовительно-заключительного времени при работе
на токарных станках, мин**

Способ установки детали или наименование приемов	Количество режущего инструмента	Высота центров станка, мм до		
		125	200	300
1	2	3	4	5
На наладку станка, инструмента и приспособлений				
В центрах	2	6	7	8
	4	8	9	10
	6	10	12	14
В патроне самоцентрирующем, цанговом или пневматическом	2	7	8	12
	4	9	10	14
	6	11	12	16
В патроне самоцентрирующем с поджатием центром задней бабки	2	9	10	13
	4	11	12	15
	6	12	13	17
На планшайбе с угольником или в центрирующем приспособлении	2	11	12	16
	4	12	14	19
	6	16	18	22
На шпиндельной оправке (концевой конусной, разжимной или резьбовой)	2	6	7	И
	4	8	9	13
	6	10	11	15

1	2	3	4	5
На дополнительные приемы				
Установка упора		1	1,5	2
Установка копира		4	4	5
Установка резца на многорезцовой державке на сопряженный размер		2	2	3
Установка люнета с регулировкой		2	2,7	3,8
Поворот суппорта на угол для обточки конуса		1	1	1
Смещение задней бабки для обточки конуса		2	2,5	3
Установка подачи по ходовому винту для нарезания резьбы: рычагом коробки передач перестановкой зубчатых колес гитары		1 3	1 3	1 4
Получение инструмента и приспособлений до начала обработки и сдача после ее окончания		7...10		

Таблица Д.4

**Нормативы подготовительно-заключительного времени при работе
на радиально- и вертикально-сверлильных станках, мин**

Способ крепления детали и наименование дополнительных приемов	Количество режущих инструментов	Наибольший диаметр сверления, допускаемый станком, мм		
		12	50	75
1	2	3	4	5
На наладку станка и установку приспособлений				
На столе без крепления	1—5	3	4	5
	6—10	—	5	6
	Свыше 10	—	7	8
На столе с креплением двумя болтами с планками	1—5	4	5	6
	6—10	—	7	8
	Свыше 10	—	8	10
В приспособлении или тисках при установке вручную и без их крепления	1—5	5	6	7
	6—10	—	7	8
	Свыше 10	—	9	10

Окончание табл. Д.4

1	2	3	4	5
В приспособлении или тисках при установке вручную с креплением приспособления четырьмя болтами	1–5	—	9	10
	6–10	—	10	11
	Свыше 10	—	12	13
Сбоку стола или на весу с креплением болтами с планками	1–5	—	13	20
	6–10	—	15	22
	Свыше 10	—	17	24
На дополнительные приемы				
Установка дополнительного стола		—	3	3
Поворот стола на угол		—	2	2
Установка многошпindelной головки		—	20	25
Установка одного упора		1	1	1,5
Установка каждого дополнительного болта		—	13	20
На получение инструмента и приспособлений до начала и сдачу после окончания обработки	1–5	5	5	5
	Свыше 5	7	7	7

Таблица Д.5

**Нормативы подготовительно-заключительного времени при работе
на горизонтально и вертикально-фрезерных станках, мин**

Способ установки деталей и наименование дополнительных приемов	Длина стола станка, мм, до			
	750	1250	1800	2500
1	2	3	4	5
На наладку станка и установку приспособлений				
На столе с креплением болтами и планками	12	14	16	18
В тисках или патроне с креплением их четырьмя болтами	14	16	18	20
В центрах или в патроне с делительной головкой: в делительном приспособлении с креплением его четырьмя болтами в специальном приспособлении, устанавливаемом вручную и закрепляемом четырьмя болтами	17	19	21	23
	14	16	18	20

1	2	3	4	5
На установку фрез				
Установка фрез:				
1—2 шт.	2	2	2	2
3—4 шт.	4	4	4	4
5—6 шт.	6	6	6	6
На дополнительные приемы				
Установка двух стоек, придерживающих хобот	2	2	2	3
Установка шестерен для нарезки спиралей	3	4	4	5
Установка круглого стола	6	7	7	8
Установка копира	7	8	9	10
Поворот шпиндельной бабки на угол	2	2	2	3
Поворот стола на угол	1	1	1	2
Установка упора	2	3	3	4
Установка домкрата или распорки	2	2	2	3
Получение инструмента и приспособлений до начала и сдача их после обработки партии деталей	7	7	10	10

Таблица Д.6

**Нормативы подготовительно-заключительного времени
на зубо- и шлицеобрабатывающих станках, мин**

Способ установки детали и наименование дополнительных приемов	Наибольший модуль, нарезаемый на станке, мм, до	
	6	12
1	2	3
Зубофрезерные станки		
На наладку станка инструмента и приспособлений		
На оправке или переходной втулке с креплением в конусе стола гайкой	15	19
В центрах	21	26
Установка детали на оправке с подставкой и на подставках	40	40

1	2	3
На дополнительные приемы		
Настройка станка на нарезание зубчатых колес с наклонным зубом на станках: с дифференциалом без дифференциала	4 3	5 3,5
Настройка станка на нарезание зубчатых колес червячной фрезой методом протягивания или поперечной подачи	3	3,5
Смена оправки фрезы	2	3
Смена фрезерной головки	6	10
Шлицефрезерные станки		
На наладку станка, инструмента и приспособлений		
В центрах или цанговом патроне с центром		
На дополнительные приемы		
На установку и снятие люнета	4	
На смену оправки фрезы	4	
Шевинговальные станки		
На наладку станка, инструмента и приспособлений		
В центрах на оправке	13	
На дополнительные приемы		
На смену шевера	2,5	
На поворот бабки на угол	2	
Зубострогальные станки		
На оправке или в цанговом патроне: с регулировкой резцовых головок с установкой мерных прокладок для резцов	22 20	30 28
Зубофрезерные станки для конических колес с криволинейными зубьями		
На оправке или в цанговом патроне	30	
Зубозакругляющие станки		
На наладку станка инструмента и приспособлений		
На оправке	12,5	
В центрах	11	
На дополнительные приемы		
Смена копирного кулачка	4	

1	2	3
Зубодолбежные станки		
На наладку станка инструмента и приспособлений		
На оправке	18	22
В приспособлении	20	25
На дополнительные приемы		
На смену направляющих букс	5	6
На смену копира	4	5
На регулировку длины хода долбяка	6	8

Таблица Д.7

Нормативы подготовительно-заключительного времени на вертикально-и горизонтально-протяжных станках, мин

Содержание работы	Масса детали, кг, до				
	3	10	25	80	Свыше 80
На весь комплекс работ, связанных с подготовительно-заключительным временем	9	11	14	19	24

Таблица Д.8

Нормативы подготовительно-заключительного времени на круглошлифовальные станки, мин

Способ установки детали	Высота центров станка, мм, до	
	150	200
В центрах, в центрах на оправке	7	8
В самоцентрирующем патроне	10	11
В самоцентрирующем патроне и люнете	12	14
В четырехкулачковом патроне и люнете	14	16

Таблица Д.9

Нормативы подготовительно-заключительного времени для внутришлифовальных станков, мин

Способ установки детали	Наибольший диаметр шлифуемого отверстия, мм, до		
	130	260	500
1	2	3	4
В самоцентрирующем или цанговом патроне	7	9	11

1	2	3	4
В четырехкулачковом патроне	15	17	19
В специальном приспособлении для зубчатых колес	16	19	23
В специальном приспособлении, установленном: вручную	8	10	12
подъемником	—	13	15

Таблица Д.10

**Нормативы подготовительно-заключительного времени
для бесцентровых шлифовальных станков, мин**

Способ установки детали	Метод шлифования	Допуск на обработку, мм	
		до 0,03	свыше 0,03
На направляющем ноже	Шлифование напроход: со сметой направляющего ножа без смены направляющего ножа	17 11	15 9
	Шлифование врезанием с продольным упором: со сметой направляющего ножа без смены направляющего ножа	20 13	18 11
	Дополнительное время на каждый проход свыше одного	7	7

Таблица Д.11

**Нормативы подготовительно-заключительного времени
для плоскошлифовальных станков, мин**

Способ установки детали	Наибольшая длина рабочей поверхности стола или диаметр стола, мм, до	
	1000	
1	2	
Плоскошлифовальные станки с прямоугольным столом		
На магнитном столе	3	4
На столе станка с креплением болтами и планками	6	7

1	2	3
Плоскошлифовальные станки с круглым столом		
На магнитном столе	4	5
В приспособлении или в самоцентрирующем патроне, устанавливаемом на магнитном столе без крепления	6	7
В специальном приспособлении, установленном на столе станка с креплением болтами и планками	7,5	9
Дополнительное время на установку и снятие магнитной плиты	3,5	5

Таблица Д.12

Нормативы подготовительно-заключительного времени

Условия обработки и установки детали	Время, мин
Зубошлифовальные станки	
Обрабатываемые по 7-й степени точности: двумя тарельчатыми кругами методом обкатки дисковым кругом методом обкатки	120 160
Обрабатываемые по методу копирования	180
Шлицешлифовальные станки	
Шлифование фасонным кругом внутренней и боковых поверхностей в центрах или в цанговом патроне с поджатием центром	23
Шлифование боковых поверхностей двумя цилиндрическими кругами в центрах или в цанговом патроне с поджатием центром	18
Шлифование боковых поверхностей двумя коническими кругами в центрах или в цанговом патроне с поджатием центром	20
Хонинговальные станки	
Для всех условий установки и обработки	5
Суперфинишные станки	
Для всех случаев обработки и установки	10

Справочные данные к задачам по проектированию операций механической обработки

Таблица E.1

Ключевые слова технологических переходов и их условные коды

Код	Ключевое слово	Код	Ключевое слово	Код	Ключевое слово
04	Гравировать	20	Приработать	82	Настроить
05	Довести	21	Протянуть	83	Переустановить
06	Долбить	22	Развернуть	84	Переустановить и закрепить
07	Закруглить	25	Рассверлить	85	Переустановить, выверить и закрепить
08	Заточить	26	Расточить	86	Переместить
09	Затыловать	27	Сверлить	87	Поджечь
10	Зенкеровать, зенковать	29	Суперфинишировать	88	Проверить
12	Накатать	30	Точить	89	Смазать
13	Нарезать	31	Хонинговать	90	Снять
14	Обкатать	33	Шлифовать	91	Установить
15	Опилить	34	Цековать	92	Установить и выверить
16	Отрезать	35	Центровать	93	Установить и закрепить
17	Подрезать	36	Фрезеровать	94	Установить, выверить и закрепить
18	Полировать	80	Выверить		
19	Притирать	81	Закрепить		

Таблица E.2

Наименование предметов производства, обрабатываемых поверхностей и конструктивных элементов

Код	Наименование	Код	Наименование	Код	Наименование
001	Буртик	013	Канавки	025	Пружины
002	Буртики	014	Контур	026	Резьба
003	Выточка	015	Конус	027	Рифление
004	Выточки	016	Лыска	028	Ступень
005	Галтель	017	Лыски	029	Сфера
006	Галтели	018	Отверстие	030	Торец
007	Деталь	019	Отверстия	031	Торцы
008	Детали	020	Паз	032	Фаска
009	Заготовка	021	Пазы	033	Фаски
010	Зуб	022	Поверхность	034	Червяк
011	Зубья	023	Поверхности	035	Цилиндр
012	Канавка	024	Пружина		

