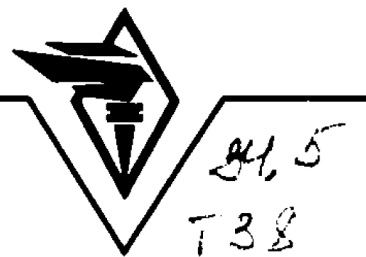

ВЫСШЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ

**ТЕХНОЛОГИЯ
МАШИНОСТРОЕНИЯ**

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ





ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

СБОРНИК ЗАДАЧ И УПРАЖНЕНИЙ

Издание второе, переработанное и дополненное

*Допущено Министерством образования
Российской Федерации
в качестве учебного пособия для студентов
высших учебных заведений,
обучающихся по направлениям 150900
«Технология, оборудование и автоматизация
машиностроительных производств»
и 151000 «Конструкторско-технологическое обеспечение
машиностроительных производств»*

1587

УДК 621.91.002(075.8)

ББК 34.5я73

Т38

Авторы: В.И. Аверченков, О.А. Горленко, В.Б. Ильицкий, Е.А. Польский, А.В. Тотай, В.Ф. Чистов

Рецензенты: кафедра «Технология машиностроения» Тульского государственного университета, проф., д-р техн. наук А.С. Ямников; проректор Орловского государственного технического университета, профессор, д-р техн. наук Ю.С. Степанов

Технология машиностроения: Сборник задач и упражнений:
Т38 Учеб. пособие / В.И. Аверченков и др.; Под общ. ред. В.И. Аверченкова и Е.А. Польского. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: ИНФРА-М, 2010. — 288 с. — (Высшее образование).

ISBN 978-5-16-003816-2

Содержит все основные этапы технологического проектирования в машиностроительном производстве, связанные с механической обработкой и сборкой изделий. Приведенные методические указания и примеры решения всего комплекса технологических задач позволяют использовать учебное пособие при выполнении практических работ, курсовых и дипломных проектов.

Предназначено для студентов направления 151000 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств», специальности 120100 «Технология машиностроения», и направления 150900 «Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств».

УДК 621.91.002(075.8)

ББК 34.5я73

ISBN 978-5-16-003816-2

© Коллектив авторов, 2005

Подписано в печать 01.12.2004.

Формат 60 × 90/16. Гарнитура «Ньютон». Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 18,0. Уч.-изд. л. 18,14. Тираж 1000 экз.

Цена договорная. Заказ № 2324.

Отпечатано с готовых диапозитивов в ОАО ордена «Знак Почета»

«Смоленская областная типография им. В. И. Смирнова».

214000, г. Смоленск, проспект им. Ю. Гагарина, 2.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	5
Глава 1. Проектирование технологических процессов сборки	7
1.1. Размерно-точностный анализ сборочной единицы	7
1.2. Выбор метода обеспечения точности замыкающего звена	8
1.3. Разработка маршрутных технологических процессов сборки	21
1.4. Расчеты при выполнении сборочных операций	27
Глава 2. Анализ исходных данных для разработки технологических процессов изготовления деталей машин	32
2.1. Анализ соответствия требований к изготовлению деталей и их служебному назначению	32
2.2. Анализ технологичности конструкции детали	40
2.3. Формирование конструкторско-технологического кода детали	46
2.4. Определение типа производства	55
Глава 3. Обоснование метода получения заготовок	59
3.1. Определение вида заготовок и способов их изготовления	59
3.2. Техничко-экономическое обоснование выбора заготовки	66
Глава 4. Расчеты погрешностей при установке заготовок в приспособления	71
4.1. Определение составляющих погрешности установки ..	71
4.1.1. Расчет погрешности базирования	74
4.1.2. Расчет погрешности закрепления	81

4.2. Выбор рациональных схем базирования	99
4.3. Расчет исполнительных размеров установочных и направляющих элементов	112
Глава 5. Разработка маршрутных технологических процессов	119
5.1. Разработка технологических процессов обработки элементарных поверхностей	119
5.2. Расчет припусков	121
5.3. Составление технологических маршрутов обработки типовых деталей	130
5.4. Размерно-точностный анализ технологических процессов	133
5.5. Расчет технологических размерных цепей	140
Глава 6. Разработка технологических операций	148
6.1. Выбор последовательности переходов в операции и средств их технологического оснащения	148
6.2. Расчет режимов обработки	155
6.3. Нормирование затрат труда на выполнение операции	157
6.4. Оптимизация режимов обработки резанием	161
6.5. Расчет технологической себестоимости	168
Глава 7. Технологическое обеспечение качества изделий	178
7.1. Статистические методы оценки качества изделий	178
7.2. Расчет суммарной погрешности обработки	188
7.3. Обеспечение качества поверхности деталей машин ...	203
Приложения	218
Список литературы	284

ПРЕДИСЛОВИЕ

Развитие машиностроительного производства, ориентированного на повышение качества машиностроительной продукции, на широкое применение прогрессивных конструкционных и инструментальных материалов, упрочняющей технологии, на комплексную автоматизацию на основе применения станков с ЧПУ и САПР, требует подготовки квалифицированных специалистов, не только обладающих глубокими теоретическими знаниями, но и способных практически их использовать в своей производственной деятельности.

В этой связи инженеры-механики наиболее массовых специальностей «Технология машиностроения» и «Металлорежущие станки и инструменты» должны владеть методами оценки качества изделий, расчета и анализа технологических размерных цепей, размерного анализа технологических процессов, выбора рациональных схем базирования заготовок, расчета погрешностей, определяющих точность механической обработки, расчета припусков, оптимальных режимов обработки, в том числе обеспечивающих получение заданных параметров качества деталей, норм времени и технологической себестоимости. Они должны обладать также практическими навыками по проектированию технологических процессов сборки, механической обработки, в том числе при использовании технологического оборудования с ЧПУ, и т.п.

В предлагаемом учебном пособии представлены все основные этапы технологического проектирования в машиностроительном производстве, связанного со сборкой изделий и механической обработкой деталей. Рассмотренные этапы технологического проектирования соответствуют последовательности их изложения в курсе «Основы технологии машиностроения», включенном в общеобразовательные стандарты ряда машиностроительных специ-

альностей. Особое внимание уделено последовательному рассмотрению следующих вопросов:

- проектирование технологических процессов сборки;
- анализ исходных данных для разработки технологических процессов изготовления деталей машин;
- обоснование метода получения заготовок;
- разработка маршрутных и операционных технологических процессов;
- технологическое обеспечение качества изделий;
- программирование обработки деталей на станках с ЧПУ.

Каждая глава учебного пособия включает краткую теоретическую часть, примеры решений типовых задач, наборы упражнений и задач, отдельные справочные данные. Такая структура учебного пособия позволяет рекомендовать его как для групповых занятий с преподавателем, так и для самостоятельного использования при выполнении курсовых и дипломных проектов студентами машиностроительных специальностей вузов.

Предлагаемое учебное пособие является вторым, переработанным и дополненным, изданием «Сборника задач и упражнений по технологии машиностроения», выпущенного в 2000 г. в издательстве Брянского государственного технического университета и широко используемого многими вузами при подготовке студентов по специальностям «Технология машиностроения» и «Металлорежущие станки и инструменты».

Новое учебное пособие может быть полезно также при подготовке студентов других машиностроительных специальностей высших и средних технических учебных заведений.

Глава 1. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ СБОРКИ

Технологические процессы сборки изделия должны разрабатываться раньше, чем технологические процессы изготовления большинства ее деталей. Такая последовательность позволяет своевременно вносить изменения в конструкцию изделия, если выявлено, что невозможно осуществить процессы сборки или обеспечить их требуемую точность.

Технологию сборки обычно разрабатывают в такой последовательности:

- изучение чертежей сборочных единиц и чертежей входящих в них деталей;
- проведение размерно-точностного анализа;
- установление порядка комплектования узлов и изделия в процессе сборки;
- составление схем сборки сборочных единиц и изделия в целом;
- разработка технологических процессов сборки [10].

1.1. Размерно-точностный анализ сборочной единицы

Основные задачи размерно-точностного анализа:

- 1) изучение взаимосвязи структурных элементов (деталей и сборочных единиц);
- 2) составление схем размерных связей сборочных единиц и изделия в целом;
- 3) выявление сборочных размерных цепей и выбор метода обеспечения точности замыкающих звеньев;
- 4) проверка достижения требуемой точности сборки.

Например, для конических зубчатых передач необходимо обеспечить точность совпадения вершины делительного конуса конической шестерни с осью вращения конического колеса. При установке валов на подшипниках качения требуется обеспечить необходимую величину осевого зазора между торцами крышки и наружного кольца подшипника.

Схему размерных связей составляет совокупность размеров входящих в сборочную единицу деталей, точность выполнения которых влияет на точность замыкающего звена. Выявление таких размеров деталей является одной из основных задач размерно-точностного анализа. Очевидно, что из возможных схем размерных связей следует принимать ту, которая включает наименьшее число размеров.

Размерно-точностный анализ сборочной единицы проводится конструкторами. Тем не менее технолог часто сталкивается с расчетом размерных цепей. Например, при отработке конструкции изделия на технологичность технолог проводит дополнительный размерно-точностный анализ.

Задача 1.1. Разработать размерную схему сборки по обеспечению зазора ϵ (рис. 1.1).

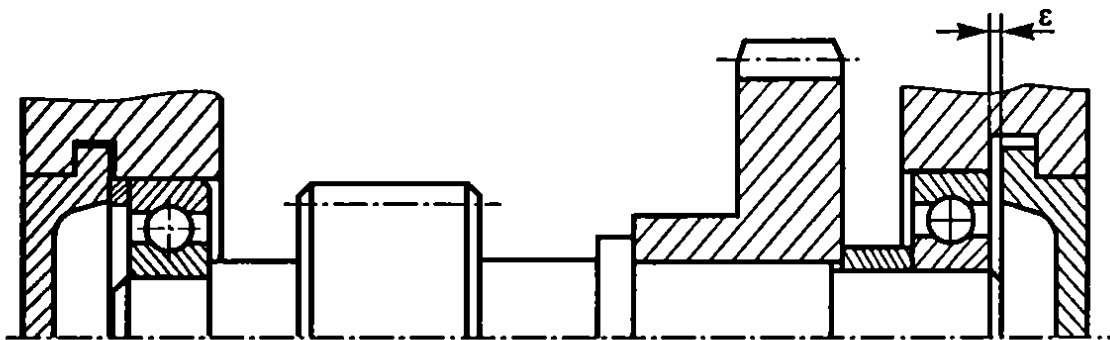


Рис. 1.1. Эскиз сборочной единицы (к задаче 1.1)

Указание к решению этой и последующих задач. Вычертить эскиз сборочной единицы. Определить сопрягаемые поверхности деталей, входящих в сборочную единицу. Разработать возможные варианты схем размерных связей и выбрать тот из них, который включает наименьшее число размеров деталей.

Задача 1.2. Разработать размерную схему сборки по обеспечению зазора ϵ (рис. 1.2).

1.2. Выбор метода обеспечения точности замыкающего звена

На практике для обеспечения требуемой точности замыкающих звеньев сборочных размерных цепей используют следующие методы [9, 12]:

- полной взаимозаменяемости;
- неполной взаимозаменяемости;

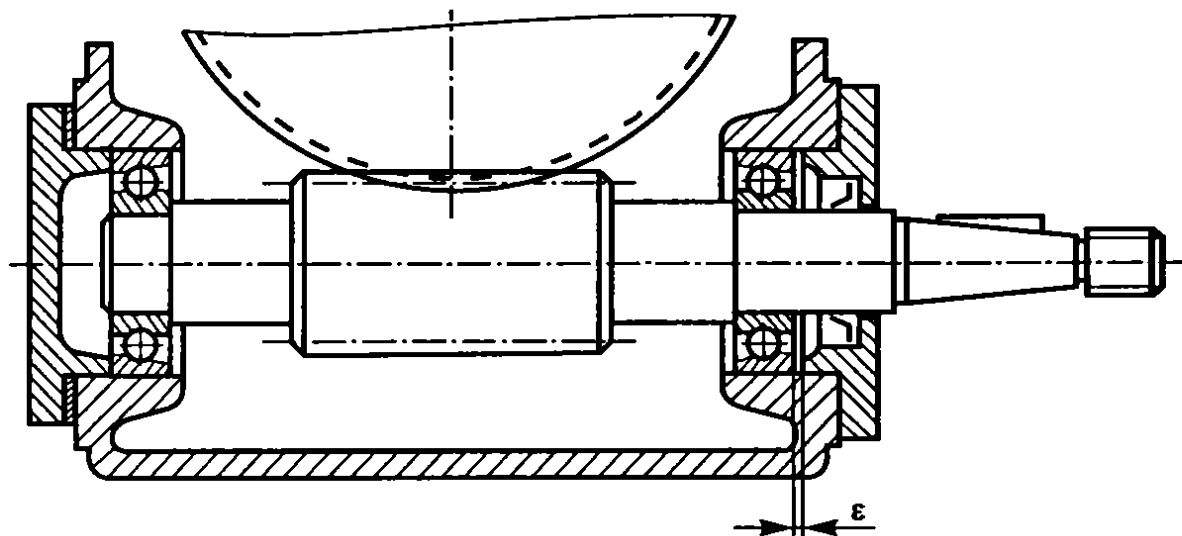


Рис. 1.2. Эскиз сборочной единицы (к задаче 1.2)

- групповой взаимозаменяемости (метод селективной сборки);
- пригонки;
- регулирования.

Рассмотрим перечисленные методы на конкретном примере: необходимо обеспечить зазор ϵ между торцом зубчатого колеса и простановочным кольцом механизма (рис. 1.3). Замыкающим звеном в этой цепи является зазор ϵ , величина которого обусловли-

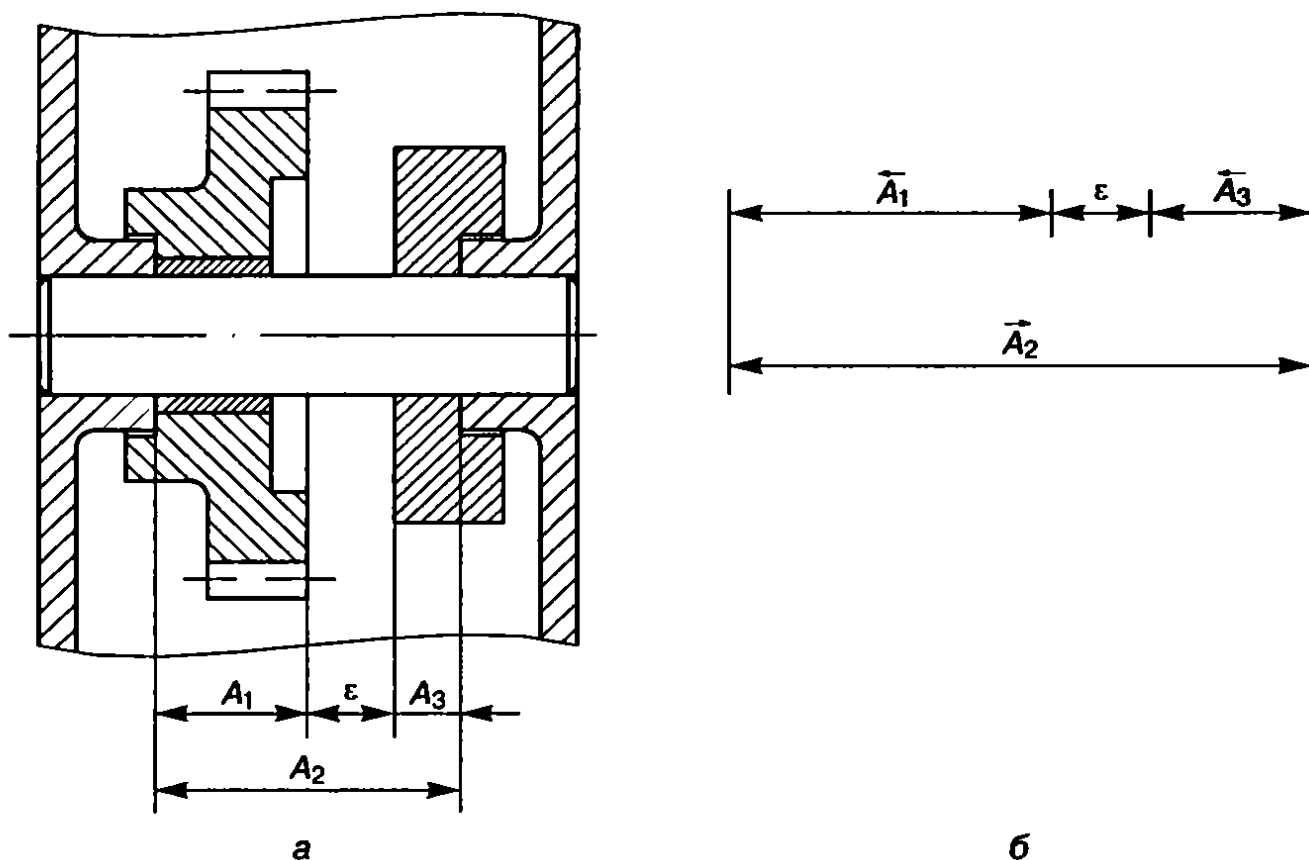


Рис. 1.3. Эскиз сборочной единицы (к задачам 1.3, 1.4):
 а — размерная схема процесса сборки по обеспечению зазора ϵ ;
 б — размерная цепь

вается точностью выполнения размеров зубчатого колеса $A_1 = 80$ мм, корпуса $A_2 = 90$ мм и кольца $A_3 = 10$ мм. Из служебного назначения рассматриваемой сборочной единицы следует, что наименьший зазор $\varepsilon_{\text{нм}} = 0$ ($EI_\varepsilon = 0$), а наибольший $\varepsilon_{\text{нб}} = 0,2$ ($ES_\varepsilon = 0,2$). Следовательно, поле допуска на зазор

$$T_\varepsilon = ES_\varepsilon - EI_\varepsilon = 0,2 - 0 = 0,2,$$

а координата середины поля допуска

$$Ec_\varepsilon = 0,5(EI_\varepsilon + ES_\varepsilon) = 0,5(0 + 0,2) = +0,1 \text{ мм.}$$

Схема размерной цепи, замыкающим звеном которой является зазор, представлена на рис. 1.3, б. Размеры A_1 и A_3 — уменьшающие, а размер A_2 — увеличивающий. *Основное уравнение размерной цепи* в этом случае:

$$\varepsilon = \sum_{i=1}^m \xi_{A_i} A_i = -A_1 + A_2 - A_3, \quad (1.1)$$

где m — число увеличивающих и уменьшающих звеньев цепи, $m = 3$;

ξ_{A_i} — передаточное отношение. (Для плоских линейных цепей с параллельными звеньями $\xi_{A_i} = +1$ для увеличивающих и $\xi_{A_i} = -1$ для уменьшающих составляющих звеньев.)

Метод полной взаимозаменяемости. При этом методе должно быть выполнено условие

$$T_\varepsilon = \sum_{i=1}^m |\xi_{A_i}| T_{A_i} = T_{A_1} + T_{A_2} + T_{A_3}. \quad (1.2)$$

Учитывая, что размеры деталей механизма контролируются калибрами и скобами, устанавливаем допуски на размеры A_1 , A_2 и A_3 по 9-му качеству точности: $T'_{A_1} = 0,074$ мм, $T'_{A_2} = 0,087$ мм и $T'_{A_3} = 0,036$ мм (штрих означает здесь и далее производственное значение допуска). Очевидно, что

$$T'_\varepsilon = T'_{A_1} + T'_{A_2} + T'_{A_3} = 0,074 + 0,087 + 0,036 = 0,197 < T_\varepsilon = 0,2 \text{ мм.}$$

Данное неравенство позволяет сделать вывод о возможности выполнения размеров данной цепи с точностью по 9—10-му качеству. Если неравенство $T'_\varepsilon < T_\varepsilon$ ложно, необходимо ужесточить допуски на составляющие размеры в соответствии со среднеэкономической точностью выполнения размера.

Назначаем отклонения, ориентируясь на вид поверхностей (охватываемые или охватываемые), на размеры A_1 и A_2 , кроме A_3 , как

правило наиболее легко выполнимого ($ES'_{A_1} = 0$, $EI'_{A_1} = -0,074$ мм и $EI'_{A_2} = 0$, $ES'_{A_2} = 0,087$ мм), и определяем координаты середин их полей допусков: $Ec'_{A_1} = -0,037$ мм и $Ec'_{A_2} = 0,0435$ мм. Координату середины поля допуска третьего звена находим из уравнения, по структуре совпадающего с основным уравнением размерной цепи:

$$Ec_{\varepsilon} = \sum_{i=1}^m \xi_{A_i} Ec_{A_i} = -Ec_{A_1} + Ec_{A_2} - Ec_{A_3}, \quad (1.3)$$

или, подставив значения,

$$0,0985 = -(-0,037) + 0,0435 - Ec'_{A_3}.$$

Таким образом, $Ec'_{A_3} = -0,018$ мм. Следовательно,

$$ES'_{A_3} = Ec'_{A_3} + 0,5T'_{A_3} = -0,018 + 0,5 \cdot 0,036 = 0,$$

$$EI'_{A_3} = Ec'_{A_3} - 0,5T'_{A_3} = -0,018 - 0,5 \cdot 0,036 = -0,036 \text{ мм}.$$

Проверка уравнений

$$ES_{\varepsilon} = \sum_{i=1}^m \xi_{A_i} ES_{A_i} + \frac{1}{2} \left(\sum_{i=1}^m |\xi_{A_i}| T_{A_i} \right),$$

$$EI_{\varepsilon} = \sum_{i=1}^m \xi_{A_i} EI_{A_i} - \frac{1}{2} \left(\sum_{i=1}^m |\xi_{A_i}| T_{A_i} \right)$$

подтверждает правильность расчетов. Итак, предельные отклонения составляющих звеньев: $A_1 = 80_{-0,074}$ мм, $A_2 = 90^{+0,087}$ мм и $A_3 = 10_{-0,036}$ мм.

Метод неполной взаимозаменяемости. При этом методе должно быть выполнено условие

$$T_{\varepsilon} = t_{\varepsilon} \sqrt{\sum_{i=1}^m \xi_{A_i}^2 \lambda_{A_i}^2 T_{A_i}^2}, \quad (1.4)$$

где t_{ε} — коэффициент риска;

$\lambda_{A_i}^2$ — коэффициент, учитывающий закон распределения отклонений размеров цепи A_i .

Принимая $t_{\varepsilon} = 3$ (риск в данном случае $P = 0,27\%$ и $\lambda_{A_i}^2 = 1/9$; условия изготовления деталей таковы, что распределение отклонений размеров будет близким к закону Гаусса), получим

$$T_{\varepsilon} = \sqrt{\sum_{i=1}^m T_{A_i}^2} = \sqrt{T_{A_1}^2 + T_{A_2}^2 + T_{A_3}^2}. \quad (1.5)$$

В соответствии с данным методом представляется возможным расширить поля допусков на изготовление деталей. Приняв по 10-му качеству точности $T'_{A_1} = 0,12$ мм, $T'_{A_2} = 0,14$ мм и $T'_{A_3} = 0,058$ мм, будем иметь

$$T'_\varepsilon = \sqrt{0,12^2 + 0,14^2 + 0,058^2} = 0,193 < T_\varepsilon = 0,2 \text{ мм.}$$

Координаты середин полей допусков размеров A_1 и A_2 : $Ec'_{A_1} = -0,06$ мм и $Ec'_{A_2} = 0,07$ мм, тогда

$$Ec'_\varepsilon = -Ec'_{A_1} + Ec'_{A_2} - Ec'_{A_3} = -(-0,06) + 0,07 - Ec'_{A_3} = 0,1 \text{ мм.}$$

Отсюда находим $Ec'_{A_3} = 0,03$ мм и, соответственно, $ES'_{A_3} = 0,059$ мм и $EI'_{A_3} = 0,001$ мм. Проверка уравнений

$$ES_\varepsilon = \sum_{i=1}^m \xi_{A_i} Ec_{A_i} + \frac{1}{2} \left(t_\varepsilon \sqrt{\sum_{i=1}^m \xi_{A_i}^2 \lambda_{A_i}^2 T_{A_i}^2} \right),$$

$$EI_\varepsilon = \sum_{i=1}^m \xi_{A_i} Ec_{A_i} - \frac{1}{2} \left(t_\varepsilon \sqrt{\sum_{i=1}^m \xi_{A_i}^2 \lambda_{A_i}^2 T_{A_i}^2} \right)$$

подтверждает правильность расчетов и возможность принять, например, стандартизованные отклонения $ES'_{A_3} = 0,05$ мм и $EI'_{A_3} = 0,028$ мм. Предельные отклонения составляющих размеров: $A_1 = 80_{-0,12}$ мм, $A_2 = 90^{+0,14}$ мм и $A_3 = 10^{+0,05}_{+0,028}$ мм.

Метод групповой взаимозаменяемости. Групповую взаимозаменяемость (селективную сборку) применяют, когда полная взаимозаменяемость недостижима или экономически нецелесообразна.

При расчете допусков должно быть соблюдено условие

$$\sum_{i=1}^k |\xi_{A_i}| T'_{A_i} = \sum_{i=1}^n |\xi_{A_i}| T'_{A_i} = \frac{1}{2} T'_\varepsilon, \quad (1.6)$$

где k, n — соответственно число увеличивающих и уменьшающих звеньев размерной цепи ($k + n = m$).

Для рассматриваемой задачи $T'_{A_2} = T'_{A_1} + T'_{A_3} = T'_\varepsilon/2$.

Допустим, число групп z , на которые должны быть рассортированы детали после изготовления, равно 3. Тогда $T'_\varepsilon = T_\varepsilon z = 0,2 \cdot 3 = 0,6$ мм и $T'_{A_2} = 0,3$ мм. Учитывая степень точности изготовления деталей, установим $T'_{A_1} = 0,21$ мм и $T'_{A_3} = 0,09$ мм. Устанавливаем для размеров A_1 и A_2 поля допусков каждой группы на размер A_3 , для чего вначале определяем координаты их середин.

Используя уравнение $Ec_{\epsilon} = -Ec_{A_1} + Ec_{A_2} - Ec_{A_3}$, для I, II и III групп соответственно имеем:

$$\begin{aligned} 0,1 &= -(-0,035) + 0,05 - Ec_{A_3}^I; \\ 0,1 &= -0,035 + 0,15 - Ec_{A_3}^{II}; \\ 0,1 &= -0,105 + 0,25 - Ec_{A_3}^{III}. \end{aligned}$$

Тогда

$$\begin{aligned} Ec_{A_3}^I &= -0,015, & ES_{A_3}^I &= 0, & EI_{A_3}^I &= -0,03; \\ Ec_{A_3}^{II} &= 0,015, & ES_{A_3}^{II} &= 0,03, & EI_{A_3}^{II} &= 0; \\ Ec_{A_3}^{III} &= 0,045, & ES_{A_3}^{III} &= 0,06, & EI_{A_3}^{III} &= 0,03. \end{aligned}$$

Схематически поля допусков для шестерни, корпуса и простановочного кольца изображены на рис. 1.4. Нетрудно видеть, что при сопряжении деталей из одноименных групп обеспечивается необходимый зазор $T_{\epsilon} = 0,2$ мм и его среднее значение $Ec_{\epsilon} = +0,1$ мм.

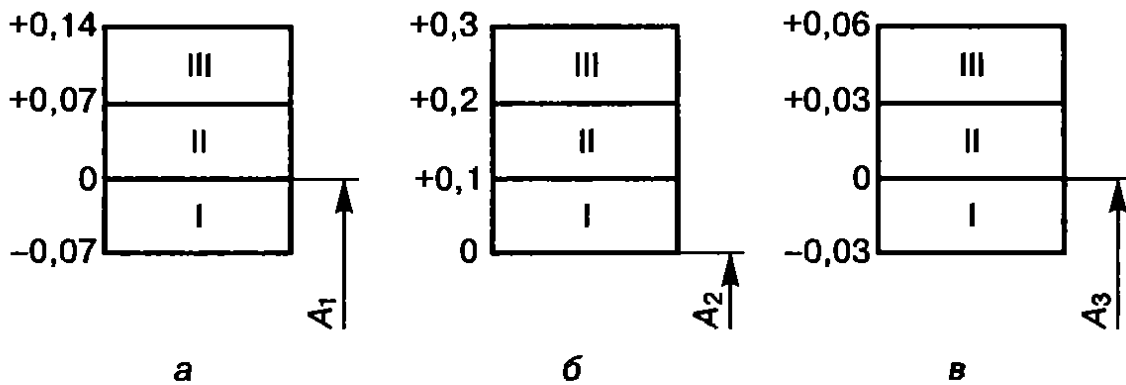


Рис. 1.4. Поля допусков I, II и III групп сортировки для шестерни (а), корпуса (б) и простановочного кольца (в) сборочной единицы, изображенной на рис. 1.3

Метод пригонки. Необходимой точности замыкающего звена можно добиться путем снятия слоя металла с компенсирующей детали. При пригонке рассчитывают предельные отклонения компенсирующего звена с учетом того, что на нем должен остаться достаточный слой металла, подлежащий удалению в процессе сборки. Величину Δ_k необходимого для пригонки слоя металла определяют методом полной взаимозаменяемости как очевидную разность наибольшего расчетного и наибольшего эксплуатационно допустимого значения замыкающего звена:

$$\Delta_k = Ec'_{\epsilon} + 0,5(T'_{\epsilon} - T_{\epsilon}) - Ec_{\epsilon}.$$

Для принятых отклонений составляющих звеньев $A'_1 = 80_{-0,21}$ мм, $A'_2 = 90^{+0,3}$ мм и $A'_3 = 10_{-0,09}$ мм найдем:

$$\begin{aligned} Ec'_{\epsilon} &= -Ec'_{A_1} + Ec'_{A_2} - Ec'_{A_3} = -(-0,105) + 0,15 - (-0,045) = 0,3 \text{ мм}, \\ T'_{\epsilon} &= T'_{A_1} + T'_{A_2} + T'_{A_3} = 0,21 + 0,3 + 0,09 = 0,6 \text{ мм}, \end{aligned}$$

тогда

$$\Delta_k = 0,3 + 0,5(0,6 - 0,2) - 0,1 = 0,4.$$

Из этого следует, что компенсирующий размер A_3 должен быть задан в виде $A_3 = 10_{+0,31}^{+0,4}$ мм. Предельные отклонения составляющих размеров: $A_1 = 80_{-0,21}$ мм; $A_2 = 90^{+0,3}$ мм и $A_3 = 10_{+0,31}^{+0,4}$ мм.

Если компенсирующее звено входит в число уменьшающих звеньев размерной цепи (размер компенсатора при пригонке уменьшается), то поправку Δ_k вносят со своим знаком, а если в число увеличивающих звеньев (размер компенсатора при пригонке увеличивается), то поправку Δ_k вносят с обратным знаком.

Метод регулирования (с применением неподвижного компенсатора). Точность замыкающего звена в данном случае обеспечивается путем изменения размеров компенсирующей детали без снятия слоя металла, в частности *неподвижным компенсатором*, например, в виде прокладок или простановочных колец, выполняемых с N ступенями размеров для подбора в зависимости от действительных размеров остальных составляющих звеньев. *Подвижный компенсатор* обычно представляет собой узел из конической или клиновой пары в сочетании с винтовым механизмом.

Чтобы упростить расчет размеров компенсаторов, рекомендуется назначать координаты середин полей допусков составляющих звеньев так, чтобы совместить одну из границ расширенного поля допуска замыкающего звена с соответствующей границей его поля допуска, заданного служебным назначением изделия.

В рассматриваемой размерной цепи компенсации подлежат только отклонения звеньев A_1 и A_2 . Пусть $A'_1 = 80_{-0,30}$ мм и $A'_2 = 90^{+0,35}$ мм, тогда

$$Ec'_\epsilon = -Ec'_{A_1} + Ec'_{A_2} = -(-0,15) + 0,175 = 0,325 \text{ мм},$$

$$T'_\epsilon = T'_{A_1} + T'_{A_2} = 0,3 + 0,35 = 0,65 \text{ мм},$$

откуда

$$ES'_\epsilon = Ec'_\epsilon + 0,5 T'_\epsilon = 0,325 + 0,5 \cdot 0,65 = 0,65 \text{ мм},$$

$$EI'_\epsilon = Ec'_\epsilon - 0,5 T'_\epsilon = 0,325 - 0,5 \cdot 0,65 = 0,$$

т.е. $EI'_\epsilon = 0$.