Таблица Е.3

Сведения о материале шлифовального круга (круглое наружное шлифование)

Обрабатываемый материал	Термическая обработка	Абразивный материал	Зернистость		Твердость						Связка
					Шлифование						
			предварительное	окончательное	предварительное		окончательное		врезное	продольное	
					врезное	продольное	врезное	продольное			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Углеродистая сталь	Незакаленная	14А, 15А, 16А	50...40	40-25	СТ2-СТ3	С2-СТ1	С2-СТ1	С1-С2	К		
	Закаленная	23А, 24А, 25А	40	25	С1-С2	СМ2-С2	С1-С2	СМ2-С1	К		
Высоко-углеродистая сталь	Незакаленная	14А, 5А, 16А	50...40	40...25	СТ1-СТ2	С2-СТ1	С2-СТ1	С1-С2	К		
	Закаленная	23А, 24А, 25А	40...25	40...25	С1-С2	СМ2-С1	СМ2-С1	СМ1-СМ2	К		
Марганцовистая сталь	Незакаленная	14А, 15А, 16А	50	25	С2-СТ1	СТ1	С2-СТ1	С2	К		
	Закаленная	14А, 5А, 16А	50...40	40...25	СТ1-СТ3	С2-СТ1	С2	СМ2-С1	К		
Хромистая сталь	Незакаленная	23А, 24А, 25А	40	25	С2-СТ1	С1-С2	С1-СТ1	СМ2-С1	К		
	Закаленная	14А, 15А, 16А	50	40...25	СТ1-СТ2	С1-С2	С2	С1	К		
Никелевая сталь	Незакаленная	23А, 24А, 25А	40	25	С1-С2	СМ2-С1	СМ2	СМ2-С1	К		
	Закаленная	14А, 15А, 16А	40	25	С1-С2	СМ2-С1	СМ2	СМ2-С1	К		

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Хромникелевая сталь	Закаленная	14A, 15A, 16A	50...40	40...25	CT1-CT3	CT1-CT2	C2	C1-C2	K
	Незакаленная	23A, 24A, 25A	40	25	C1-C2	C2-CT1	CM2-C1	C1-CT1	K
Чугун	Серый	52C-55C	50...40	25	C2-CT1	C1-C2	CM2-C2	CM2-C1	K
	Перлитный	14A, 15A, 16A	50	25	C1-C2	CM2-C1	CM2-C1	CM1-CM2	K
	Белый	52C-55C	80...50	40...25	C1-C2	CM2-C1	C1-C2	CM2-C1	K
	Ковкий	14A-16A	40	25	CT3	CT1-CT2	CT1	C2	K
Алюминий	—	52C-55C	50	25	CM1-CM2	M3-CM1	CM1-CM2	M3-CM1	K
Мель	—	52C-55C	50...40	25...16	CM2-C1	CM1-CM2	CM2-C1	CM1-CM2	Б
Латунь	—	52C-55C	50...40	25	CM2-C1	CM1-CM2	CM2-C1	CM1-CM2	K
Бронза	Мягкая	52C-55C	80...50	40...25	CM2	CM1	CM1-CM2	M3-CM1	K
	Твердая	52C-55C; 14A-6A	50...40	25...16	CM2-C1	CM1-CM2	CM2-C1	CM2	K

Таблица Е.4

Виды шлифовальных кругов, используемых при наружном круглом шлифовании

Тип и форма	Обозначение	Применение
Плоские прямого профиля	ПП	Круглое наружное, внутреннее и бесцентровое шлифование, плоское шлифование периферией круга, заточка
Плоские с выточкой	ПВ	Круглое шлифование, когда зажимные фланцы могут помешать подведению круга к месту обработки. ПВ используют также для ведущих кругов бесцентрового шлифования
Плоские с двусторонней выточкой	ПВД	
Плоские с конической выточкой	ПВК	Круглое шлифование с подрезкой торца обрабатываемой детали
Плоские с двусторонней конической выточкой	ПВДК	Круглое шлифование с подрезкой торца обрабатываемой детали

Таблица Е.5

Характеристики фрезерных станков

Модель	Тип	Размер рабочей поверхности стола (ширина × длина)	Наибольшее перемещение стола		
			продольное	поперечное	вертикальное
1	2	3	4	5	6
6Т104	Вертикальный	160×630	400	160	320
6Р10	То же	160×630	500	160	300
6Р11	>>	250×1000	630	200	350

1	2	3	4	5	6
6P11Ф3—1	>>	250×1000	630	300	350
6P12	>>	320×1250	800	280	420
6P13	>>	400×1600	1000	300	420
6P13Ф3	>>	400×1600	1000	400	380
6520Ф3	>>	250×630	500	250	350
6540	>>	400×1000	800	400	430
6550	>>	500×1250	1000	500	530
6550Ф3	>>	500×1000	800	500	530
6560	>>	630×1600	1250	630	625
654Ф3	>>	630×1600	1250	630	625
6A56	>>	800×2000	1600	800	800
6A59	>>	1000×2500	2000	1000	900
6P80Ш	Горизонтальный	200×800	500	160	300
6P81	То же	250×1000	630	200	320
6P81Ш	>>	250×1000	630	200	350
6P82Г	>>	320×1250	800	250	420
6P82Ш	>>	320×1250	800	250	420
6P83	>>	400×1600	1000	320	350
6P83Ш	>>	400×1600	1000	320	420

Таблица Е.6

**Параметры шероховатости поверхности и точность обработки
при различных видах фрезерования**

Фреза	Вид фрезе- рования	Параметр режима резания		Параметр шероховато- сти, мкм		Квалитет
		t , мм	S_z , мм/зуб.	Ra	Rz	
1	2	3	4	5	6	7
Цилин- дриче- ская	Черно- вое	Свыше 2	0,02...0,2	25...50	100...200	12—14(11)-й
	Чисто- вое	До 2	0,04...0,3	3,2*...6,3	12,5...25	11(10)-й
	Отде- лочное	До 0,5	0,04...0,05	0,63...1,6	—	8(7)-й; 9-й

1	2	3	4	5	6	7
Торцовая	Черное	Свыше 2	0,15...0,2	6,3...12,5	25...50	12–14(11)-й
	Чистое	До 2	0,2...0,3	3,2*(1,6)...6,3	12,5...25	11(10)-й
	Отделочное	До 0,5	0,04...0,05	0,8...1,6	—	8(7)-й; 9-й

Примечание. Параметры шероховатости указаны для сталей; заготовки из сплавов на медной основе после фрезерования имеют такие же шероховатости; при обработке чугунов, алюминия и алюминиевых сплавов параметры шероховатости соответствуют меньшим значениям, представленным в таблице; в круглых скобках указаны предельно достижимые значения параметра *Ra* и качества.

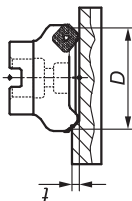
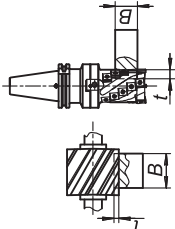
*Средние значения параметра *Ra* для данного вида обработки.

Таблица Е.7

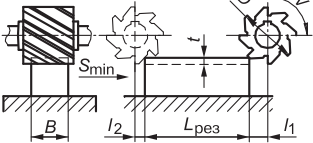
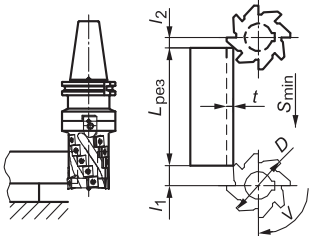
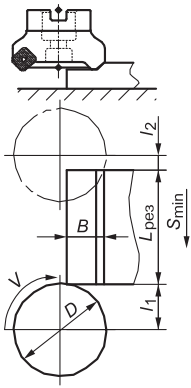
Основные размеры стандартных фрез

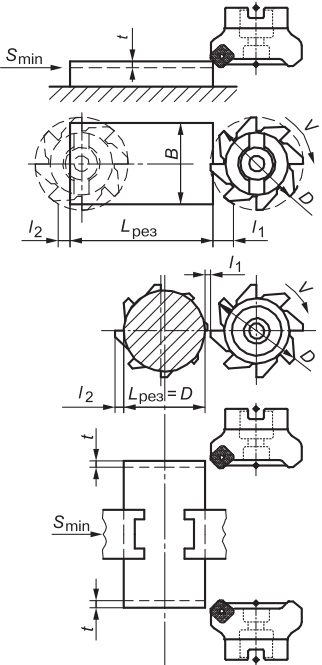
Фрезы	ГОСТ	Наружный диаметр, мм (число зубьев)
Цилиндрические фрезы		
Концевые	4675–71	25 (5); 32 (5); 40 (6); 50 (6); 63 (8); 80 (10)
Насадные		63 (10); 70 (12); 85 (14); 100 (16); 125 (16)
Торцовые фрезы		
Цельные насадные: с мелкими зубьями	9304–69	40 (10); 50 (12); 63 (14); 80 (16) 100 (18)
с крупными зубьями		
Сборные насадные со вставными ножами, оснащенными твердым сплавом: с крупными зубьями	24359–80	100 (8); 125 (8); 160 (10); 200 (12); 250 (14); 315 (18); 400 (20); 500 (26); 630 (30)
с мелкими зубьями	9473–80	100 (10); 125 (12); 160 (16); 200 (20); 250 (24); 315 (30); 400 (36); 500 (44); 630 (52)
Дисковые фрезы трехсторонние		
Из твердого сплава	5348–69	100 (8); 125 (10); 160 (12); 200 (14); 250 (18); 315 (20)

Рекомендуемые скорости резания при фрезеровании стальных заготовок

Тип фрезы	Материал инструмента	Глубина резания, мм	Скорость резания, м/мин, при подаче S_z , мм/зуб.							
			0,04	0,06	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5
 Торцовая	Быстрорежущая сталь	До 1	62	56	52	44	38	34	30	27
		3	56	52	46	40	36	30	27	25
		6	52	48	44	37	33	28	25	23
 Цилиндрическая и концевая	Твердый сплав	До 1	400	380	320	270	240	200	—	—
		3	360	340	280	240	210	180		
		6	330	320	260	220	200	170		
	Быстрорежущая сталь	40	50	47	42	38	34	28	24	21
		60	48	45	40	36	33	26	23	20
		100	46	43	38	34	30	25	21	19

Расчет основного времени

Вид операции	Формула
1	2
Фрезерование плоских поверхностей цилиндрическими фрезами 	$t_0 = \frac{L_{рез} + l_1 + l_2}{S_{мин}} i;$ $l_1 = \sqrt{t(D-t)} + 2;$ $l_2 = 2 - 5$
Фрезерование уступа концевыми фрезами 	$T_0 = \frac{L_{рез} + l_1 + l_2}{S_{мин}} i;$ $l_1 = \sqrt{t(D-t)} + 2;$ $l_2 = 2 - 5$
Фрезерование плоских поверхностей торцовыми и концевыми фрезами; несимметричное фрезерование 	$t_0 = \frac{L_{рез} + l_1 + l_2}{S_{мин}} i;$ $l_1 = \sqrt{B(D-B)} + 2;$ $l_2 = 1 - 4$