Приняв $T'_{A_3} = T'_k = 0,052$, получим

$$N = T'_\epsilon / (T'_\epsilon - T'_k) = 0,65 / (0,2 - 0,052) = 4,39.$$

Полагая $N = 5$, находим допуск ступени компенсатора

$$T_{\text{ст}} = T'_\varepsilon / N = 0,65 / 5 = 0,13 \text{ мм.}$$

Тогда размеры компенсаторов

$$\begin{aligned} A_3^I &= (A_3)_{-0,052}, & A_3^{II} &= (A_3 + 0,13)_{-0,052}, \\ A_3^{III} &= (A_3 + 0,26)_{-0,052}, & A_3^{IV} &= (A_3 + 0,39)_{-0,052}, \\ A_3^V &= (A_3 + 0,52)_{-0,052}. \end{aligned}$$

Если координаты середин полей допусков составляющих звеньев установлены произвольно, то при определении размера компенсаторов первой ступени необходимо внести поправку в координату середины его поля допуска (или соответственно в верхнее и нижнее отклонения) $\Delta_k = Ec_\varepsilon + 0,5(T'_\varepsilon - T_\varepsilon) - Ec'_\varepsilon$ (рис. 1.5). Так, если $A'_1 = 80_{-0,3}$ мм и $A'_2 = 90 \pm 0,175$ мм, то

$$Ec'_\varepsilon = -(-0,15) + 0 = 0,15 \text{ мм,}$$

$$\Delta_k = 0,1 + 0,5(0,65 - 0,2) - 0,15 = 0,175 \text{ мм.}$$

Если компенсатор является увеличивающим звеном (размер его при пригонке уменьшается), поправку Δ_k вносят со

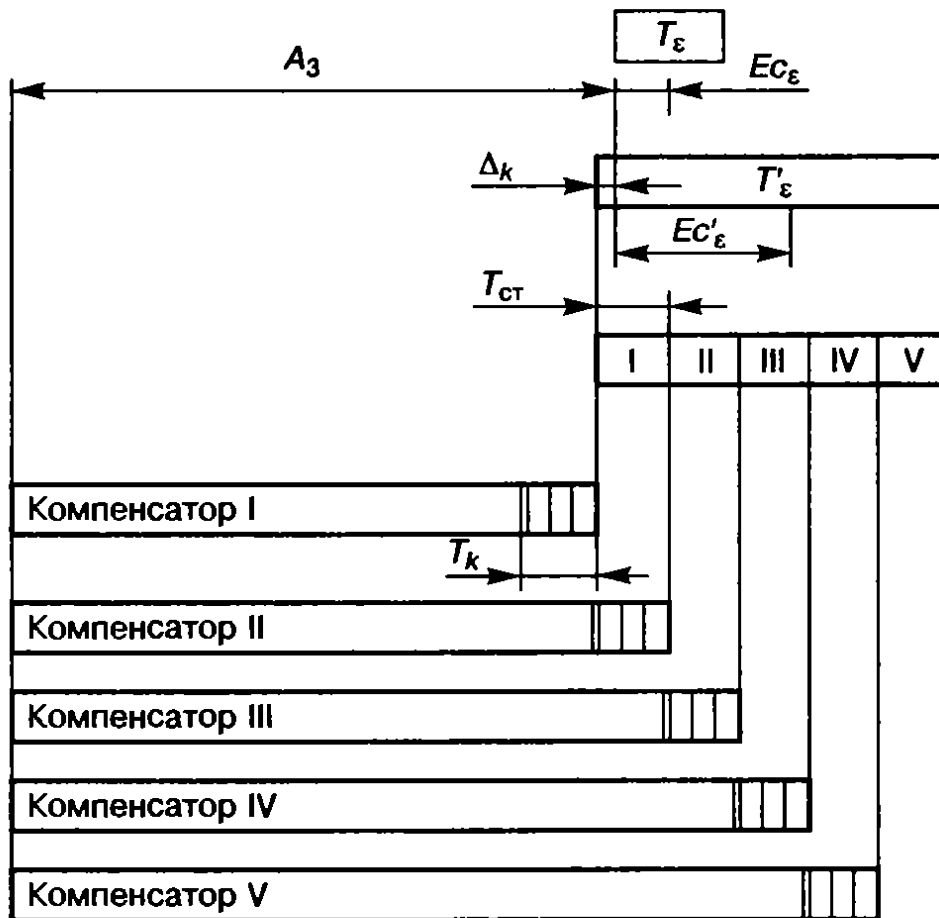


Рис. 1.5. К определению размеров компенсаторов для сборочной единицы, изображенной на рис. 1.3

своим знаком, а если уменьшающим звеном (размер его при пригонке увеличивается) — с противоположным знаком. Тогда $A_3^I = A_3 - \Delta_k = (A_3 - 0,175)_{-0,052}$.

Проведем **сравнительный анализ рассмотренных методов**. Самым простым и надежным является *метод полной взаимозаменяемости*. Точность выполнения составляющих звеньев размерной цепи определяется в зависимости от коэффициента a_c (табл. 1.1):

$$a_c = \frac{T_{A_\Delta}}{\sum_{i=1}^m |\xi_{A_i}| i_{A_i}}, \quad (1.7)$$

где T_{A_Δ} — допуск замыкающего звена, мкм;

i_{A_i} — значение единицы допуска для размера A_i (табл. 1.2).

Однако для конкретных условий производства иногда невозможно обеспечить требуемые значения допусков. В этом случае

Таблица 1.1

Соотношение между допуском и коэффициентом точности a_c

Обозначение допуска	a_c	Обозначение допуска	a_c
IT5	7	IT12	160
IT6	10	IT13	250
IT7	16	IT14	400
IT8	25	IT15	640
IT9	40	IT16	1000
IT10	64	IT17	1600
IT11	100		

Таблица 1.2

Значения единицы допуска i для размеров до 500 мм

Интервал размеров, мм	i	Интервал размеров, мм	i
До 3	0,55	Свыше 80 до 120	2,17
Свыше 3 до 6	0,73	" 120 " 180	2,52
" 6 " 10	0,90	" 180 " 250	2,89
" 10 " 18	1,08	" 250 " 315	3,22
" 18 " 30	1,31	" 315 " 400	3,54
" 30 " 50	1,56	" 400 " 500	3,89
" 50 " 80	1,86		

следует проверить возможность применения *метода неполной взаимозаменяемости*, для которого коэффициент точности

$$a_c = \frac{T_{A_\Delta}}{t_{A_\Delta} \sqrt{\sum_{i=1}^m \xi_{A_i}^2 \lambda_{A_i}^2 i_{A_i}^2}}, \quad (1.8)$$

где t_{A_Δ} , $\lambda_{A_i}^2$ — соответственно коэффициент риска и коэффициент относительного рассеивания размеров (табл. 1.3 и 1.4).

Таблица 1.3

Значения коэффициента риска t_{A_Δ}

Процент риска P	t_{A_Δ}	Процент риска P	t_{A_Δ}
0,01	3,89	4,5	2,0
0,1	3,29	10	1,65
0,27	3,0	33	1,0
1,0	2,57		

Таблица 1.4

Значения коэффициента относительного рассеивания $\lambda_{A_i}^2$

Закон рассеивания отклонений размеров	$\lambda_{A_i}^2$
Равной вероятности	1/3
Симпсона	1/6
Гаусса	1/9

Если допуски составляющих звеньев размерной цепи остаются по-прежнему слишком жесткими или невыполнимыми, то на них назначаются экономически достижимые в данных производственных условиях допуски и применяются остальные методы.

Групповая взаимозаменяемость применяется, как правило, для коротких размерных цепей ($m = 2$ или 3). *Метод пригонки* чаще всего используется в условиях единичного или мелкосерийного производства, при этом допуск на пригонку $T_{пр} \leq T_{A_\epsilon}$. В этом случае в чертеже сборочной единицы указывается, по каким поверхностям производится пригонка. При достижении точности замыкающего звена *методом регулирования* в конструкции сборочной единицы должен быть предусмотрен подвижный или неподвижный компенсатор.

Задача 1.3. Установить допуски и предельные отклонения на линейные размеры деталей, входящих в сборочную единицу (см. рис. 1.3). Задачу решить методом *полной взаимозаменяемости*

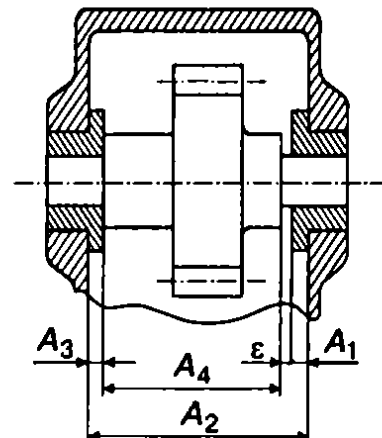
ти для значений ϵ : $0,1 \pm 0,1$; $0^{+0,2}$; $0,2_{-0,2}$; $0,05^{+0,15}_{-0,05}$; $0,15^{+0,05}_{-0,15}$ мм. Размер $A_1 = 80$ мм, $A_2 = 120$ мм.

Задача 1.4. Решить задачу 1.3 методом неполной взаимозаменяемости для случаев, когда распределение отклонений размеров составляющих звеньев подчиняется законам Гаусса, Симпсона и равной вероятности.

Задача 1.5. Установить методами полной и неполной взаимозаменяемости допуски и предельные отклонения на линейные размеры деталей, входящих в сборочную единицу (табл. 1.5).

Таблица 1.5

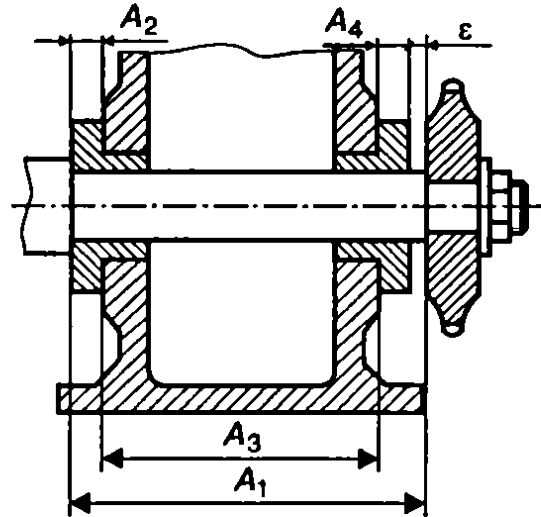
Исходные данные к задаче 1.5

	Вариант	1	2	3	4	5
	ϵ	$1 \pm 0,2$	$1^{+0,5}$	$1 \pm 0,4$	$1^{+0,8}$	$1_{-0,5}$
	A_1	8	8	12	12	12
	A_2	167	167	205	205	205
	A_3	8	8	12	12	12
A_4	150	150	180	180	180	

Задача 1.6. Установить методами полной и неполной взаимозаменяемости допуски и предельные отклонения на линейные размеры деталей, входящих в сборочную единицу (табл. 1.6).

Таблица 1.6

Исходные данные к задаче 1.6

	Вариант	1	2	3	4	5
	ϵ	$1^{+0,6}$	$1 \pm 0,3$	$1_{-0,6}$	$1^{+0,2}_{-0,4}$	$1^{+0,2}_{-0,4}$
	A_1	161	161	161	180	180
	A_2	6	6	6	10	10
	A_3	148	148	148	159	159
A_4	6	6	6	10	10	

Задача 1.7. Установить методом групповой взаимозаменяемости допуски и предельные отклонения на размеры d и D пуансона и матрицы соответственно (рис. 1.6). Задачу решить для случая, когда зазор в сопряжении не должен превышать 0,01 мм ($d = 30$ и 60 мм).

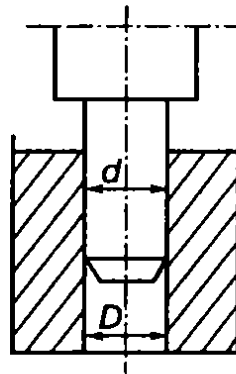


Рис. 1.6. Комплект пуансона и матрицы (к задаче 1.7)

Задача 1.8. Установить методом групповой взаимозаменяемости допуски и предельные отклонения на линейные размеры деталей, входящих в сборочную единицу (табл. 1.7). Задачу решить для случая, когда $T'_E = 0,1$ мм.

Таблица 1.7

Исходные данные к задачам 1.8–1.10

Вариант	1	2	3	4	5
	ε	$1^{+0,1}$	$1 \pm 0,05$	$1_{-0,1}$	$1^{+0,02}_{-0,08}$
A_1	12	22	32	42	52
A_2	38	48	58	68	78
A_3	50	70	90	110	130

Задача 1.9. Решить задачу 1.8 методом пригонки для случаев, когда ε соответственно равно $0^{+0,2}_{+0,1}$; $0,2_{-0,1}$.

Задача 1.10. Решить задачу 1.8 методом регулирования с применением неподвижного компенсатора (деталь с размером A_1).

Задача 1.11. Выбрать метод достижения точности выполнения замыкающего звена в сборочных единицах (рис. 1.7–1.9).

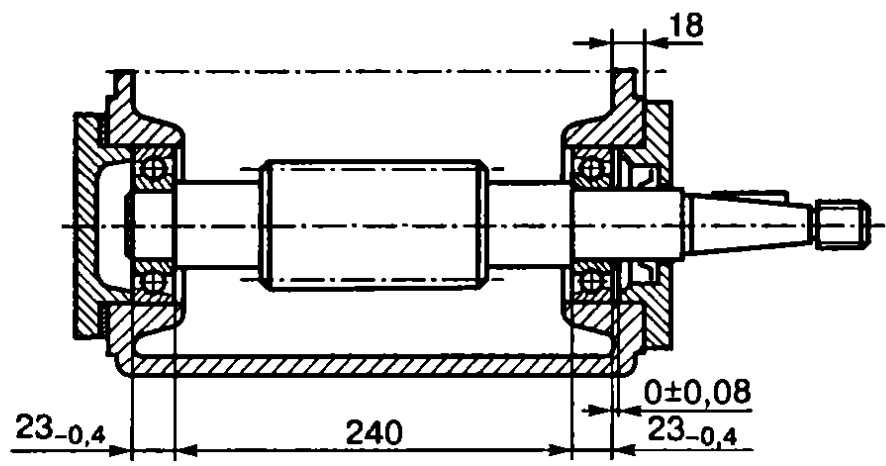


Рис. 1.7. Эскиз сборочной единицы (к задаче 1.11)

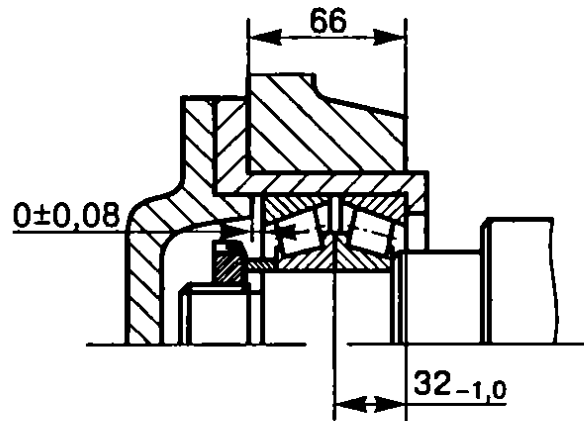
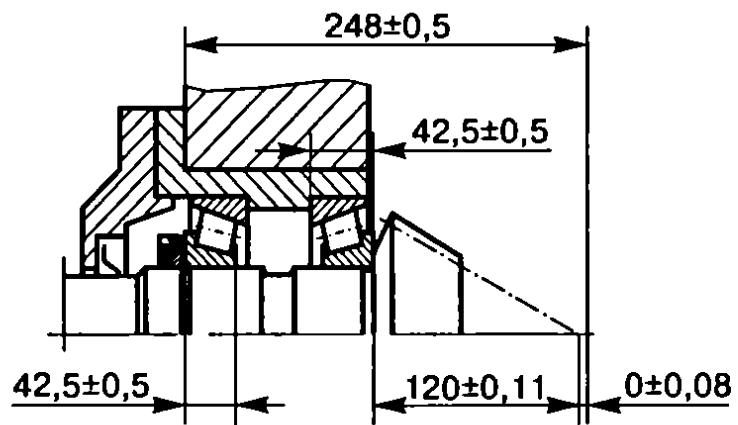
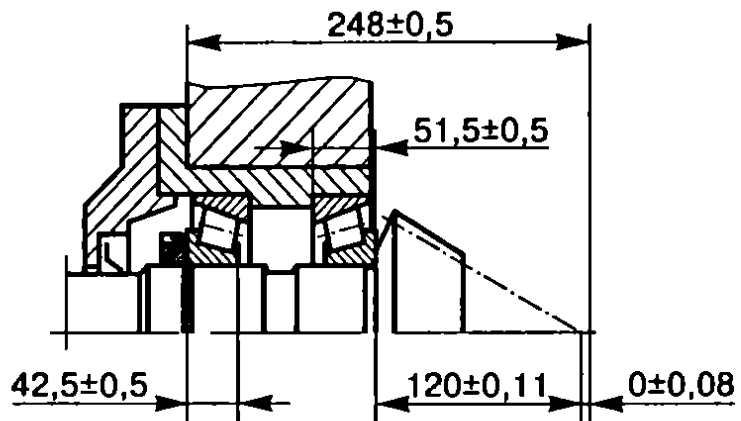


Рис. 1.8. Эскиз сборочной единицы (к задаче 1.11)



а



б

Рис. 1.9. Эскиз сборочной единицы (к задаче 1.11)

1.3. Разработка маршрутных технологических процессов сборки

При единичном выпуске изделий проектирование подробного технологического процесса с разделением его на операции и переходы экономически не оправдывается. В таких случаях лишь перечисляют в необходимой последовательности операции, составляющие комплекс сборочных работ. Такой технологический процесс называется *маршрутным*. Его можно использовать, например, в комплексе работ по сборке гидроцилиндра: сборке передней и задней крышек, сборке поршня и штока, сборке гидроцилиндра из сборочных единиц и при испытаниях цилиндра. Наиболее рациональные приемы сборочных работ при этом устанавливаются сами сборщики.

Для условий серийного производства необходима большая дифференциация операций и переходов. В случае поточно-массового производства составляют детализированный технологический процесс сборки по операциям и переходам.

Например, процессы сборки передней крышки цилиндра (рис. 1.10, а) могут быть следующие:

1. Запрессовать втулку 1 в корпус клапана 3. Надеть на корпус клапана уплотнительное кольцо 2. Вставить в канавку корпуса клапана уплотнительное кольцо 4.

2. Установить клапан в сборе 5 в корпус клапана и вставить корпус в крышку цилиндра.

3. Вставить в паз крышки цилиндра уплотнительное кольцо 6 штока.

4. Вставить в канавку крышки цилиндра двадцать чистиков 7, прикрепить крышку 8 чистиков к крышке цилиндра шестью винтами 9. Винты затянуть до отказа.

5. Надеть на крышку цилиндра уплотнительное кольцо 10.

В процессе сборки сборочной единицы поршня (рис. 1.10, б) возможны следующие переходы:

1. Надеть на поршень две уплотнительные прокладки 11 и уплотнительное кольцо 12.

2. Поставить уплотнительное кольцо 13 штока.

Разработке процесса сборки предшествует разработка технологической схемы сборки.

Технологическая схема сборки — графическое представление процесса комплектования (последовательности сборки) изделия и сборочных единиц. Рассмотрим ее построение для ступицы (рис. 1.11). На таких схемах каждый элемент изделия обозначен прямоугольником, в котором указывают наименование составной части, ее индекс и количество (рис. 1.12). Разработка технологи-

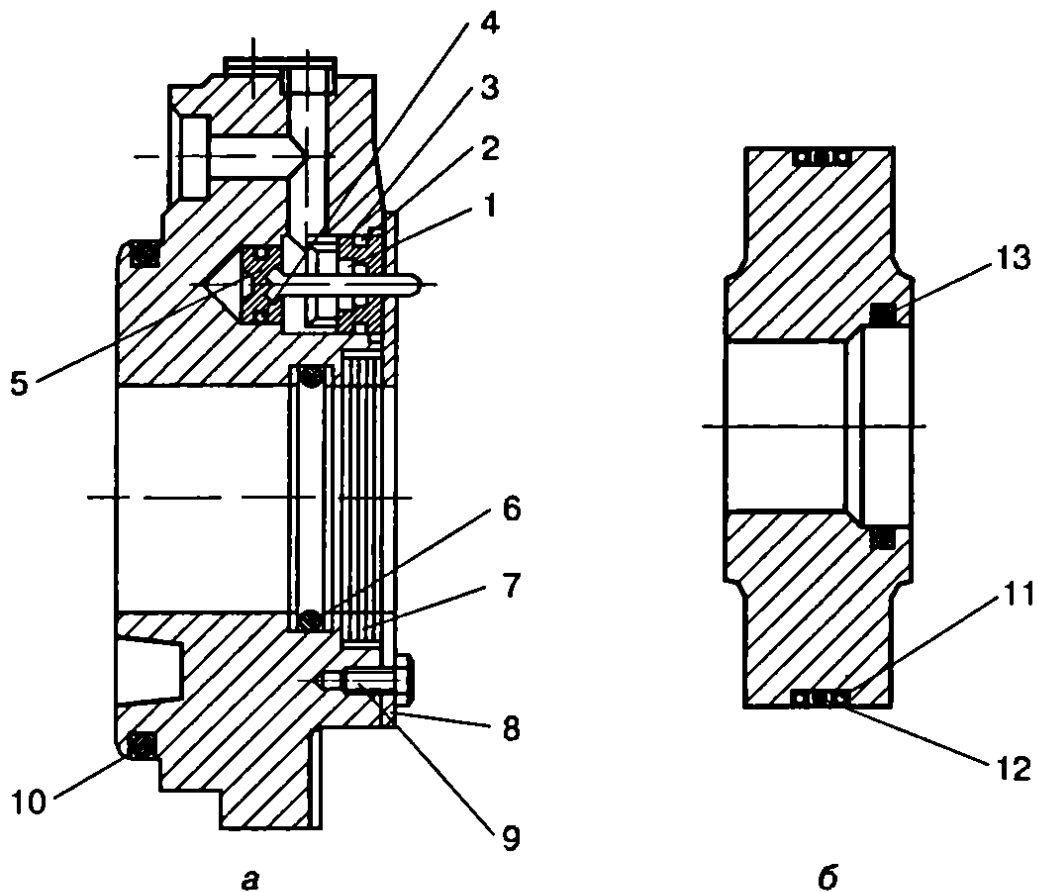


Рис. 1.10. Передняя крышка (а) и поршень (б) гидравлического цилиндра:
 1 — втулка; 2, 4, 6, 10, 12, 13 — кольцо уплотнительное; 3 — корпус клапана;
 5 — клапан; 7 — чистики (20 шт.); 8 — крышка; 9 — винт (6 шт.);
 11 — прокладка уплотнительная (2 шт.)

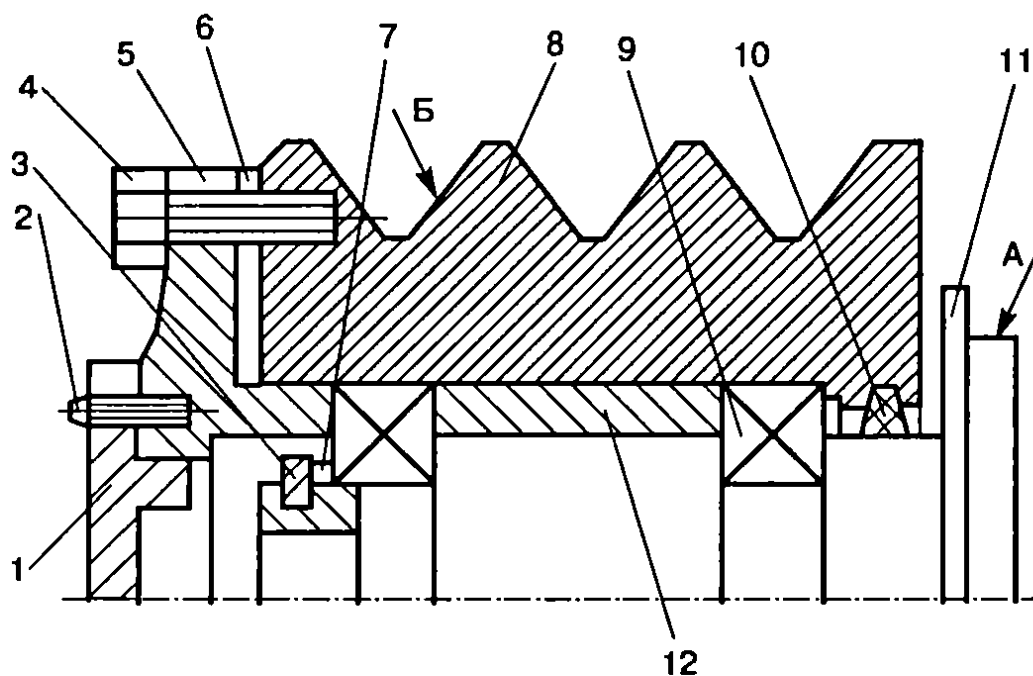


Рис. 1.11. Эскиз ступицы:
 1 — крышка; 2 — винт (4 шт.); 3 — шайба; 4 — винт; 5 — фланец;
 6 — прокладка; 7 — кольцо компенсационное; 8 — шкив;
 9 — подшипник (2 шт.); 10 — кольцо уплотнительное; 11 — ступица;
 12 — втулка

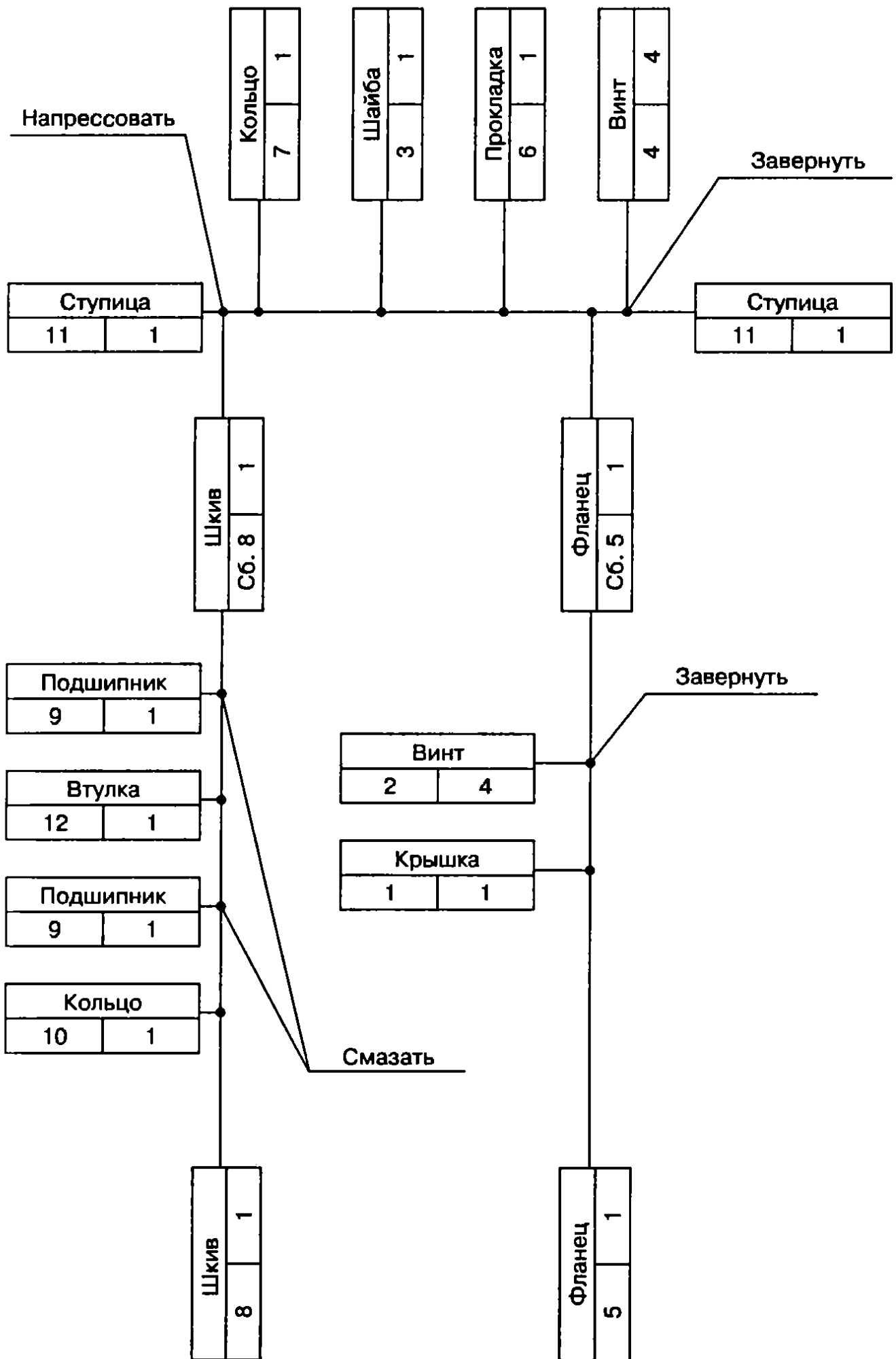


Рис. 1.12. Технологическая схема сборки ступицы (к рис. 1.11)

ческой схемы сборки начинается с определения базовой детали (или сборочной единицы) и деления изделия на сборочные единицы и детали. Процесс сборки отображается на схеме горизонтальной линией в направлении от прямоугольника с наименованием базового элемента до прямоугольника с наименованием готового изделия (или сборочной единицы). Выше горизонтальной линии показывают в порядке последовательности сборки прямоугольники, условно обозначающие детали, а ниже — прямоугольники, условно изображающие сборочные единицы. Для каждой сборочной единицы (первого, второго и более высоких порядков) могут быть построены аналогичные схемы.

После разработки схем сборки устанавливают состав необходимых подготовительных и сборочных работ и определяют содержание операций и переходов (табл. 1.8).

Таблица 1.8

**Маршрутный технологический процесс сборки ступицы
(к рис. 1.12)**

Номер операции	Наименование операции	Содержание операции
1	Сборка шкива (сб. 8)	1. Закрепить шкив (дет. 8) в приспособлении 2. Установить уплотнительное кольцо (дет. 10) 3. Смазать и установить подшипник (дет. 9) 4. Протереть и установить втулку (дет. 12) 5. Смазать и установить подшипник (дет. 9)
2	Установка шкива (сб. 8)	1. Закрепить ступицу (дет. 11) в приспособлении 2. Напрессовать шкив (сб. 8) на ступицу (дет. 11) 3. Протереть и установить кольцо (дет. 7) 4. Установить шайбу (дет. 3). 5. Установить прокладку (дет. 6)
3	Сборка фланца (сб. 5)	1. Закрепить фланец (дет. 5) в приспособлении 2. Установить крышку (дет. 1) 3. Закрепить крышку (дет. 1) винтами (дет. 2)
4	Установка фланца (сб. 5)	1. Установить фланец (сб. 5) 2. Закрепить фланец (сб. 5) винтами (дет. 4)
5	Контрольная	1. Проверить легкость вращения шкива 2. Проверить биение поверхности А относительно поверхности Б

Задача 1.12. Для сборочных единиц (рис. 1.13, а, б) разработать технологические схемы сборки.

Задача 1.13. Для сборочных единиц (рис. 1.14—1.16) разработать технологические схемы и маршруты сборки.