1	2
Фрезерование плоских поверхностей торцовыми и концевыми фрезами; симметричное фрезерование 	$t_0 = \frac{L_{\text{рез}} + l_1 + l_2}{S_{\text{min}}} i;$ $l_1 = 0,5 \left(D - \sqrt{D^2 - B^2} \right) + 2 \text{ (1-я схема);}$ $l_1 = 0,5 - 3 \text{ (2-я схема);}$ $l_2 = 1 - 6$

Приложение Ж

**Справочные данные к задачам по проектированию
технологических процессов сборки**

Таблица Ж.1

Количество единиц допуска в допуске качества точности (ГОСТ 25347–82)

Квалитет точности	Количество единиц допуска	Квалитет точности	Количество единиц допуска
1	2	1	2
5-й	7	12-й	160
6-й	10	13-й	250

1	2	1	2
7-й	16	14-й	400
8-й	25	15-й	640
9-й	40	16-й	1000
10-й	64	17-й	1600
11-й	100		

Таблица Ж.2

Значения коэффициента t

Процент риска P	32,00	10,00	4,50	1,00	0,27	0,10	0,01
Коэффициент t	1,00	1,65	2,00	2,57	3,00	3,29	3,89

Таблица Ж.3

Значения коэффициентов C_1 и C_2

$\frac{d_1}{d} = \frac{d}{d_2}$	$\mu_1 = \mu_2 = 0,3$		$\mu_1 = \mu_2 = 0,25$	
	C_1	C_2	C_1	C_2
0,002	0,7	$\sim 1,3^*$	0,75	$\sim 1,25^*$
0,1	0,72	1,32	0,77	1,27
0,2	0,78	1,38	0,83	1,33
0,3	0,89	1,49	0,95	1,45
0,4	1,08	1,68	1,13	1,63
0,5	1,37	1,97	1,42	1,92
0,6	1,83	2,43	1,88	2,37
0,7	2,62	3,22	2,67	3,17
0,8	4,25	4,85	4,30	4,80
0,9	9,23	9,83	9,28	9,78

*При $d_2 > d$.

Таблица Ж.4

Модули упругости E и коэффициенты Пуассона μ

Материал	E , Н/м ²	μ
1	2	3
Сталь и стальное литье	$(1,96...2,00) \cdot 10^{11}$	0,3
Чугунное литье	$(0,74...1,05) \cdot 10^{11}$	0,25

1	2	3
Бронза	$0,84 \cdot 10^{11}$	0,35
Латунь	$0,78 \cdot 10^{11}$	0,38
Пластмассы	$(0,005...0,35) \cdot 10^{11}$	

Таблица Ж.5

Минимально необходимые зазоры $S_{сб}$ (минимальные зазоры посадки Н7/г6)

Интервал размеров, мм	$S_{сб}$, мм	Интервал размеров, мм	$S_{сб}$, мм
До 3	0,002	Свыше 80 до 120	0,012
Свыше 3 до 6	0,004	Свыше 120 до 180	0,014
Свыше 6 до 10	0,005	Свыше 180 до 250	0,015
Свыше 10 до 18	0,006	Свыше 250 до 315	0,017
Свыше 18 до 30	0,007	Свыше 315 до 400	0,018
Свыше 30 до 50	0,009	Свыше 400 до 500	0,020
Свыше 50 до 80	0,010		

Таблица Ж.6

Коэффициенты линейного расширения α металлов и сплавов

Материал	α , град ⁻¹	Материал	α , град ⁻¹
Сталь незакаленная	$11,5 \cdot 10^{-6}$	Латунь	$(17...21) \cdot 10^{-6}$
Сталь закаленная	$12,0 \cdot 10^{-6}$	Дюралюминий	$22,6 \cdot 10^{-6}$
Чугун	$(10...11,4) \cdot 10^{-6}$	Титановые сплавы	$8,4 \cdot 10^{-6}$
Бронза	$17,5 \cdot 10^{-6}$	Цинковые сплавы	$27,7 \cdot 10^{-6}$

Таблица Ж.7

Основные размеры радиальных шарикоподшипников

Обозначение подшипника	Размеры, мм				Обозначение подшипника	Размеры, мм			
	D	d	r	B		D	d	r	B
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Легкая серия					310	110	55	3	27
210	90	50	2	20	311	120	55	3	29
211	100	55	2,5	21	312	130	60	3,5	31

1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
212	110	60	2,5	22	313	140	65	3,5	33
213	120	65	2,5	23	314	150	70	3,5	35
214	125	70	2,5	24	315	160	75	3,5	37
215	130	75	2,5	25	316	170	80	3,5	39
215	140	80	3	26	317	180	85	4	41
217	150	85	3	28	318	190	90	4	43
218	160	90	3	30	319	200	95	4	45
219	170	95	3,5	32	320	215	100	4	47
220	180	100	3,5	34	Тяжелая серия				
Средняя серия					404	72	20	2	19
304	52	20	2	15	405	80	25	2,5	21
305	62	25	2	17	406	90	30	2,5	23
306	72	30	2	19	407	100	35	2,5	25
307	80	35	2,5	21	408	110	40	3	27
308	90	40	2,5	23	409	120	45	3	29
309	100	45	2,5	25	410	130	50	3,5	31

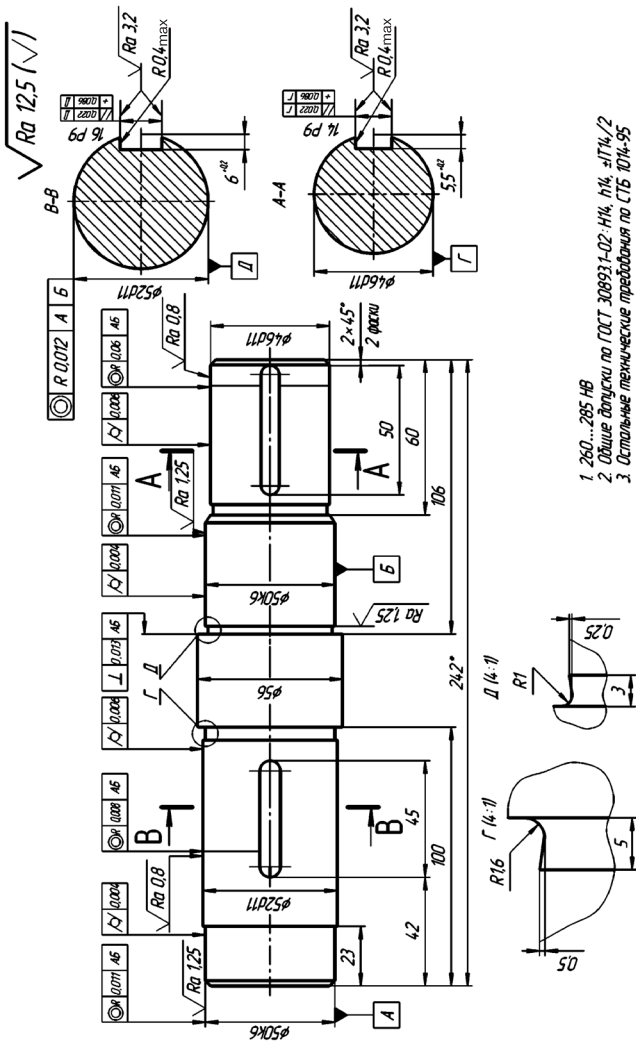
Таблица Ж.8

Предельные отклонения внутренних колец подшипников по ГОСТ 520–89

Интервал диаметров d , мм	Класс точности подшипника				Интервал диаметров d , мм	Класс точности подшипника			
	0-й	6-й	5-й	4-й		0-й	6-й	5-й	4-й
	Нижнее предельное отклонение, мкм					Нижнее предельное отклонение, мкм			
Свыше 2,5 до 10	–8	–7	–5	–4	Свыше 50 до 80	–15	–12	–9	–7
Свыше 10 до 18	–8	–7	–5	–4	Свыше 80 до 120	–20	–15	–10	–8
Свыше 18 до 30	–10	–8	–6	–5	Свыше 120 до 180	–25	–18	–13	–10
Свыше 30 до 50	–12	–10	–8	–6					

Примечание. Верхние предельные отклонения (ES) равны нулю.

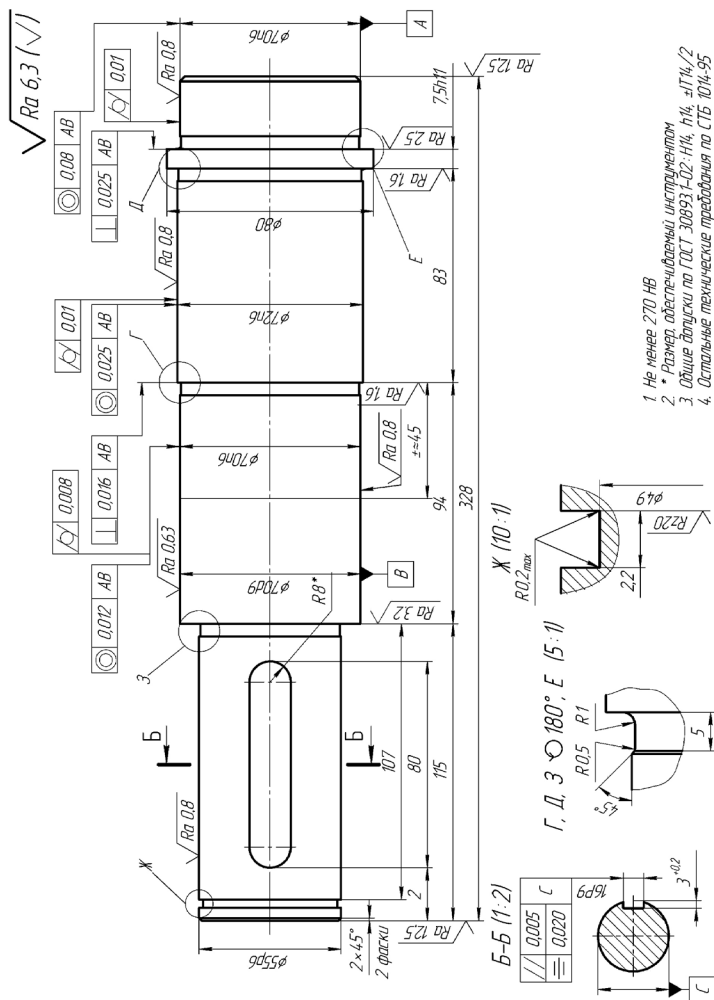
Чертежи деталей к практическим занятиям



1. 260...285 НВ
2. Общие допуски по ГОСТ 30893-1-02 Н14, h14, $\pm IT14/2$
3. Остальные текстовые требования по С116 1014-95