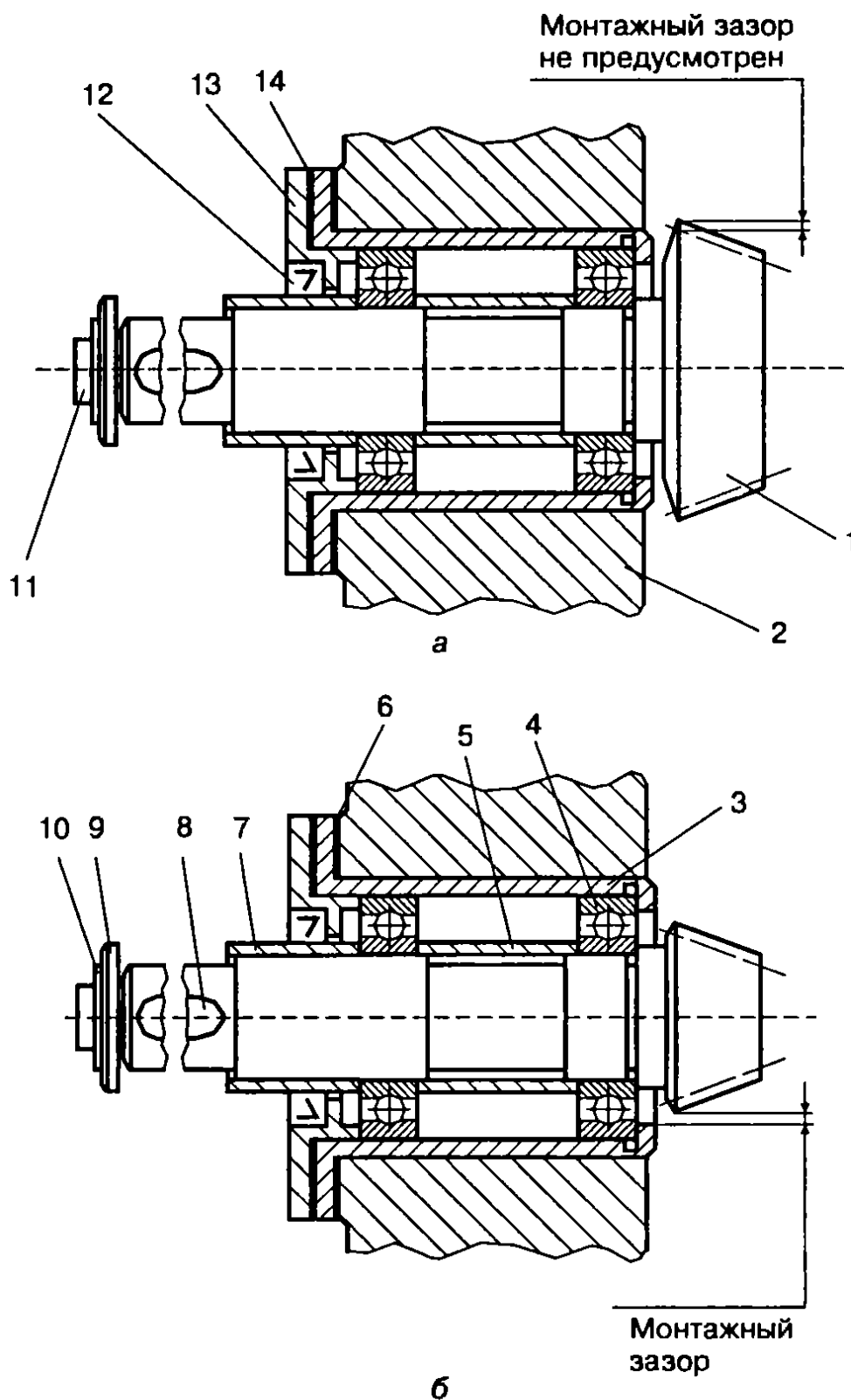


Рис. 1.13. Сборочные единицы (к задаче 1.12):
 1 — вал-шестерня; 2 — корпус; 3 — стакан; 4 — подшипник (2 шт.);
 5, 7 — втулка; 6 — прокладка; 8 — шпонка; 9 — шайба; 10 — шайба стопорная;
 11 — болт; 12 — уплотнение; 13 — крышка; 14 — прокладка

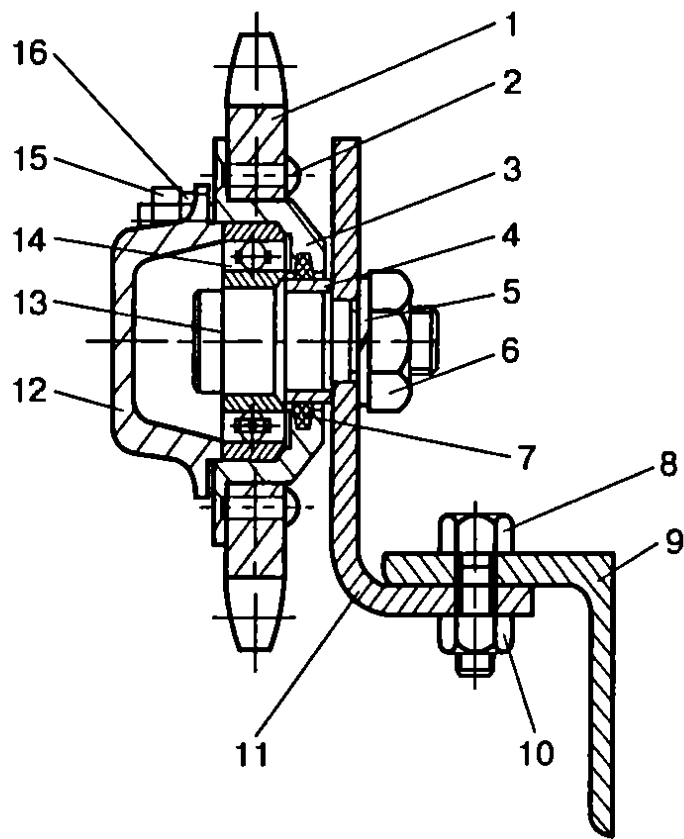


Рис. 1.14. Сборочная единица (к задаче 1.13):

1 — звездочка; 2 — заклепка (6 шт.); 3 — ступица; 4 — втулка; 5 — шайба пружинная; 6 — гайка; 7 — уплотнение; 8 — болт (2 шт.); 9 — уголок; 10 — гайка (2 шт.); 11 — кронштейн; 12 — крышка; 13 — ось; 14 — подшипник; 15 — болт (6 шт.); 16 — шайба пружинная (6 шт.)

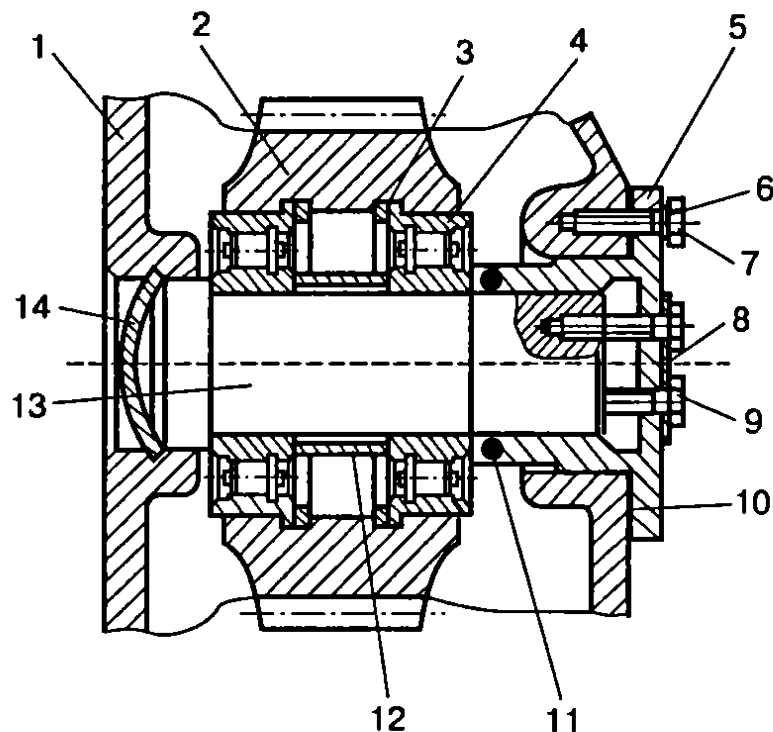


Рис. 1.15. Сборочная единица (к задаче 1.13):

1 — корпус; 2 — колесо зубчатое; 3 — кольцо (2 шт.); 4 — подшипник (2 шт.); 5 — фланец; 6 — шайба пружинная (6 шт.); 7 — болт (6 шт.); 8 — планка стопорная; 9 — болт (3 шт.); 10 — прокладка; 11, 12 — уплотнение; 13 — вал; 14 — крышка

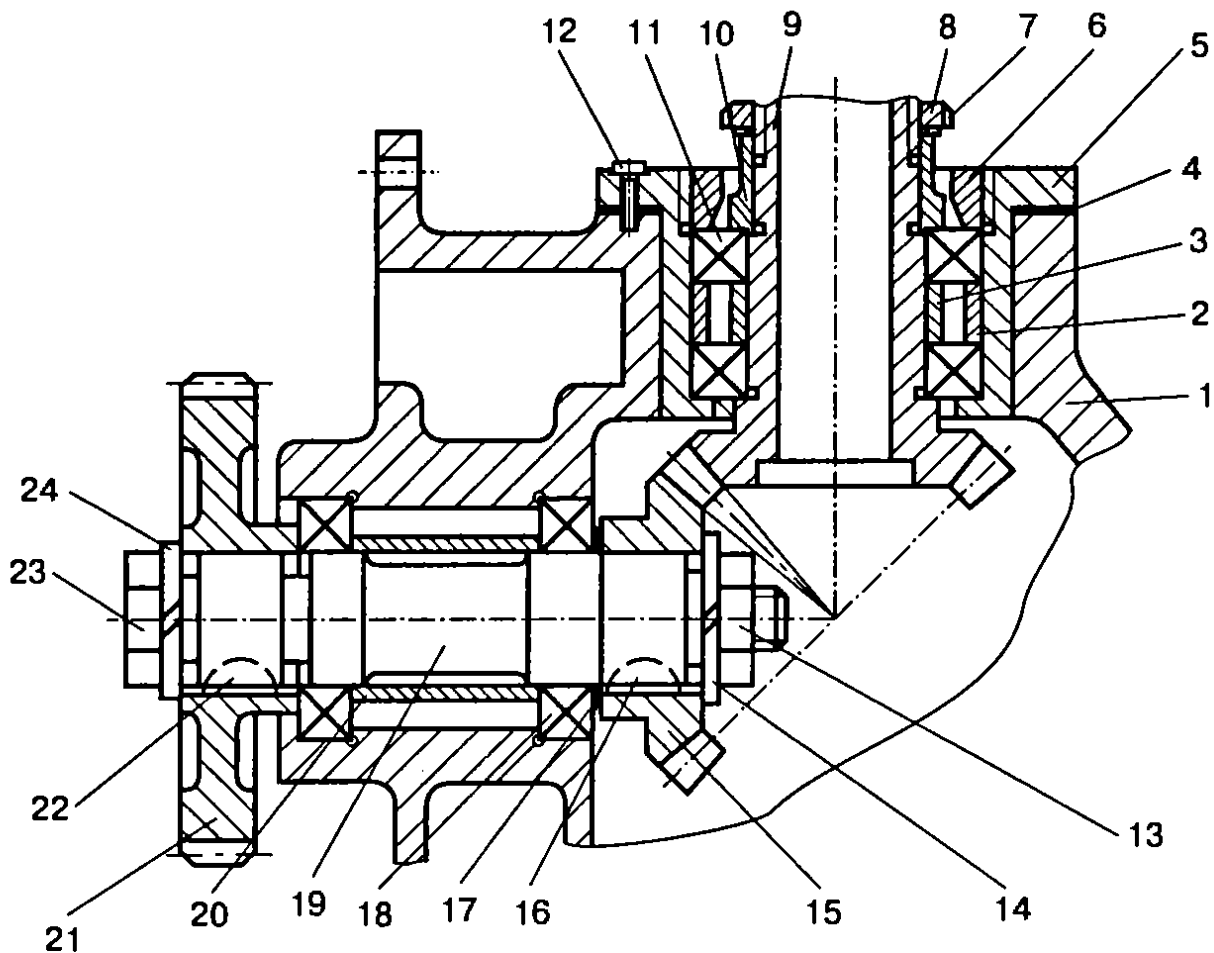


Рис. 1.16. Сборочная единица (к задачам 1.13 и 2.2)

1 — корпус; 2, 3, 10, 20 — втулка; 4 — прокладка; 5 — обойма; 6 — кольцо; 7 — шайба стопорная; 8, 13 — гайка; 9 — вал-шестерня; 11 — подшипник (2 шт.); 12 — винт (6 шт.); 14 — шайба пружинная; 15 — колесо зубчатое; 16, 22 — шпонка; 17 — прокладка; 18 — подшипник (2 шт.); 19 — вал; 21 — колесо зубчатое; 23 — болт; 24 — шайба пружинная

1.4. Расчеты при выполнении сборочных операций

При проектировании отдельных сборочных операций выполняют расчеты по определению усилий, необходимых для сборки неразъемных соединений, которые определяют параметры соответствующего оборудования.

Соединения с гарантированным натягом осуществляют запрессовкой (продольно-прессовые соединения) или путем теплового воздействия на сопрягаемые детали (поперечно-прессовые соединения).

При запрессовке наибольшая сила, необходимая для сборки,

$$P = f \pi d l p, \quad (1.9)$$

где f — коэффициент трения на контактной поверхности ($f = 0,08 \dots 0,1$);

d — номинальный диаметр сопряжения, мм;
 l — длина сопрягаемых поверхностей, мм;
 ρ — давление на поверхности контакта, МПа.
 При этом

$$\rho = \frac{i \cdot 10^{-3}}{d \left(\frac{C_1}{E_1} + \frac{C_2}{E_2} \right)}, \quad (1.10)$$

где i — натяг в сопряжении, мкм;
 E_1, E_2 — модуль упругости материалов вала и втулки соответственно, ГПа.

Коэффициенты:

$$C_1 = \frac{d^2 + d_1^2}{d^2 - d_1^2} - \mu_1; \quad C_2 = \frac{d_2^2 + d^2}{d_2^2 - d^2} - \mu_2, \quad (1.11)$$

где d_1 — диаметр отверстия пустотелого вала, мм;
 d_2 — наружный диаметр напрессовываемой детали (втулки), мм;
 μ_1, μ_2 — коэффициент Пуассона материалов вала и втулки соответственно.

Для сплошного вала $d_1 = 0$ и $C_1 = 1 - \mu$.

Расчетный натяг определяется с учетом шероховатости сопрягаемых поверхностей:

$$i = \Delta d - 1,2(Rz_1 + Rz_2),$$

где Δd — наибольшая разность диаметров охватываемой и охватывающей деталей, мкм;
 Rz_1, Rz_2 — высота неровностей профиля по десяти точкам, мкм.

При тепловой сборке температуру T_n нагрева охватывающей детали или температуру охлаждения охватываемой, которая должна быть в начальный момент выполнения соединения, определяют по зависимости

$$T_n > \frac{\Delta d \cdot 10^{-3}}{\alpha d}, \quad (1.12)$$

где α — коэффициент линейного расширения материала детали;
 d — номинальный диаметр сопряжения, мм.

При переносе детали из нагревательного (охлаждающего) устройства на сборочную позицию неизбежно ее охлаждение (нагрев). Зная время переноса детали t , мин, можно найти температуру T_B , которую должна иметь деталь в момент ее выгрузки из нагревательного (охлаждающего) устройства:

$$T_B = T + \frac{T_H - T}{e^{-kt}}, \quad (1.13)$$

где T — температура окружающего воздуха, °С.

Показатель k зависит от размеров и конфигурации детали, ее материала и метода нагрева (охлаждения). Его определяют экспериментально.

При выполнении операций клепки усилие P , необходимое для образования головок заклепок при холодной клепке,

$$P = \Phi d^{1,75} \sigma_B^{1,75}, \quad (1.14)$$

где Φ — коэффициент формы замыкающей головки заклепки (табл. 1.9);

d — диаметр стержня заклепки, мм;

σ_B — предел прочности материала заклепки при растяжении, МПа.

Таблица 1.9

Значения коэффициента формы Φ

Тип заклепок	Φ
Со сферическими головками	28,6
С плоской и потайной головками	26,2
С плоскими головками	15,2
Трубчатые	4,33
Полутрубчатые	4,33

При выполнении операций развальцовки сила P_o , необходимая для осадки концов трубки на конус, и сила $P_{отб}$, необходимая для отбортовки трубок, определяются по зависимости

$$P_o = P_{отб} = K \frac{S(D+d)}{2} \frac{D_1}{D} \sigma_T, \quad (1.15)$$

где K — коэффициент, учитывающий размеры, свойства материала трубок и характер выполняемой операции (табл. 1.10);

Значения коэффициента K

Материал трубок	Развальцовка	Отбортовка
Медь	45	57
Сталь	55	78

- S — толщина стенки, мм;
 D, d — наружный и внутренний диаметры трубки, мм;
 D_1 — диаметр развальцованного конца трубки, мм;
 σ_T — предел текучести материала трубок, МПа.

Задача 1.14. Бронзовую втулку ($E = 100$ ГПа, $\mu = 0,05$) запрессовывают в отверстие корпуса из чугуна ($E = 120$ ГПа, $\mu = 0,07$), наружный диаметр втулки $\varnothing 40^{+0,068}_{+0,043}$ мм, внутренний диаметр $\varnothing 30_{-0,2}$ мм, диаметр отверстия корпуса $\varnothing 40_{+0,039}$ мм. Шероховатость сопрягаемых поверхностей втулки и отверстия корпуса $Rz = 6,2$ мкм. Длина запрессовки $L = 40$ мм. Коэффициент трения при запрессовке $f = 0,08$. Определить необходимое усилие запрессовки.

Задача 1.15. На стальной вал диаметром $\varnothing 60h8$ мм и шероховатостью поверхности $Rz = 3,8$ мкм напрессовывают бронзовую втулку с наружным диаметром $\varnothing 80^{+0,3}$ мм и внутренним диаметром $\varnothing 60U8$ мм. Шероховатость внутренней поверхности втулки $Rz = 2,8$ мкм. Длина стержня вала и втулки 30 мм. Коэффициент трения при запрессовке $f = 0,1$. Определить необходимое усилие запрессовки.

Задача 1.16. Определить температуру, которую должна иметь деталь в момент ее выгрузки из нагревательного устройства для выполнения сборочной операции методом теплового воздействия. Диаметр отверстия охватывающей детали (втулки) $\varnothing 40^{+0,039}$ мм, диаметр охватываемой детали (вала) $\varnothing 40^{+0,068}_{+0,043}$ мм; материал втулки — бронза; температура окружающей среды $T = 20$ °С; время переноса детали от нагревательного устройства к месту сборки $t = 1,2$ мин; коэффициент, учитывающий размеры, материал и метод нагрева детали, $K = 0,15$.

Задача 1.17. В отверстие корпуса диаметром $\varnothing 90H7$ мм необходимо запрессовать методом теплового воздействия втулку из лату-

ни, наружный диаметр которой $\varnothing 90,57$ мм. Определить температуру, которую должна иметь втулка в момент ее выгрузки из охлаждающего устройства. Температура окружающей среды $T = 18$ °С, время переноса втулки от охлаждающего устройства к месту сборки $t = 0,8$ мин; коэффициент, учитывающий размеры, конфигурацию, материал и метод охлаждения втулки, $K = 0,21$.

Задача 1.18. Рассчитать усилие P , необходимое для образования головок заклепок при холодной клепке, по данным, приведенным в табл. 1.11.

Таблица 1.11

Исходные данные к задаче 1.18

Вариант	Тип заклепок	Материал заклепок	Диаметр стержня, мм
1	Со сферическими головками	Сталь	6
2	С плоской и потайной головками	Медь	10
3	С плоскими головками	Латунь	12
4	Трубчатые	Алюминиевые сплавы	8
5	Полутрубчатые	Медь	16

Задача 1.19. Определить усилие, необходимое для выполнения операции развальцовки или отбортовки трубок, по данным табл. 1.12.

Таблица 1.12

Исходные данные к задаче 1.19

Вариант	Материал трубок	Выполняемая операция	Наружный диаметр D , мм	Внутренний диаметр d , мм
1	Медь	Развальцовка	14	10
2	Медь	Отбортовка	16	12
3	Сталь	Развальцовка	12	8
4	Сталь	Отбортовка	14	10

Глава 2. АНАЛИЗ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Технологическому проектированию предшествует подробное изучение чертежа детали, технических условий на ее изготовление и условий ее работы в изделии. При технологическом контроле чертежа детали выявляют возможности улучшения технологичности ее конструкции. Анализируя исходные данные, следует определить, какому типу производства: массовому, серийному или единичному — будет соответствовать проектируемый технологический процесс, чтобы в дальнейшем обоснованно выбрать методы обработки, оборудование, оснастку и т.п.

2.1. Анализ соответствия требований к изготовлению деталей и их служебному назначению

Технические требования анализируют исходя из чертежа детали и ее служебного назначения. Оценивают обоснованность предъявляемых требований, рассматривают ситуации частичного их выполнения, выбирают способы обеспечения качества в процессе изготовления детали и методы контроля. Кроме того, выявляют наиболее ответственные параметры, для которых характерны повышенные требования к шероховатости поверхности, точности размеров и формы и т.д.

Деталь — составная часть сборочной единицы (изделия), и многие ее размеры являются звеньями сборочных размерных цепей или оказывают влияние на качество сопряжения и взаимное расположение сопрягаемых деталей. Поэтому, выясняя назначение детали в узле и влияние ее параметров на качество собранного изделия, необходимо ознакомиться с чертежом сборочной единицы, изучить принцип ее работы и технические требования на сборку.

Анализ соответствия требований точности детали ее служебному назначению следует выполнять в определенной последовательности.

1. Рассмотреть требования, предъявляемые к твердости рабочих поверхностей детали, с учетом условий работы детали в сборочной единице.

2. Выявить размеры детали, имеющие наиболее жесткие допуски, и установить соответствие их служебному назначению исходя из условий эксплуатации детали.

3. Проверить, какие ограничения по отклонениям формы и взаимного расположения поверхностей имеются в технических требованиях. Дать обоснования необходимости их выполнения на основе анализа чертежа сборочной единицы и условий работы детали.

4. Проверить, соответствует ли заданная конструктором шероховатость поверхностей требуемой точности обработки или служебному назначению поверхности детали в сборочной единице. (Завышенные требования к точности и шероховатости поверхностей приводят к усложнению технологического процесса и повышению трудоемкости обработки, а заниженные — к браку.)

В качестве примера проанализируем технические требования чертежа детали «крышка редуктора» (рис. 2.1), заготовку которой изготавливают литьем из чугуна марки СЧ 20. Крышка в комплекте с корпусом образует замкнутую полость редуктора, в которой расположены зубчатые передачи и масляная ванна. Стык крышки с корпусом должен быть герметичен. В стенке крышки располагается ступица опорного подшипника вала редуктора.

Технические требования чертежа указывают на необходимость введения операции термической обработки отливки перед механической обработкой. Наибольшую точность обработки требуют отверстия $\varnothing 45H7$ и $\varnothing 52 \pm 0,02$ мм; имеются ограничения по точности формы и взаимного расположения поверхностей детали.

Проанализируем последовательно эти требования с точки зрения их обоснованности и соответствия служебному назначению детали.

1. Термическая обработка необходима для снятия внутренних напряжений. Чугунные отливки после черновой обработки подвергают искусственному старению с целью снятия внутренних напряжений, возникающих в отливке при охлаждении и затвердении металла. Это обеспечивает в процессе эксплуатации детали стабильность размеров, полученных после механической обработки.

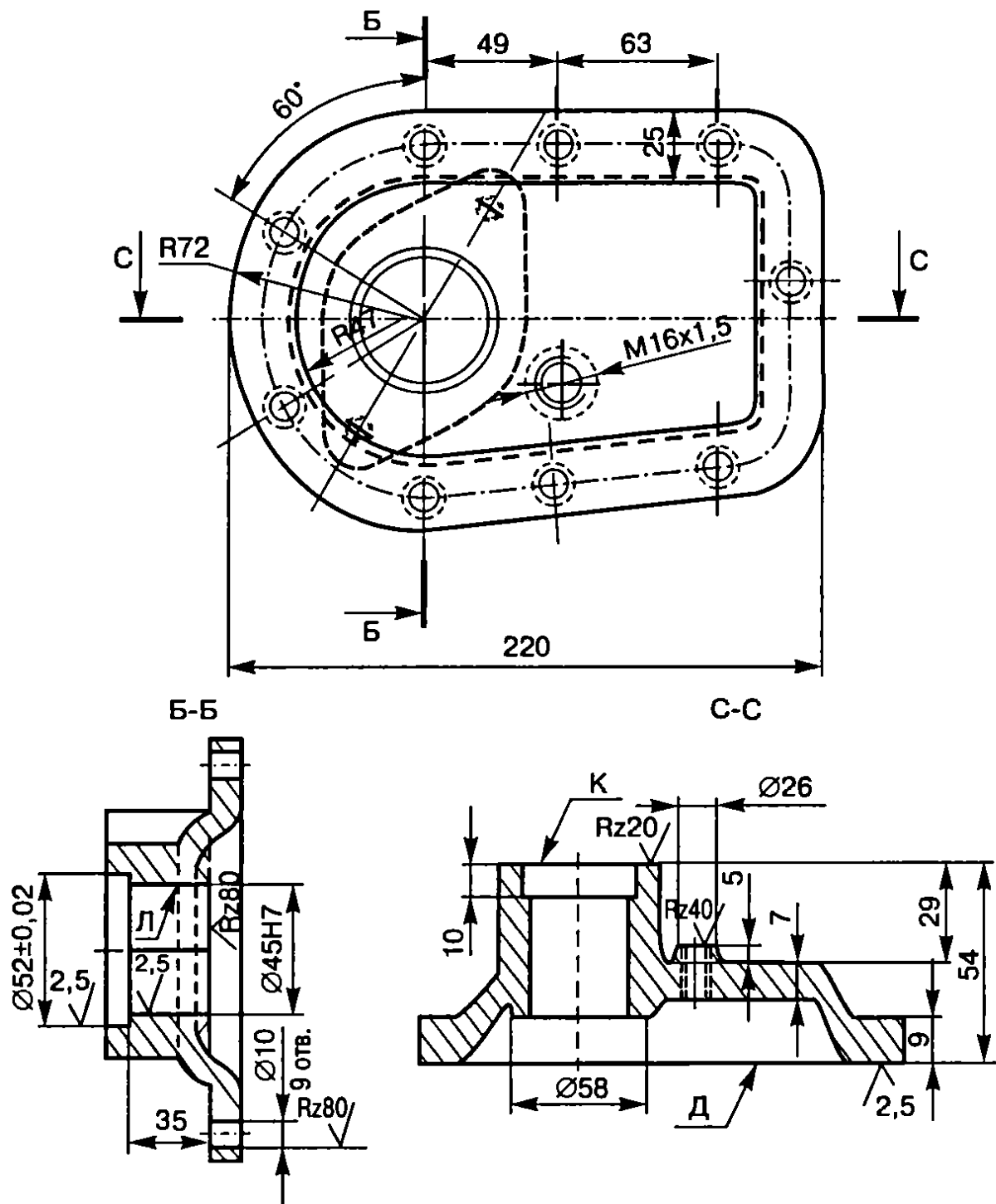


Рис. 2.1. Чертеж крышки редуктора (отклонение от плоскостности поверхностей *К* и *Д* не более 0,05 мм)

2. Точность размера отверстия $\varnothing 45H7^{+0,027}$ мм обусловлена характером сопряжений его с валом редуктора ($\varnothing 45H7/g6$ мм) и условием работы пары трения скольжения. Отверстие $\varnothing 52 \pm 0,02$ мм предназначено для установки уплотнительного кольца. Точность размера назначена из условия обеспечения герметичности соединения (предупреждение течи масла).

3. Ограничения по отклонению от плоскостности поверхности разъема *Д* и торца ступицы *К* в пределах 0,05 мм обусловлены тем, что плоскость крышки *Д* в сопряжении с корпусом редуктора,

а торец K в стыке с уплотнением фланца должны обеспечить герметичность соединений.

Погрешности взаимного расположения поверхностей детали определены величиной отклонения от перпендикулярности оси отверстия L ($\varnothing 45H7$ мм) относительно поверхности D в пределах 0,03 мм. Анализ чертежа сборочной единицы показывает, что такое ограничение необходимо, в противном случае в сопряжении вала с отверстием не будет обеспечен линейный контакт из-за возможного перекоса осей отверстий крышки и корпуса после их сборки, возможно также защемление вала.

4. Заданная шероховатость ($Ra = 2,5$ мкм) поверхностей отверстий $\varnothing 45H7$ мм и $\varnothing 52 \pm 0,02$ мм соответствует требованиям, предъявляемым к их точности. Требования к шероховатости поверхности D ($Ra = 2,5$ мкм) обусловлены необходимостью обеспечения герметичности в стыке крышки с корпусом.

Результаты анализа используют при разработке технологии изготовления детали и выборе средств контроля. Определяют, какими технологическими приемами можно обеспечить выполнение каждого требования точности размеров и шероховатости поверхности и какими способами следует осуществлять контроль. Например, обработка литого отверстия с точностью размера $\varnothing 47H7^{+0,027}$ мм ($Ra = 2,5$ мкм) может быть обеспечена при таком маршруте: зенкерование предварительное — зенкерование окончательное — развертывание предварительное — развертывание окончательное.

Для обеспечения перпендикулярности оси отверстия $\varnothing 47H7$ мм относительно плоскости D (в пределах 0,03 мм) в качестве технологической базы при обработке отверстия необходимо использовать плоскость D .

Контроль отклонения от перпендикулярности оси отверстия относительно плоскости разъема D целесообразно производить с базированием измерительного устройства по отверстию $\varnothing 47H7$ мм.

Задача 2.1. Сборочная единица (рис. 2.2) редуктора заднего моста (рис. 2.3) состоит из шестерни ведомой 1 (рис. 2.4), подшипника 2, шпонки 3, кольца распорного 4 и шестерни ведущей 5 (рис. 2.5). Опорными поверхностями сборочной единицы при передаче крутящего момента являются поверхность наружного кольца подшипника 2 и поверхность шестерни ведущей 5 диаметром $\varnothing 40g7$ мм.

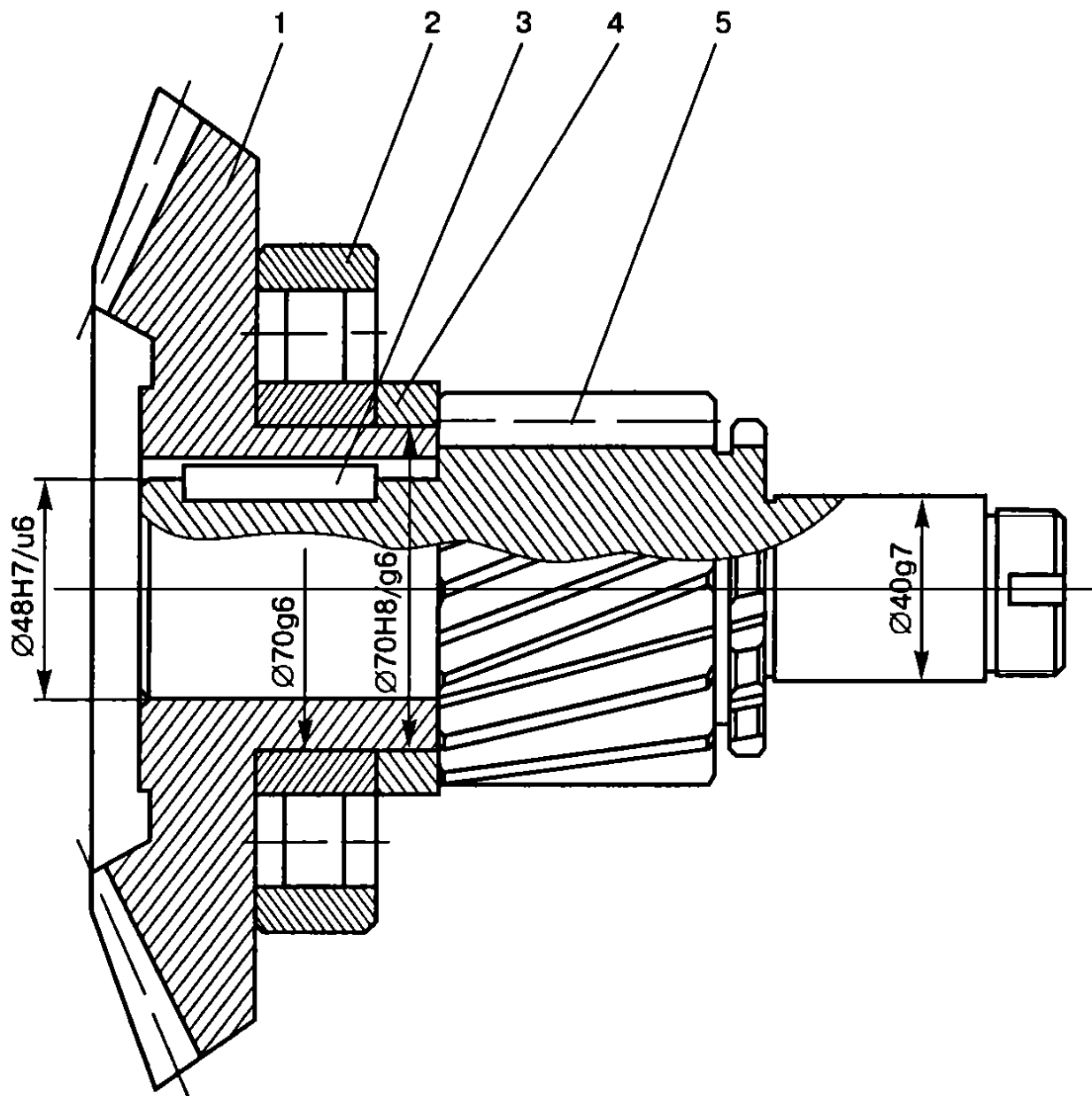


Рис. 2.2. Чертеж сборочной единицы (к задаче 2.1):
 1 — шестерня ведомая коническая; 2 — подшипник; 3 — шпонка; 4 — кольцо распорное; 5 — шестерня ведущая цилиндрическая

Технические требования к шестерне ведомой конической:

1. При установке по поверхности D_1 и опоре T_1 биение поверхности D_1 не более 0,03 мм.
2. Биение торца T_1 не более 0,1 мм.
3. Зубья упрочнить наклепом стальной дробью.
4. Глубина цементируемого слоя 1,0...1,4 мм, твердость поверхности HRC_3 60...65.
5. Твердость сердцевины HRC_3 35...45.
6. Биение наружной конической поверхности зуба до его нарезания при установке по поверхности D_1 не более 0,15 мм.