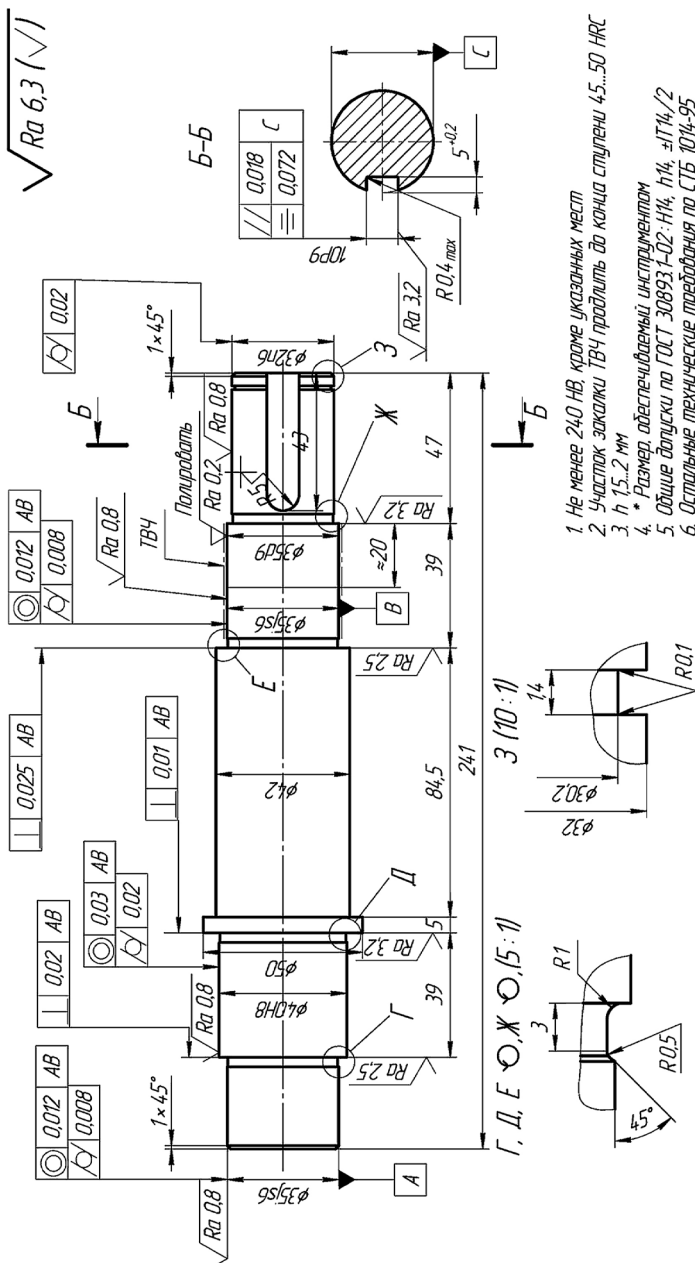
Рис. 3.1. Вал промежуточный (материал — сталь 45)

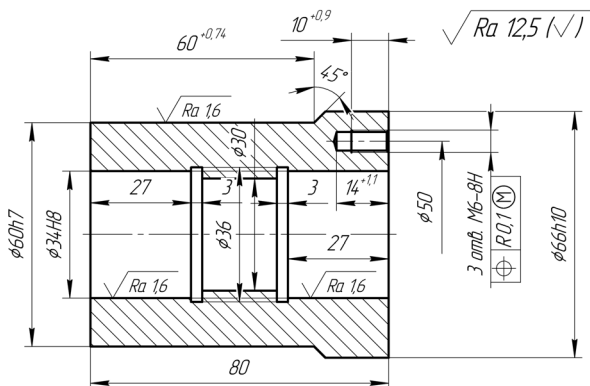
Рис. 3.3. Вал (материал – сталь 45)



1. Не менее 270 HB
2. * Размер обработанный инструментом
3. Общие допуски по ГОСТ 30893-1-02: H14, h14, $\pm 14/2$
4. Остальные технические требования по СТБ 1014-95

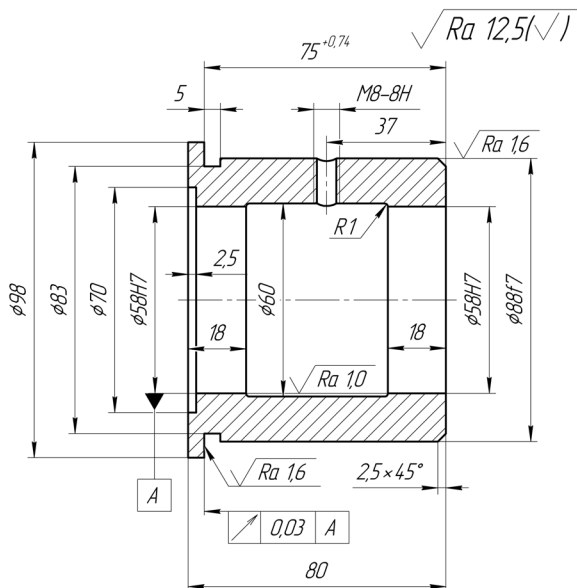
Рис. 3.5. Вал (материал — сталь 45)





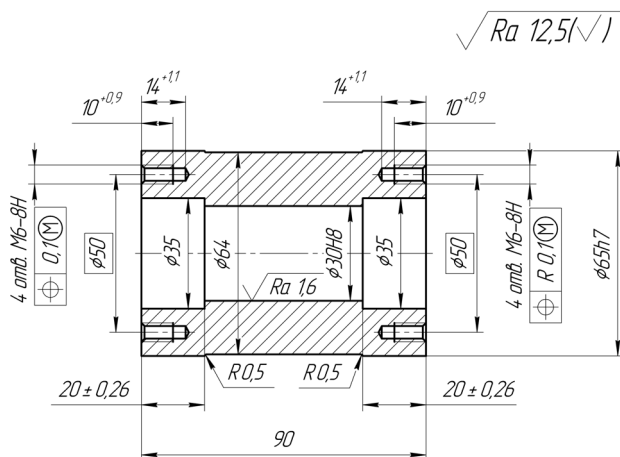
1. 177...229HB
2. Общие допуски по ГОСТ 30893-02: $h14$, H14, IT14/2
3. Остальные требования по СТБ 1014-95

Рис. 3.8. Втулка (материал — сталь 45)



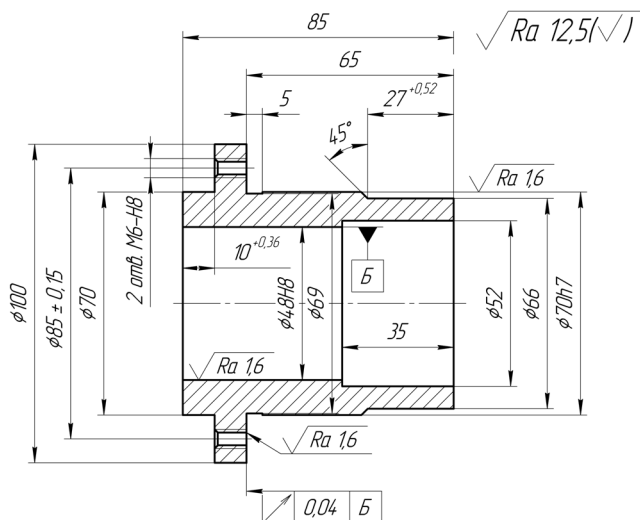
1. 177...229 HB
2. Общие допуски по ГОСТ 30893-02: $h14$, H14, IT14/2
3. Остальные требования по СТБ 1014-95

Рис. 3.9. Стакан (материал — сталь 35)



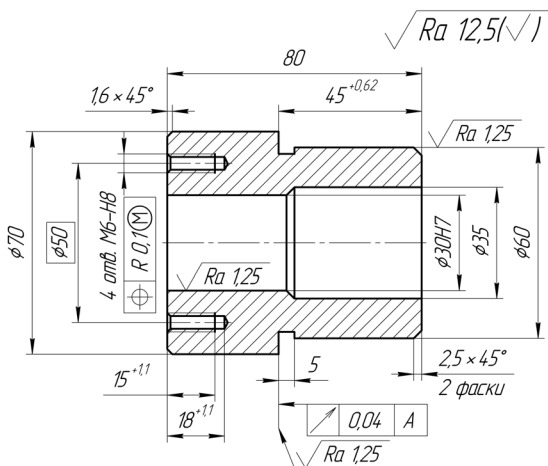
1. 177...229 HB
2. Общие допуски по ГОСТ 30893-02: h14, H14, $\pm IT14/2$
3. Остальные требования по СТБ 1014-95

Рис. 3.10. Втулка (материал — сталь 45)



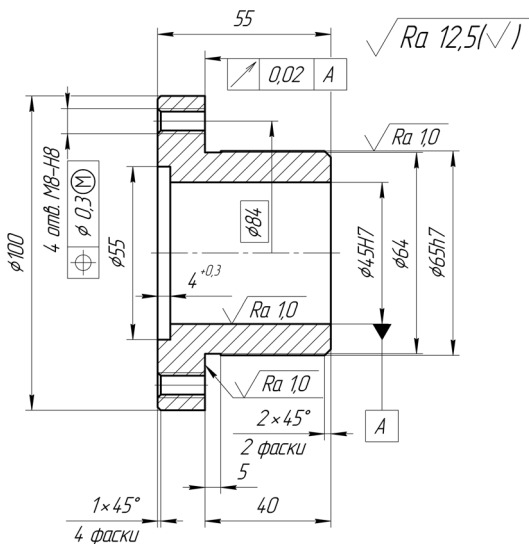
1. 177...229 HB
2. Общие допуски по ГОСТ 30893.1-02: h14, H14, $\pm IT14/2$
3. Остальные требования по СТБ 1014-95

Рис. 3.11. Стакан (материал — сталь 40X)



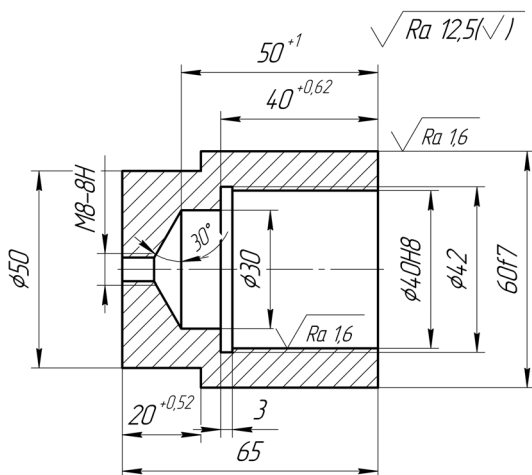
1. 177..229 HB
2. Общие допуски по ГОСТ 30893.1-02: h14, H14, ±IT14/2
3. Остальные требования по СТБ 1014-95

Рис. 3.12. Втулка (материал — сталь 45)



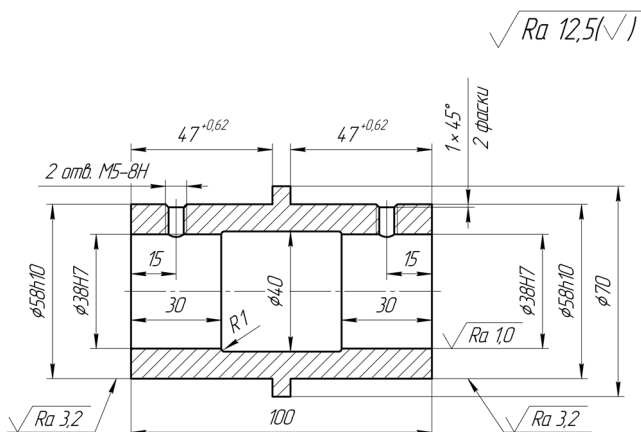
1. 177..229 HB
2. Общие допуски по ГОСТ 30893.1-02: h14, H14, ±IT14/2
3. Остальные требования по СТБ 1014-95

Рис. 3.13. Стакан (материал — сталь 45X)



1. 177...229 HB
2. Общие допуски по ГОСТ 30893.1-02: $h14$, $H14$, $\pm IT14/2$
3. Остальные требования по СТБ 1014-95