Технические требования к шестерне ведущей цилиндрической:

1. Зубья упрочнить наклепом стальной дробью.

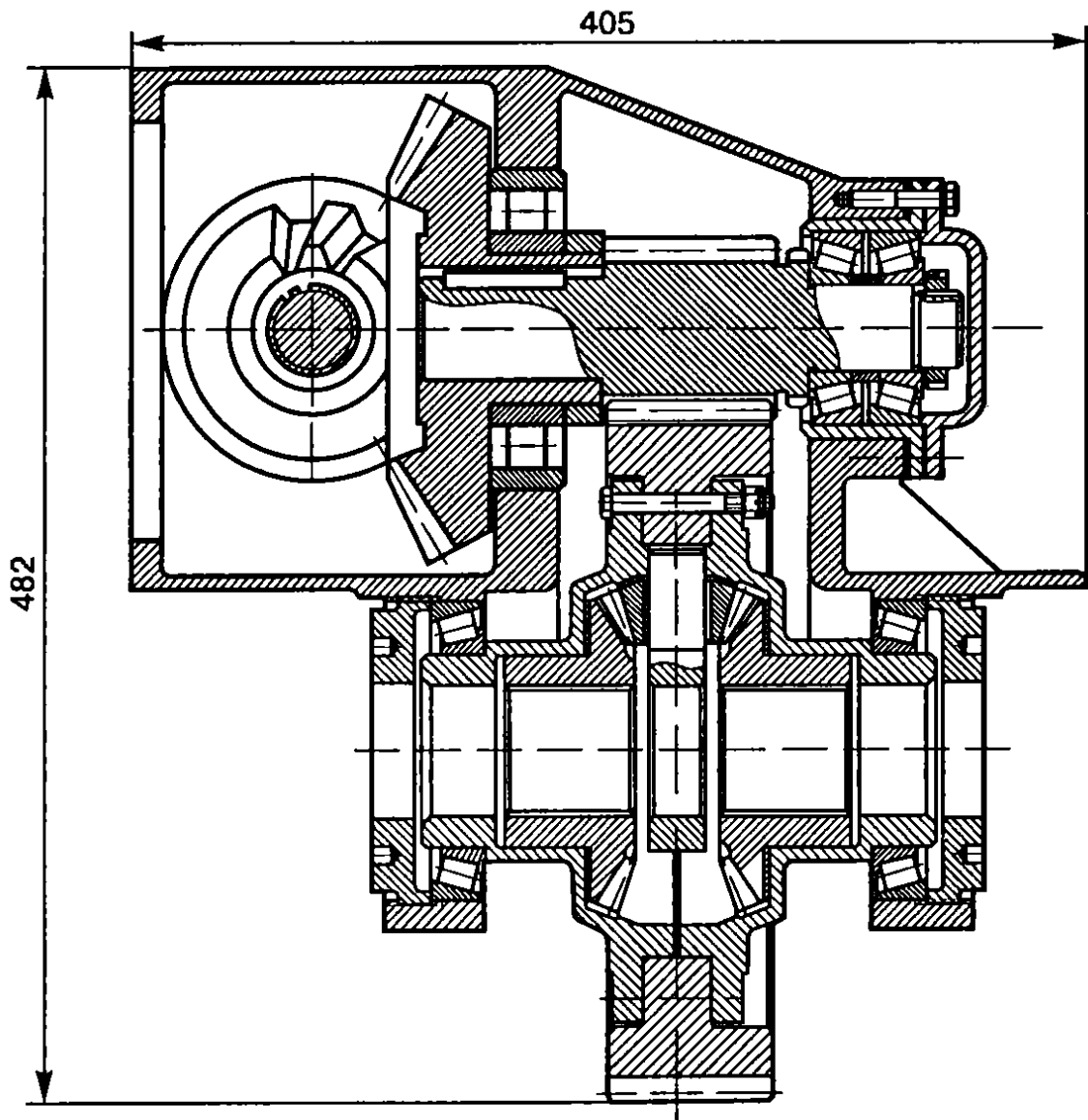


Рис. 2.3. Чертеж редуктора заднего моста (к задаче 2.1)

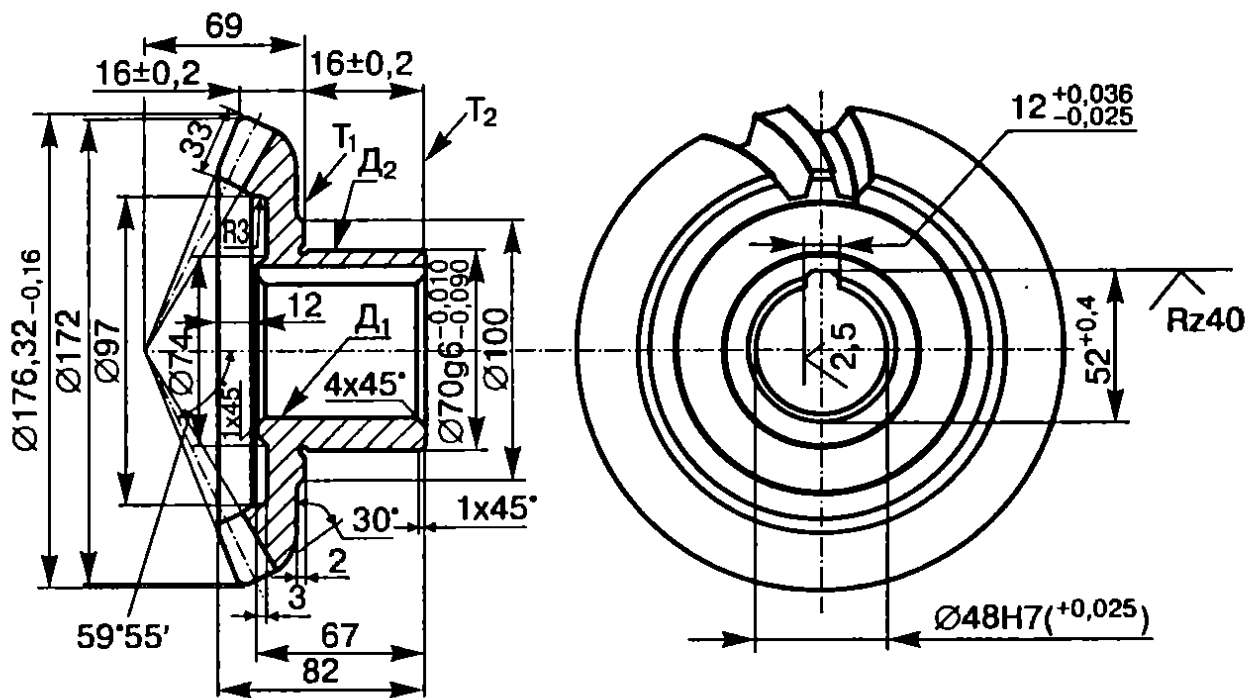


Рис. 2.4. Чертеж шестерни ведомой конической (к задаче 2.1)

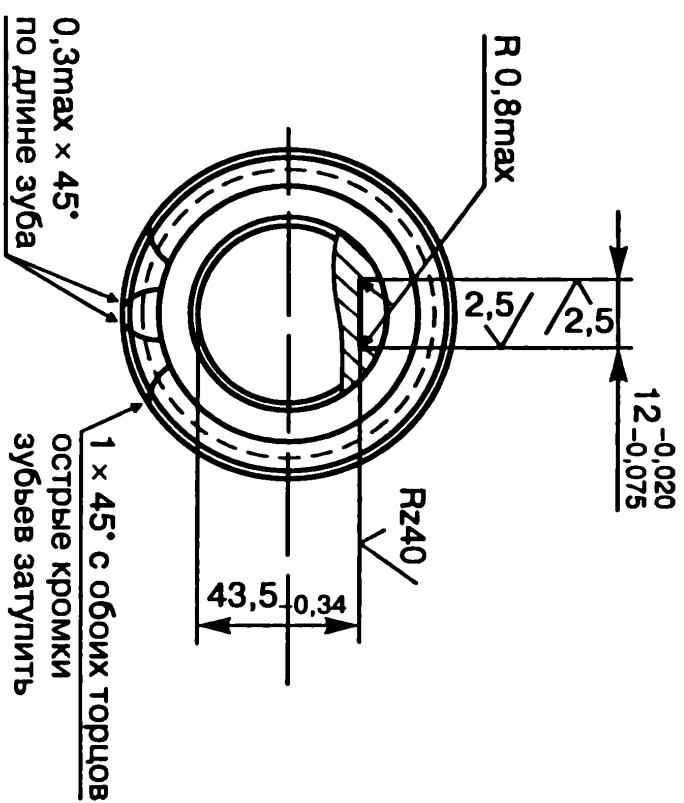
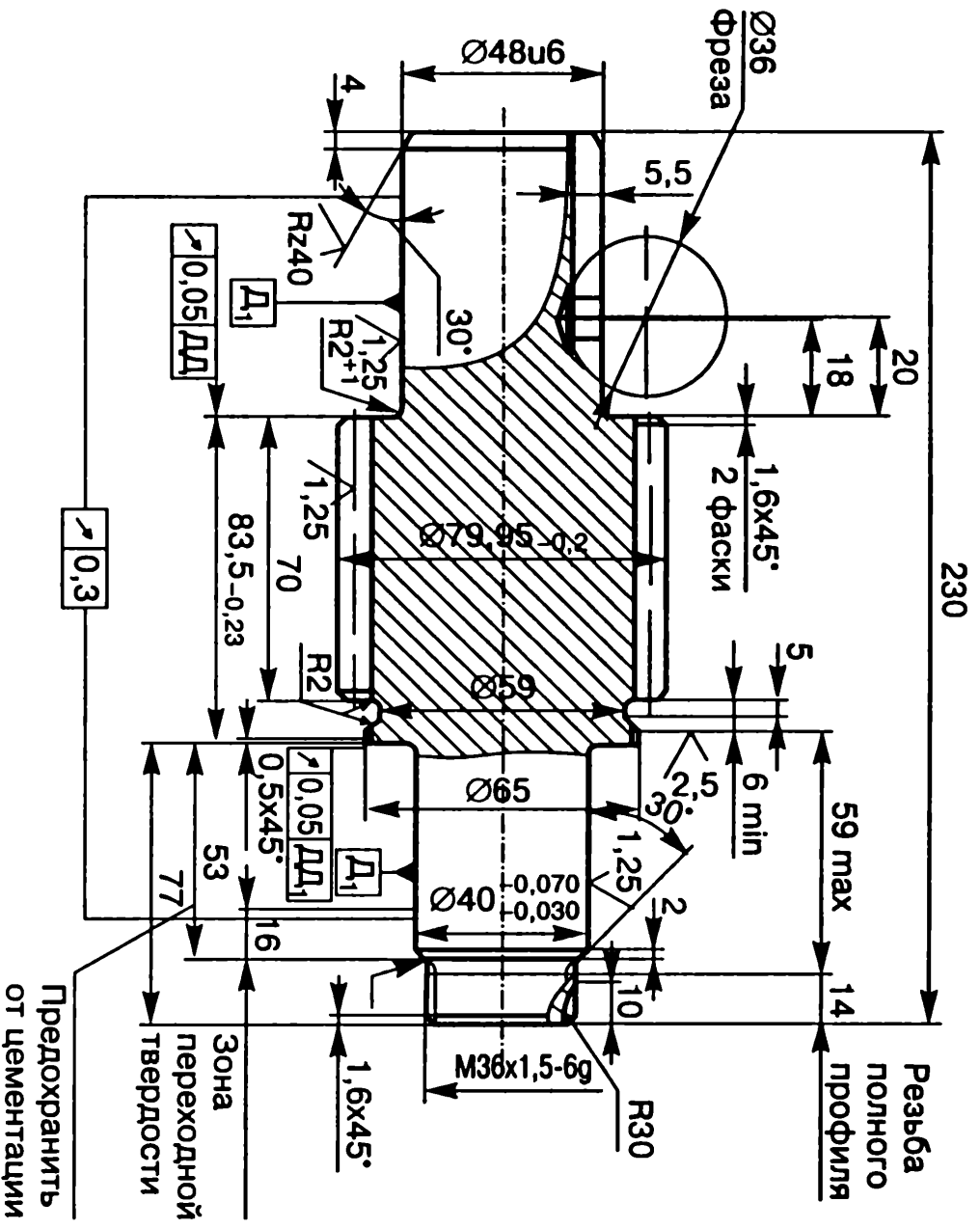


Рис. 2.5. Чертеж шестерни ведущей цилиндрической (к задаче 2.1)

2. Глубина цементируемого слоя на зубьях 1,0...1,4 мм, HRC_3 , 60...64.

3. Твердость сердцевины зуба HRC_3 , 30...42, резьбы HRC_3 , 25...40.

Требуется по рабочим чертежам деталей узла «шестерня ведомая коническая» (см. рис. 2.4) и «шестерня ведущая цилиндрическая» (см. рис. 2.5) проанализировать и обосновать соответствие параметров точности деталей их служебному назначению (аналогично рассмотренному ранее примеру) в такой последовательности:

требования к заготовке, термообработке, твердости поверхности (чем они вызваны и как обеспечиваются);

обоснованность назначения жестких допусков на отдельные размеры детали;

необходимость указанных ограничений по отклонениям формы и взаимного расположения поверхностей;

соответствие заданной конструктором шероховатости поверхности и точности обработки с учетом служебного назначения поверхности детали в узле;

назначение черновых и чистовых баз механической обработки заготовки, обеспечивающих минимальную погрешность базирования при выполнении заданной точности размеров и ограничений по отклонениям формы и взаимного расположения поверхностей;

выбор маршрута обработки наиболее ответственной поверхности и обоснование метода ее окончательной обработки с учетом требований чертежа;

выбор схемы базирования детали и обоснование способа контроля заданной точности размеров и взаимного положения наиболее ответственных ее поверхностей.

Задача 2.2. Требуется, используя чертежи сборочной единицы (см. рис. 1.16, поз. 1, 9 и 19), установить требования по точности изготовления деталей и качеству их рабочих поверхностей.

Указания к решению задачи. Вычертить эскизы указанных деталей, проанализировать их служебное назначение в такой последовательности:

1) назначить требования к заготовке, термообработке и твердости поверхностей (с обоснованием того, чем они вызваны и как обеспечиваются);

2) определить, на какие поверхности должны быть назначены жесткие допуски (с обоснованием качества точности);

3) назначить необходимые ограничения по отклонениям формы и взаимного расположения поверхностей;

4) назначить обоснованные требования в отношении параметров шероховатости рабочих поверхностей деталей.

2.2. Анализ технологичности конструкции детали

В соответствии с ГОСТ 14.205—83 *технологичность* — это совокупность свойств конструкции изделия, определяющих ее приспособленность к достижению оптимальных затрат при производстве, эксплуатации и ремонте при заданных показателях качества, объеме выпуска и условиях выполнения работ.

Производственная технологичность конструкции детали — это степень ее соответствия требованиям наиболее производительного и экономичного изготовления. Чем меньше трудоемкость и себестоимость изготовления, тем более технологичной является конструкция детали.

Оценка технологичности конструкции бывает двух видов: качественная и количественная.

Качественная оценка технологичности является предварительной, обобщенной и характеризуется показаниями: «лучше — хуже», «рекомендуется — не рекомендуется», «технологично — нетехнологично» и т.п. *Технологичной* при качественной оценке следует считать такую геометрическую конфигурацию детали и отдельных ее элементов, при которой учтены возможности минимального расхода материала и использования наиболее производительных и экономичных для определенного типа производства методов изготовления. В связи с этим следует проанализировать чертеж детали, например, с точки зрения:

- степени унификации геометрических элементов (диаметров, длин, резьб, модулей, радиусов перехода и т.п.) в конструкции;
- наличия удобных базирующих поверхностей, обеспечивающих возможность совмещения и постоянства баз;
- возможности свободного подвода и вывода режущего инструмента при обработке;
- удобства контроля точностных параметров детали;
- возможности уменьшения протяженности точных обрабатываемых поверхностей;
- соответствия формы дна отверстия форме конца стандартного инструмента для его обработки (сверла, зенкера, развертки) и т.п.