Рис. 3.14. Втулка (материал – сталь 50)



1. 177...229 HB
2. Общие допуски по ГОСТ 30893.1-02: $h14$, $H14$, $\pm IT14/2$
3. Остальные требования по СТБ 1014-95

Рис. 3.15. Стакан (материал – сталь 45)

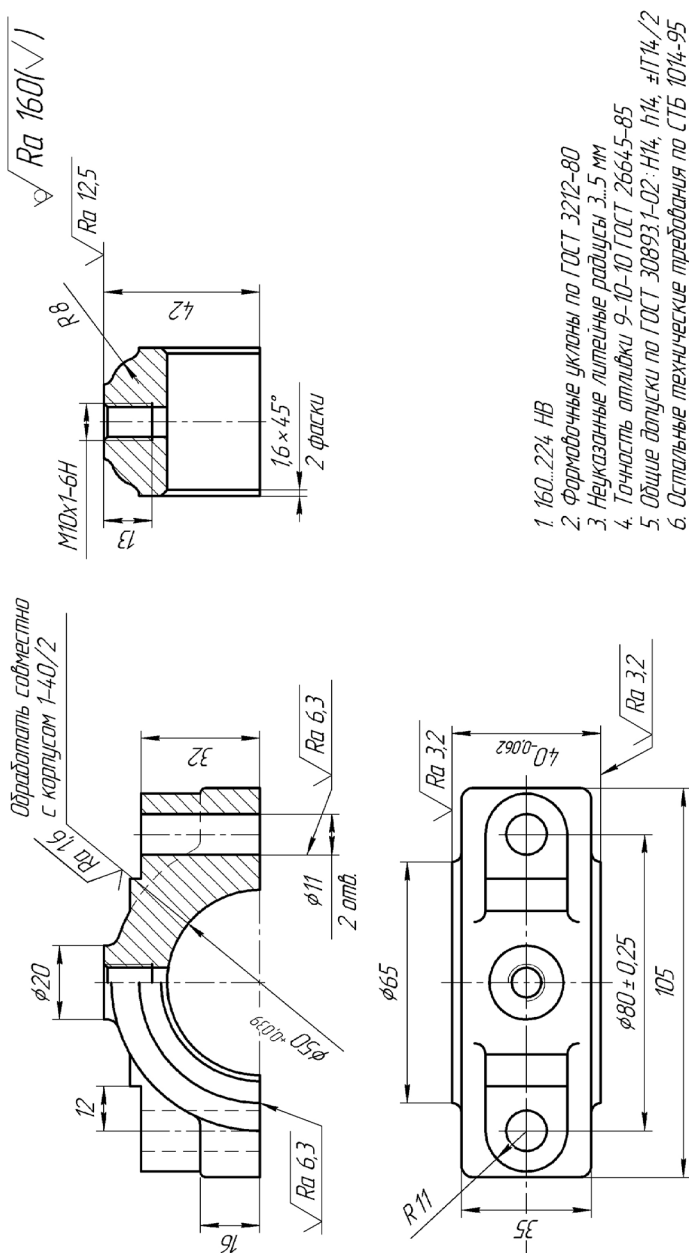
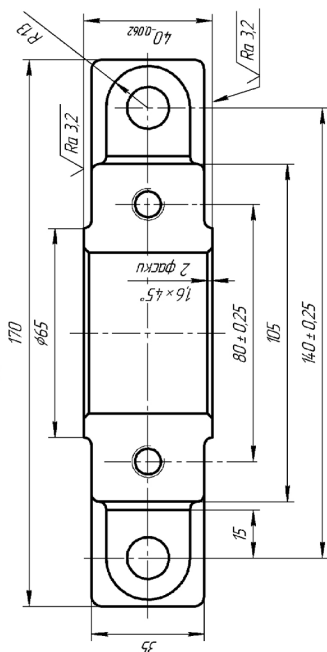
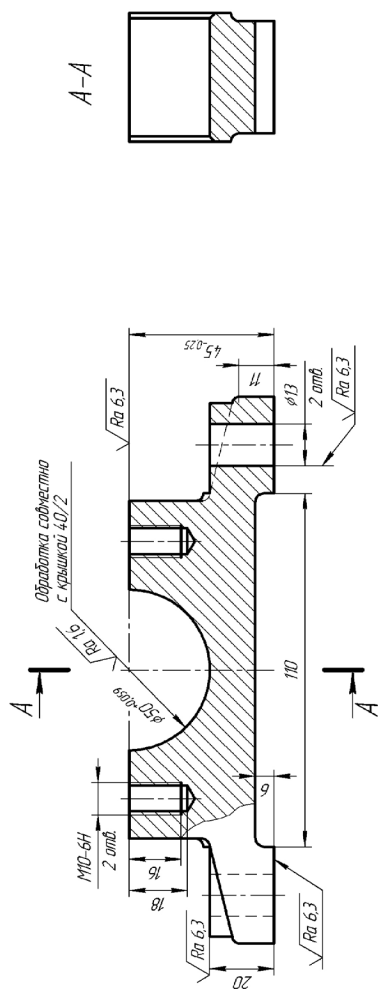


Рис. 3.16. Крышка подшипника 40/2 (материал — чугун СЧ15)

$\sqrt{Ra\ 160\ (\sqrt{1})}$



1. 160..224 НВ
2. Формовочные уклены по ГОСТ 3212-80
3. Неказанные линейные радиусы 3..5 мм
4. Точность отливки 9-10-ГОСТ 26645-85
5. Общие допуски по ГОСТ 30893-02: Н14, н14, +IT14/2
6. Остальные требования по С15 1014-95

Рис. 3.17. Корпус подшипника 1—40/2 (материал — чугун СЧ15)

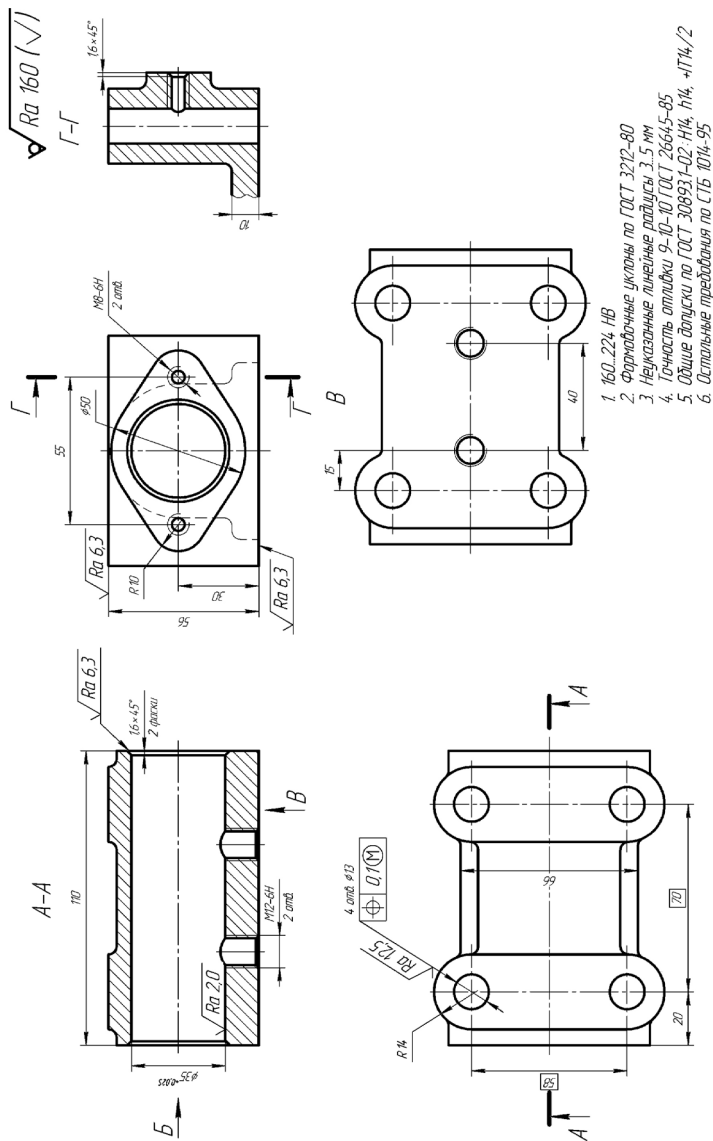


Рис. 3.19. Корпус (материал — СЧ15)

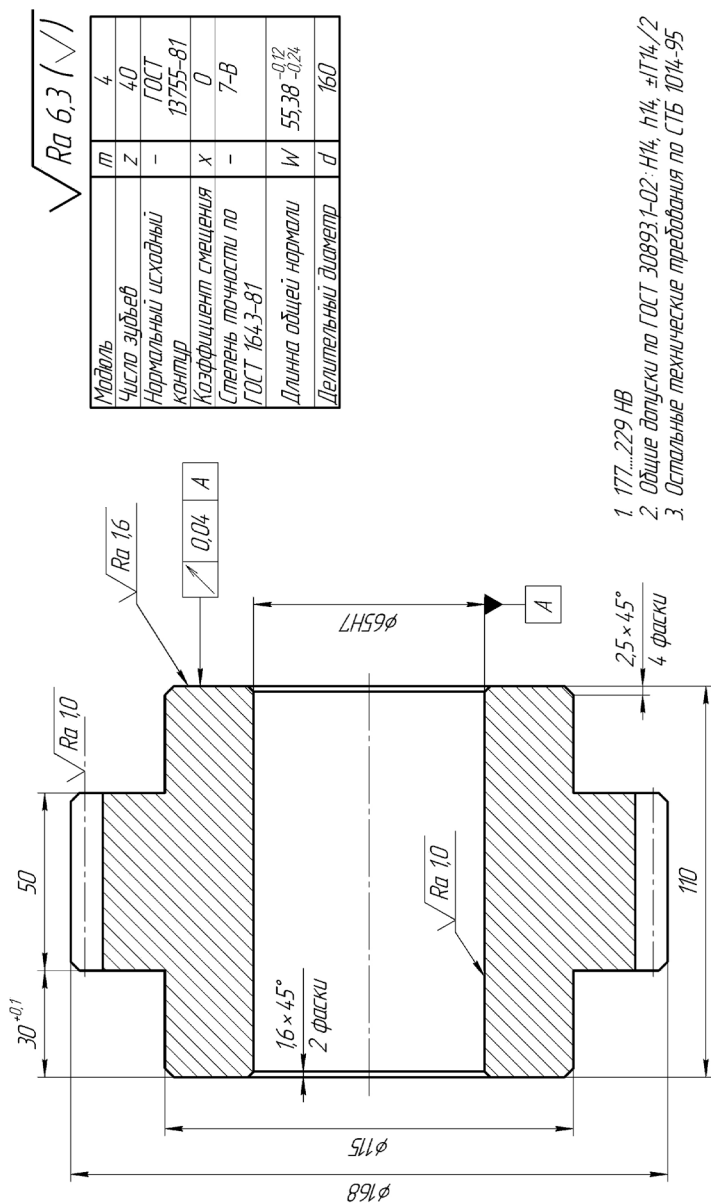
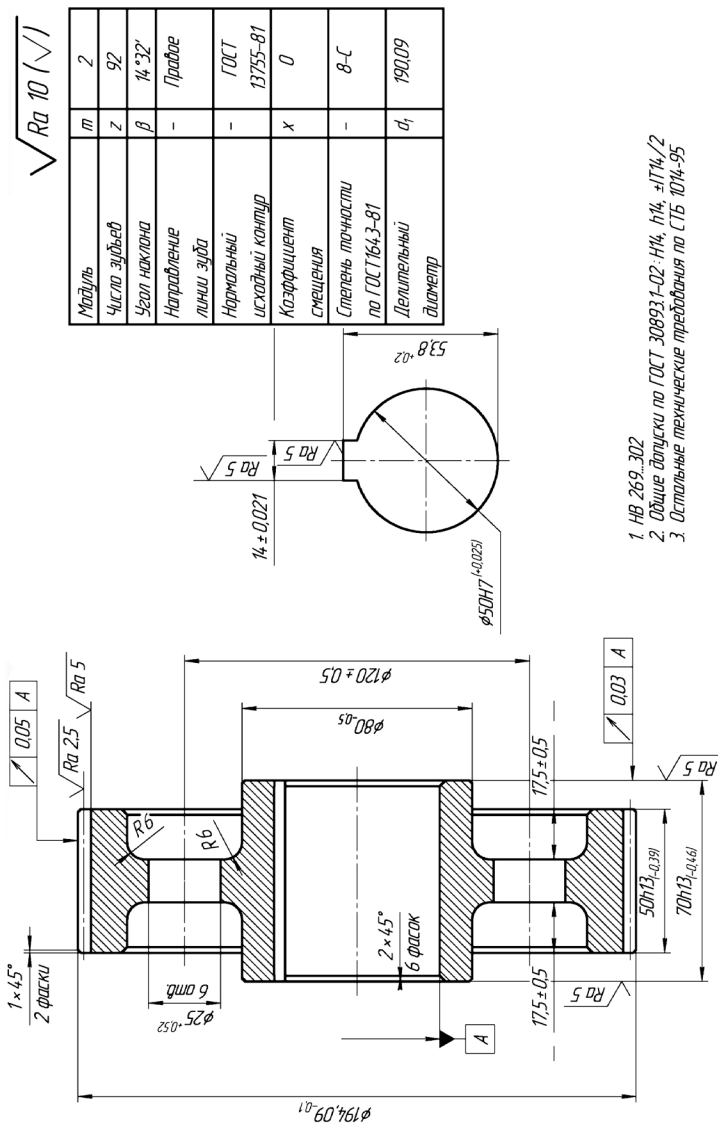
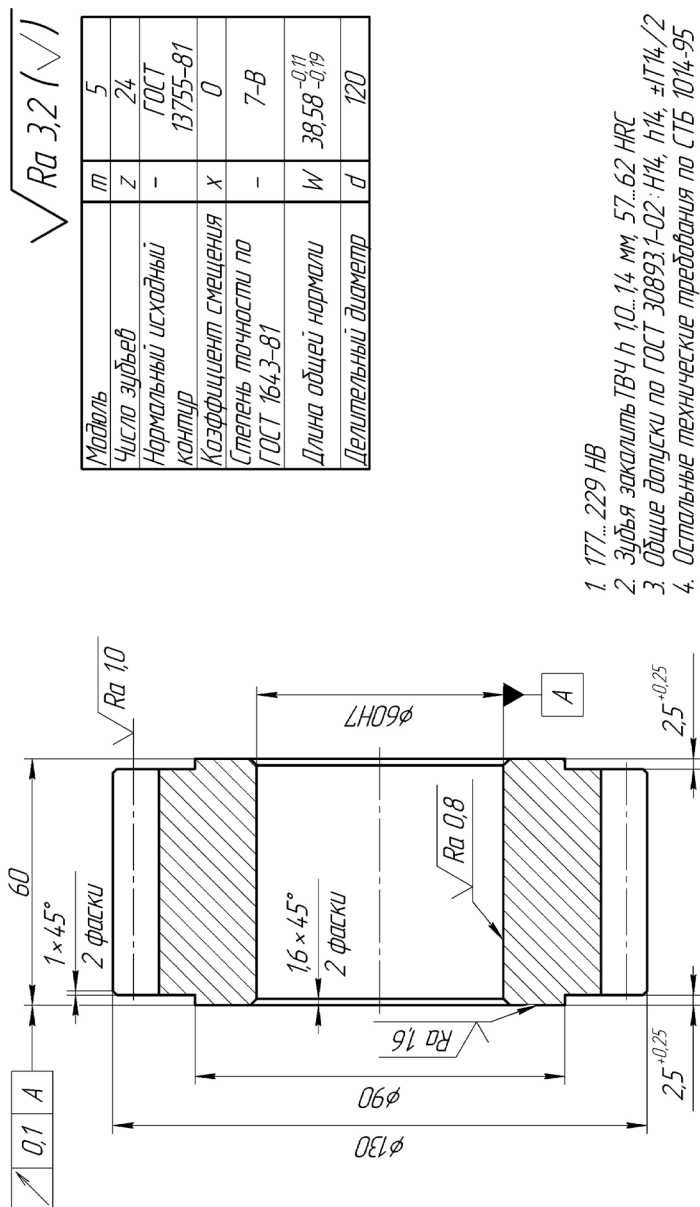


Рис. 3.20. Колесо зубчатое (материал — сталь 45)



1. НВ 269-302
2. Общие допуски по ГОСТ 30893.1-02 НЧ, н14, н14/2
3. Остальные технические требования по СТБ 1014-95

Рис. 3.21. Колесо (материал — сталь 40Х)

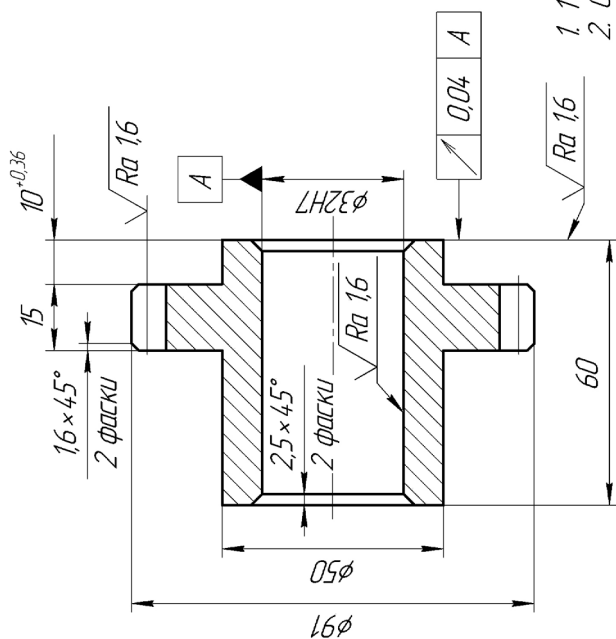


✓ Ra 3,2 (✓)

Модуль	m	5
Число зубьев	z	24
Нормальный исходный контур	-	ГОСТ 13755-81
Коэффициент смещения	x	0
Степень точности по ГОСТ 1643-81	-	7-B
Длина общей нормали	W	38,58 ^{+0,11} _{-0,19}
Делительный диаметр	d	120

1. 177. 229 HB
2. Зубья закалить ТВЧ h 10.14 мм 57...62 HRC
3. Общие допуски по ГОСТ 30893.1-02: H14, h14, ±IT14/2
4. Остальные технические требования по СТБ 1014-95

Рис. 3.22. Шестерня (материал — сталь 25ХГТ)



1. 177...229 HB

2. Общие допуски по ГОСТ 30893.1-02: H14, h14, ±IT14/2

3. Остальные технические требования по СТБ 1014-95

✓ Ra 6,3 (✓)

Модуль	m	3,5
Число зубьев	z	24
Нормальный исходный контур	-	ГОСТ 13755-81
Коэффициент смещения	x	0
Степень точности по ГОСТ 1643-81	-	7-С
Длина общей нормали	W	27,00 ^{-0,07} _{-0,14}
Делительный диаметр	d	84

Рис. 3.24. Колесо зубчатое (материал — сталь 50)

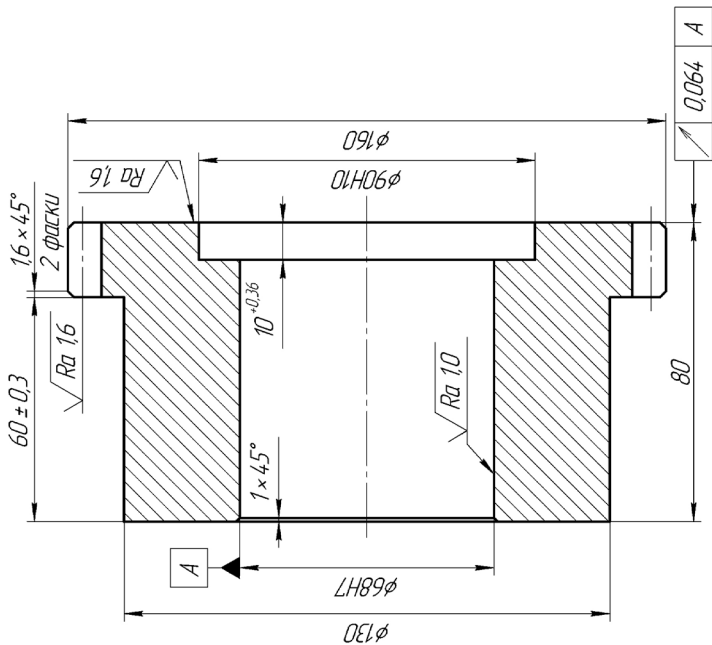


Рис. 3.25. Колесо зубчатое (материал — сталь 12 ХНЗА)

$\sqrt{Ra\ 6,3\ (\checkmark)}$

Модуль	m	4
Число зубьев	z	36
Нормальный исходный контур	—	ГОСТ 13755-81
Коэффициент смещения	x	0
Степень точности по ГОСТ 1643-81	—	8-Д
Длина общей нормали	W	55,27 ^{+0,05} _{-0,15}
Делительный диаметр	d	152

1. 177...229 HB
2. Зубья закалить ТВЧ h 10...14 мм 57...62 HRC
3. Общие допуски по ГОСТ 30893.1-02; H14, h14, ±IT14/2
4. Остальные технические требования по СТБ 1014-95

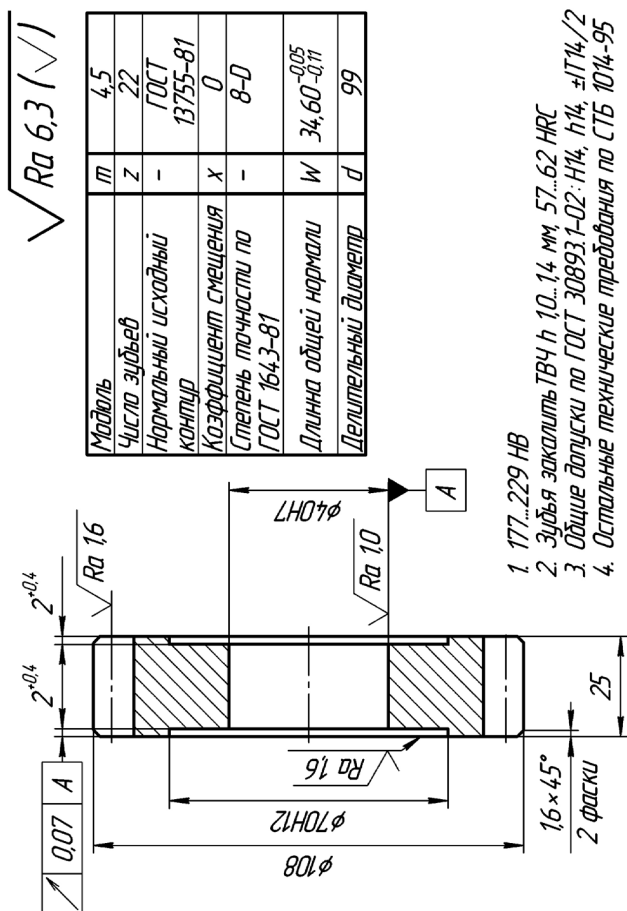


Рис. 3.26. Шестерня (материал – сталь 18ХГТ)

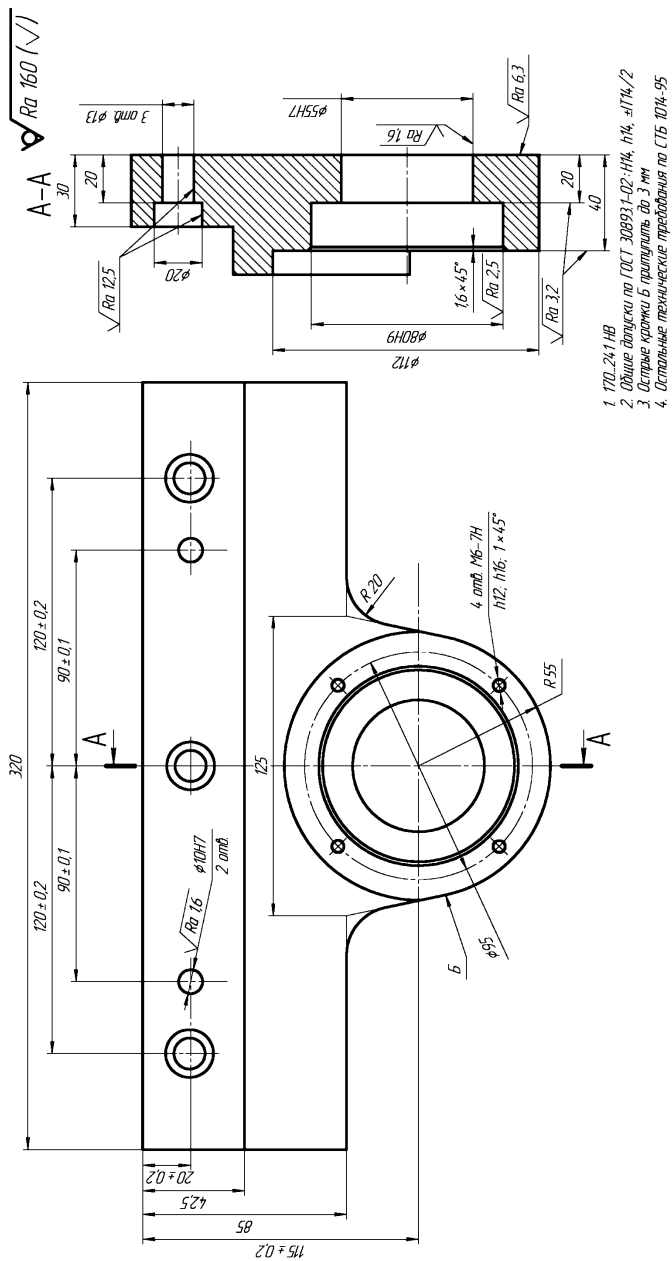
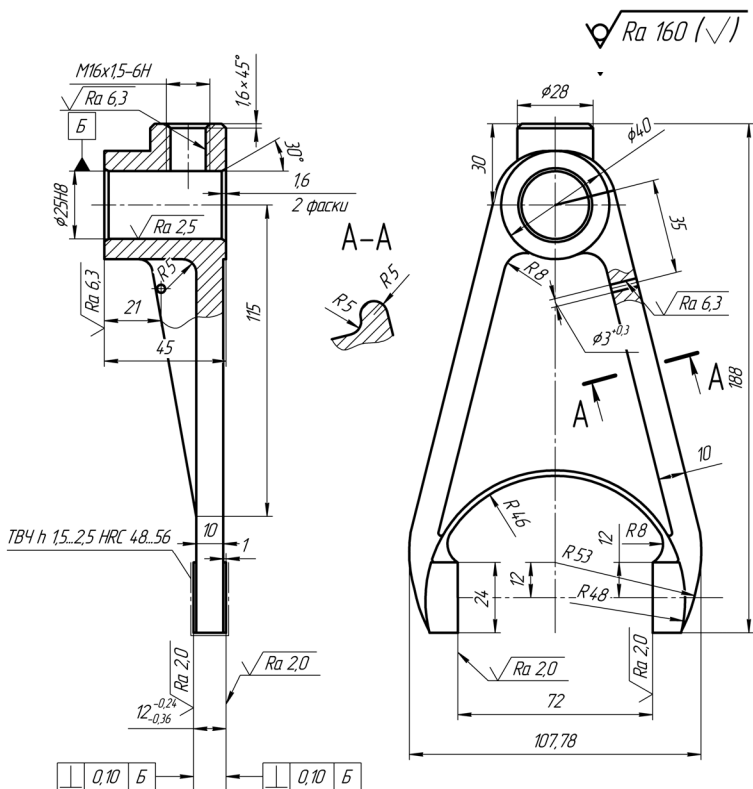


Рис. 3.28. Кронштейн (материал – чугун СЧ20)

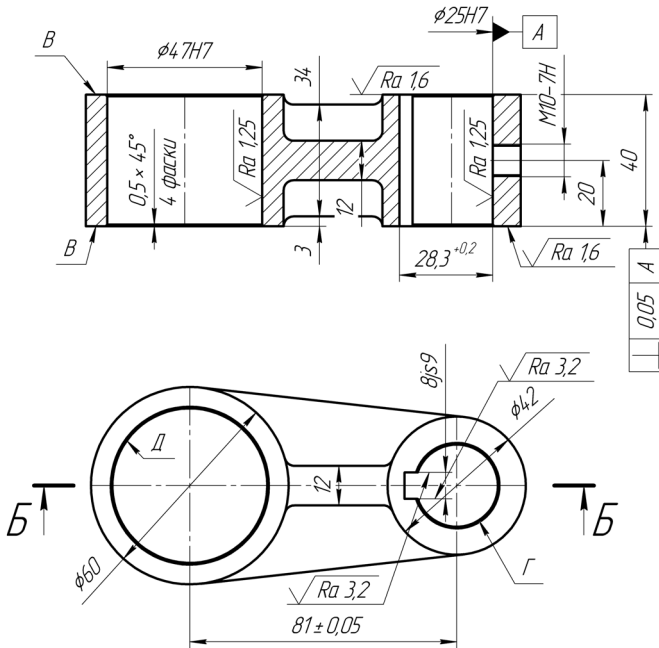


1. 177...229 HB
2. Общие допуски по ГОСТ 30893.1-02: H14, h14, $\pm IT14/2$
3. Остальные технические требования по СТБ 1014-95

Рис. 3.29. Вилка (материал — сталь 45)

$\sqrt{Ra\ 160\ (\checkmark)}$

Б-Б



1. 177...229 HB
2. Литейные радиусы 3 мм
3. Формовочные уклоны 2°
4. Общие допуски по ГОСТ 30893.1-02: H14, h14, $\pm IT14/2$
5. Допускаемая разностенность большой и малой головок 0,5 мм
6. Остальные требования по СТБ 1014-95

Рис. 3.31. Серьга (материал – сталь 45Л)

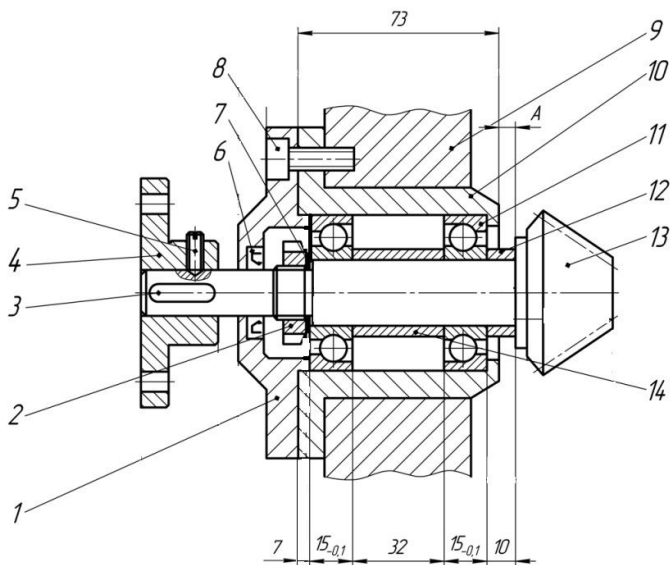


Рис. 3.32. Вал первичный:

1 – крышка; 2 – гайка; 3 – шпонка; 4 – полумуфта; 5 – винт; 6 – манжета; 7 – шайба; 8 – винт (3 шт.); 9 – корпус; 10 – стакан; 11 – подшипник (2 шт.); 12 – кольцо; 13 – вал-шестерня; 14 – втулка

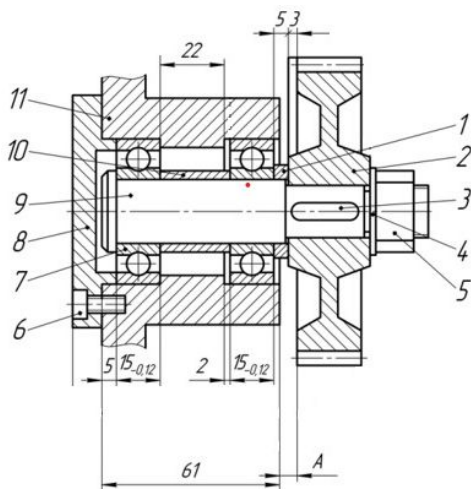


Рис. 3.33. Вал промежуточный:

1 – кольцо; 2 – шестерня; 3 – шпонка; 4 – шайба; 5 – гайка; 6 – винт (4 шт.); 7 – подшипник (2 шт.); 8 – крышка; 9 – вал; 10 – втулка; 11 – корпус

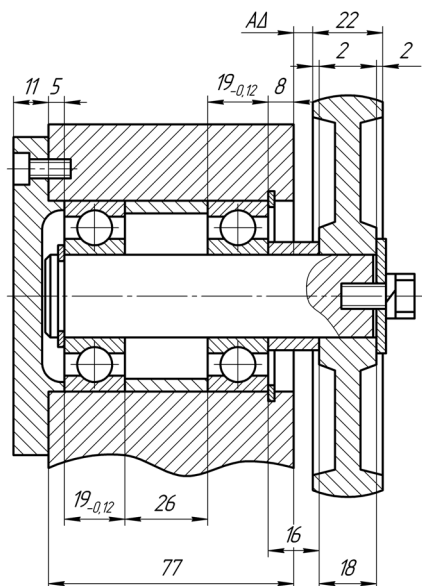


Рис. 3.34. Шкив натяжной

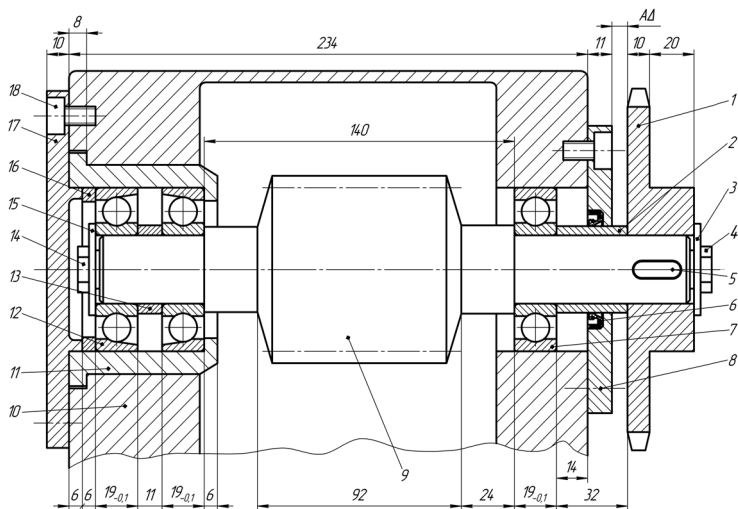


Рис. 3.35. Червяк в сборе:

1 – звездочка; 2 – втулка; 3 – шайба; 4 – болт; 5 – шпонка; 6 – манжета; 7 – подшипник; 8 – крышка; 9 – червяк; 10 – корпус; 11 – стакан; 12 – подшипник (2 шт.); 13 – кольцо; 14 – болт; 15 – шайба; 16 – кольцо; 17 – крышка; 18 – винт (4 шт.)

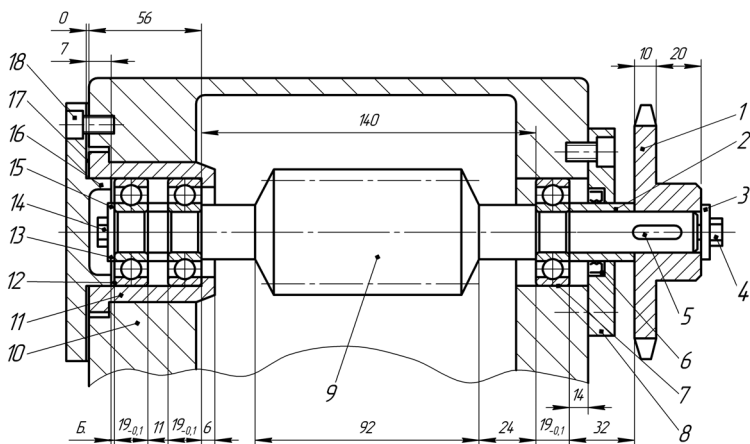


Рис. 3.38. Червяк в сбор:

1 – звездочка; 2 – втулка; 3 – шайба; 4 – болт; 5 – шпонка; 6 – манжета; 7 – подшипник; 8 – крышка; 9 – червяк; 10 – корпус; 11 – стакан; 12 – подшипник (2 шт.); 13 – кольцо; 14 – болт; 15 – шайба; 16 – крышка; 17 – прокладка; 18 – винт (4 шт.)

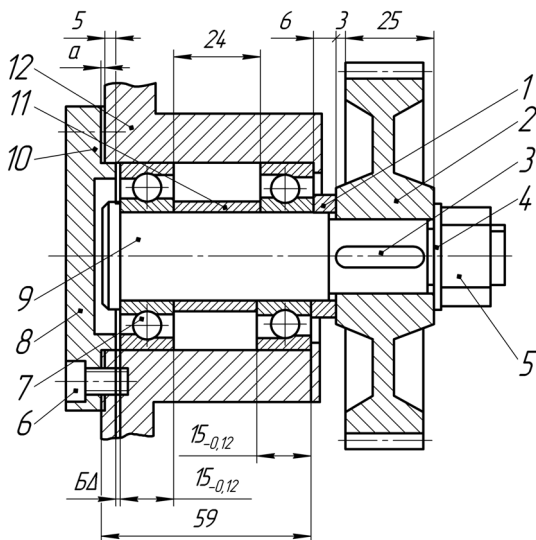


Рис. 3.39. Вал промежуточный:

1 – кольцо; 2 – шестерня; 3 – шпонка; 4 – шайба; 5 – гайка; 6 – винт (4 шт.); 7 – подшипник (2 шт.); 8 – крышка; 9 – вал; 10 – прокладка; 11 – втулка; 12 – корпус

ЛИТЕРАТУРА

1. *Егоров, М.Е.* Основы проектирования машиностроительных заводов / М.Е. Егоров. М., 1969.
2. *Гельфгат, Ю.И.* Сборник задач и упражнений по технологии машиностроения / Ю.И. Гельфгат. М., 1975.
3. *Беляев, Г.Я.* Технология машиностроения: учебно-методическое пособие по выполнению курсового проекта и курсовой работы для студентов дневной и заочной форм обучения/ Г.Я. Беляев, М.М. Канне, А.И. Медведев. Минск, 2006.
4. Проектирование технологических процессов механической обработки в машиностроении: учеб. пособие / В.В. Бабук [и др.]; под общ. ред. В.В. Бабука. Минск, 1987.
5. *Бабук, В.В.* Дипломное проектирование по технологии машиностроения / В.В. Бабук [и др.]; под общ. ред. В.В. Бабука. Минск, 1979.
6. *Панов, А.А.* Обработка металлов резанием: справочник технолога / А.А. Панов [и др.]; под общ. ред. А.А. Панова. М., 1988.
7. *Кораблев, П.А.* Точность обработки на металлорежущих станках в приборостроении/ П.А. Кораблев. М., 1962.
8. Справочник технолога-машиностроителя. Т. 1 / под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. М., 1986.
9. *Ишуткин, В.И.* Технологическая надежность системы СПИД / В.И. Ишуткин. М., 1973.
10. Справочник технолога-машиностроителя. Т. 2 / под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. М., 1986.
11. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. Т. 1 / под ред. А.М. Дальского [и др.]. М., 2001.
12. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. Т. 2 / под ред. А.М. Дальского [и др.]. М., 2001.
13. *Горбачев, А.Ф.* Курсовое проектирование по технологии машиностроения / А.Ф. Горбачев, В.А. Шкред. Минск, 1983.
14. Режимы резания металлов: справочник / под ред. Ю.В. Барановского. М., 1972.
15. Общемашиностроительные нормативы вспомогательного времени и времени на обслуживание рабочего места на работы, выполняемые на металлорежущих станках. Массовое производство. М., 1974.
16. Общемашиностроительные нормативы вспомогательного времени на обслуживание рабочего места и подготовительно-заключительного для технического нормирования. Серийное производство. М., 1974.
17. *Жолобов, А.А.* Справочник по выбору посадок с натягом и зазором / А.А. Жолобов, А.М. Федоренко. Могилев, 2005.
18. Технология автоматизированного машиностроения: специальная часть / под ред. А.А. Жолобова. Минск, 1997.
19. *Харламов, Г.А.* Припуски на механическую обработку: Справочник / Г.А. Харламов, А.С. Тарапанов. М., 2006.
20. Проектирование технологических процессов в машиностроении / И.П. Филонов [и др.]; под ред. И.П. Филонова. Минск, 2003.

21. *Пашкевич, М.Ф.* Технология машиностроения. Курсовое и дипломное проектирование / М.Ф. Пашкевич [и др.]; под ред. М.Ф. Пашкевича. Минск, 2010.

22. *Баранчукова, И.М.* Проектирование технологии / И.М. Баранчукова [и др.]; под ред. Ю.М. Соломенцова. М., 1990.

23. *Панов, А.А.* Обработка металлов резанием: справочник технолога / А.А. Панов [и др.]; под общ. ред. А.А. Панова. М., 2004.

24. Технология машиностроения. Производство деталей машин: в 2 кн. Кн. 2. / под ред. С.Л. Мурашкина. М., 2003.

25. Проектирование технологических процессов сборки машин / под ред. А.А. Жолобова. Минск, 2005.

26. *Кувшинский, В.В.* Фрезерование / В.В. Кувшинский. М., 1977.

27. *Ткачев, А.Г.* Типовые технологические процессы изготовления деталей машин / А.Г. Ткачев, И.Н. Шубин. Тамбов, 2004.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
1. Основы технологии машиностроения	4
1.1. Структура технологических процессов и операций	4
1.2. Определение типа производства	8
1.3. Точность и погрешности механической обработки	24
1.4. Статистическая оценка точности поверхностей деталей	36
1.5. Расчет припусков на механическую обработку	48
1.6. Расчет режимов резания	59
1.7. Техническое нормирование операций механической обработки	66
2. Проектирование операций механической обработки	79
2.1. Проектирование операций токарной обработки	79
2.2. Проектирование операций отделочной обработки наружных поверхностей тел вращения	88
2.3. Проектирование операций обработки отверстий	96
2.4. Выбор оптимального варианта базирования заготовок деталей	103
2.5. Проектирование операций фрезерной обработки плоскостей	113
3. Проектирование технологических процессов механической обработки	121
3.1. Проектирование технологических процессов изготовления валов	121
3.2. Технологические процессы изготовления втулок, дисков, фланцев	132
3.3. Проектирование технологического процесса изготовления зубчатых колес	139
3.4. Технологические процессы изготовления корпусных деталей	152
3.5. Технологические процессы изготовления рычагов и вилок	160
3.6. Размерный анализ точности технологического процесса изготовления детали	168
4. Проектирование технологических процессов сборки машин. Методы достижения точности при сборке машин	184
4.1. Метод полной взаимозаменяемости	184
4.2. Метод неполной взаимозаменяемости	189
4.3. Метод групповой взаимозаменяемости	192
4.4. Метод регулирования и пригонки	195
5. Проектирование технологических процессов сборки машин. Сборка типовых узлов машин	200
5.1. Сборка соединений с натягом	200
5.2. Сборка подшипников скольжения	203
5.3. Сборка узлов с подшипниками качения	206
5.4. Расчет показателей технологичности	208
5.5. Деление машины на сборочные единицы	212
5.6. Составление схемы сборки машины	215
Приложения	217
Литература	333

Учебное издание

Жолобов Александр Алексеевич
Федоренко Алексей Михайлович
Мрочек Жорж Адамович и др.

ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Практикум

Учебное пособие

Редактор *Т.К. Хваль*
Художественный редактор *В.А. Ярошевич*
Технический редактор *Н.А. Лебедев*
Корректоры *Н.Г. Баранова, О.И. Голденкова*
Компьютерная верстка *Ю.Н. Трусевич*

Подписано в печать 30.03.2015. Формат 84×108/32. Бумага офсетная.
Гарнитура «NewtonС». Офсетная печать. Усл. печ. л. 17,64. Уч.-изд. л. 19,15.
Тираж 400 экз. Заказ 759.

Республиканское унитарное предприятие «Издательство “Вышэйшая школа”».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/3 от 08.07.2013.

Пр. Победителей, 11, 220048, Минск.

e-mail: market@vshph.com <http://vshph.com>

Открытое акционерное общество «Типография “Победа”». Свидетельство
о государственной регистрации издателя, производителя и распространителя
печатных изданий № 2/38 от 28.10.2013. Ул. Тавлая, 11, 222310, Молодечно.