Многочисленные примеры качественной оценки приведены в литературе [2, 27].

Количественная оценка технологичности выражается показателем, численное значение которого характеризует степень удовлетворения требований к технологичности. Согласно ГОСТ 14.202—73 номенклатура показателей технологичности изделия содержит 4 основных и 31 дополнительный показатель. Применительно к

производству количественную оценку технологичности производят по суммарной трудоемкости $\sum T_{ш.к}$ (см. параграф 6.3) и технологической себестоимости C_T (см. параграф 6.5), а также по техническим показателям, определение которых возможно из чертежа детали. К ним относятся коэффициенты точности K_T и шероховатости $K_{ш}$:

$$\text{при этом} \quad K_T = 1 - 1/T_{ср}, \quad (2.1)$$

$$T_{ср} = \sum T_i n_i / \sum n_i; \quad (2.2)$$

$$\text{при этом} \quad K_{ш} = 1/Ra_{ср}, \quad (2.3)$$

$$Ra_{ср} = \sum Ra_i n_i / \sum n_i, \quad (2.4)$$

где T_i, Ra_i — соответственно качества точности и значения параметра шероховатости обрабатываемых поверхностей;

$T_{ср}, Ra_{ср}$ — средние значения этих параметров;

n_i — число размеров или поверхностей для каждого качества и значения параметра шероховатости.

В общем случае технологичность детали (индекс «д») должна оцениваться путем сравнения ее показателей с соответствующими показателями детали-аналога (индекс «а»). Под *деталью-аналогом* понимается базовая деталь, выполняющая в изделии те же функции, что и анализируемая, и имеющая известные базовые показатели, т.е. показатель Π_d сравнивается с показателем Π_a . Так, трудоемкость детали T_d может быть определена [27] как

$$T_d = T_a K_M K_{сл} K_N, \quad (2.5)$$

где T_a — трудоемкость обработки детали-аналога, мин;

$K_M, K_{сл}, K_N$ — коэффициенты, учитывающие различия детали и детали-аналога соответственно по массе, сложности обработки и программе выпуска.

В свою очередь, коэффициент

$$K_M = (M_d/M_a)^{0,67}, \quad (2.6)$$

где M_d и M_a — соответственно масса детали и детали-аналога, кг.

Коэффициент

$$K_{сл} = \frac{K_{т.нм.д} K_{ш.нм.д}}{K_{т.нм.а} K_{ш.нм.а}}, \quad (2.7)$$

где $K_{т.нм.д}, K_{ш.нм.д}$ и $K_{т.нм.а}, K_{ш.нм.а}$ — коэффициенты, показывающие изменение трудоемкости в зависимости от изменения наименьших значений качества точности и параметра шероховатости соответственно детали и детали-аналога.

При этом

$$K_{T,нм} = 4T_{нм}^{-0,63}, \quad (2.8)$$

$$K_{ш,нм} = 1,19Ra_{нм}^{-0,071}, \quad (2.9)$$

где $T_{нм}$, $Ra_{нм}$ — соответственно наименьшие значения качества точности и параметра шероховатости поверхности.

Коэффициент

$$K_N = (N_a/N_d)^m. \quad (2.10)$$

Здесь N_a , N_d — соответственно годовой выпуск аналога и детали, шт., а m — показатель степени, определяемый по формуле

$$m = 0,2M_d^{-0,045}. \quad (2.11)$$

Задача 2.3. Проанализировать конструктивные элементы детали (рис. 2.6) с точки зрения возможности более производительной и экономичной обработки отверстия.

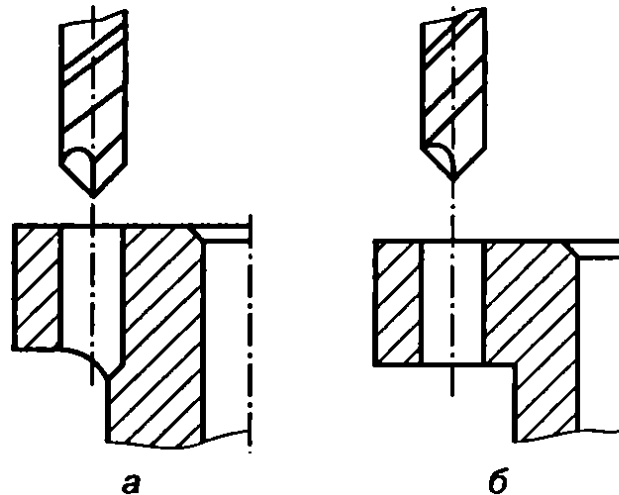


Рис. 2.6. Варианты конструктивного оформления обрабатываемых отверстий

Решение. При сверлении отверстия по варианту «а» на выходе сверла неизбежно возникновение одностороннего усилия, что может привести к поломке сверла и увеличению расхода режущего инструмента. Обработка отверстия по варианту «б» обеспечивает нормальную работу сверла за счет взаимной компенсации радиальных усилий на его режущих кромках.

Задача 2.4. Дать качественную оценку технологичности вариантов конструктивного оформления элементов деталей (рис. 2.7).

Задача 2.5. Определить технологичность детали (рис. 2.8) по техническим показателям — коэффициентам точности K_T и шероховатости $K_{ш}$. Материал детали — сталь 45, масса детали 4,5 кг, твердость после термообработки HRC_3 42...46,5.

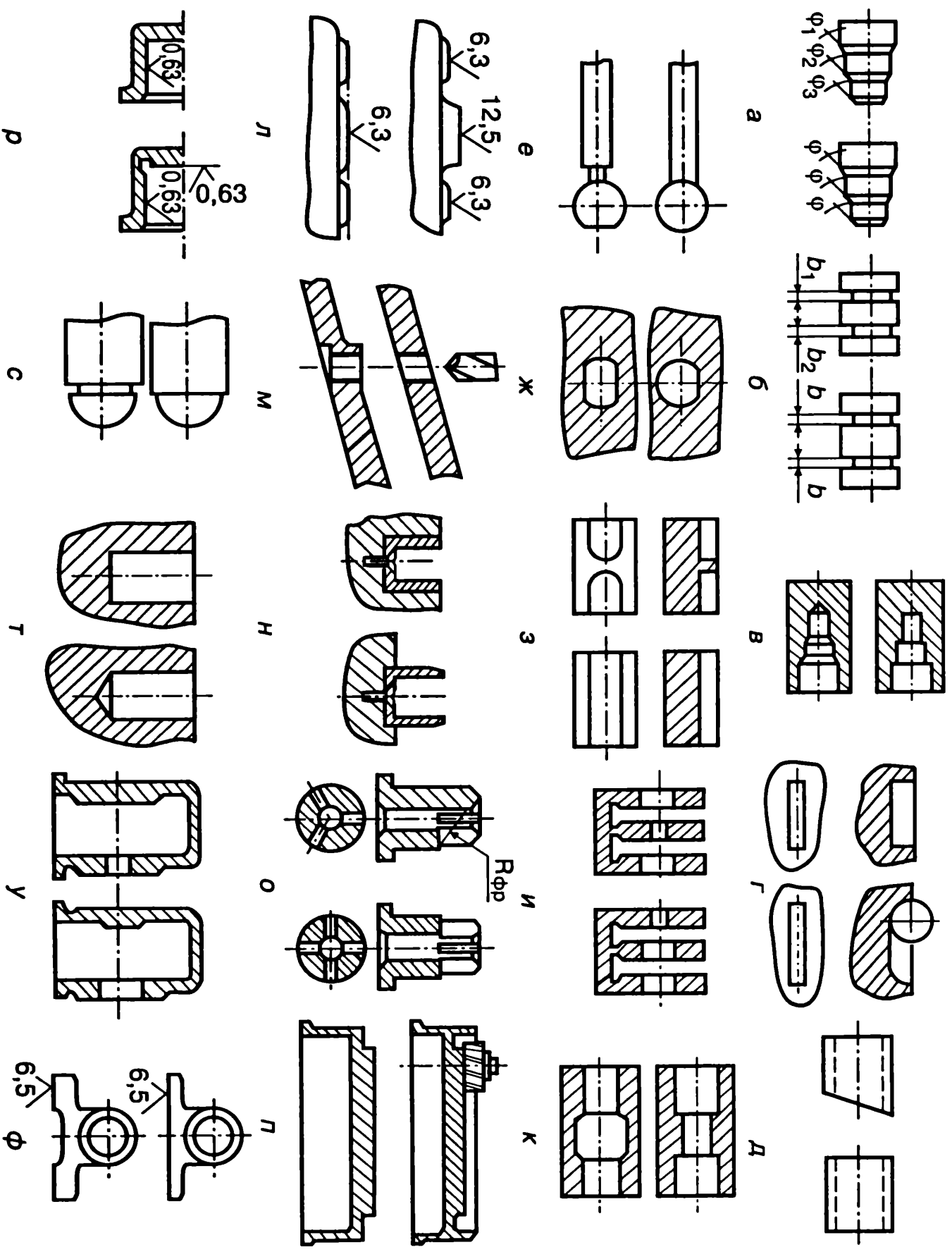


Рис. 2.7. Варианты конструктивного оформления деталей

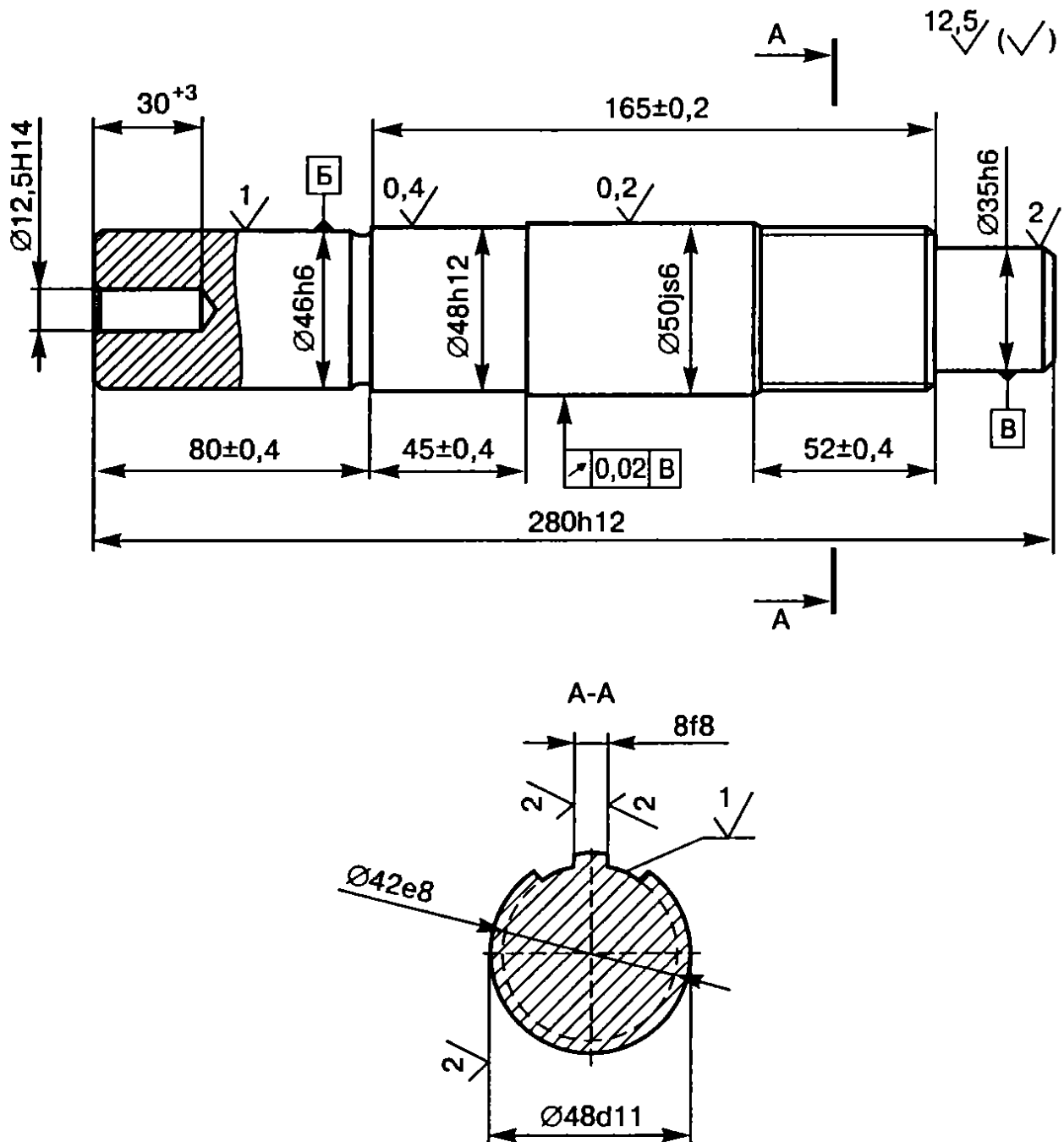


Рис. 2.8. Чертеж детали (к задачам 2.5 и 2.11)

Решение. Из чертежа (см. рис. 2.8) видно, что суммарное количество указанных на чертеже размеров составляет 13, из которых три размера выполняются по 6-му качеству точности, семь размеров — по 14-му и по одному размеру — соответственно по 12, 11 и 8-му качествам. В то же время четыре поверхности имеют среднеарифметическое отклонение профиля $Ra = 2,0$ мкм, восемь поверхностей с шероховатостью $Ra = 15$ мкм и по одной поверхности с $Ra = 0,25$; 1,0 и 6,3 мкм.

Используя формулы (2.1)—(2.4), получим

$$T_{cp} = (14 \cdot 7 + 12 \cdot 1 + 11 \cdot 1 + 8 \cdot 1 + 6 \cdot 3) / 13 = 11,3;$$

$$K_r = 1 - 1/11,3 = 0,91;$$

$$Ra_{cp} = (15 \cdot 8 + 6,3 \cdot 1 + 2,0 \cdot 4 + 1,0 \cdot 1 + 0,25 \cdot 1) \cdot 15 = 9,03 \text{ мкм};$$

$$K_{ш} = 1/9,03 = 0,11.$$

Задача 2.6. Определить технологичность деталей, чертежи которых приведены в прил. 1 (ТМ1—ТМ10), по техническим показателям — коэффициентам точности K_T и шероховатости $K_{ш}$.

Задача 2.7. Определить трудоемкость детали при обработке ее на технологичность, если известно, что трудоемкость изготовления детали-аналога составляет $T_a = 36$ мин при годовом объеме выпуска $N_a = 1000$ шт. Известно также, что масса детали $M_d = 2,2$ кг, ее аналога $M_a = 2,6$ кг, наименьшие квалитет и параметр шероховатости детали и ее аналога соответственно $T_{нм.д} = 8$, $T_{нм.а} = 10$ и $Ra_{нм.д} = 1,25$ мкм, $Ra_{нм.а} = 2,5$ мкм. Годовая программа выпуска детали предполагается $N_d = 1250$ шт.

Решение. В соответствии с формулами (2.1)—(2.5)

$$\begin{aligned}
 K_M &= (2,2/2,6)^{0,67} = 0,894; & K_{T,нм.д} &= 4 \cdot 8^{-0,63} = 1,08; \\
 K_{T,нм.а} &= 4 \cdot 10^{-0,63} = 0,94; & K_{ш,нм.д} &= 1,19 \cdot 1,25^{-0,071} = 1,17; \\
 K_{ш,нм.а} &= 1,19 \cdot 2,5^{-0,071} = 1,11; & K_{сл} &= 1,08 \cdot 1,17 / (0,94 \cdot 1,11) = 1,2; \\
 m &= 0,2 \cdot 2,2^{-0,045} = 0,193; & K_N &= (1000/1250)^{0,193} = 0,96; \\
 T_d &= 36 \cdot 0,894 \cdot 1,2 \cdot 0,96 = 37 \text{ мин.}
 \end{aligned}$$

Таким образом, несмотря на существенное увеличение трудоемкости за счет сложности обработки ($K_{сл} > 1$), технологичность детали по трудоемкости в сравнении с аналогом практически не изменяется, так как уменьшена масса и увеличена годовая программа выпуска.

Задача 2.8. Определить трудоемкость детали при обработке ее на технологичность по вариантам, приведенным в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Исходные данные к задаче 2.8

Ва- риант	Деталь				Деталь-аналог				
	M_d , кг	$T_{нм.д}$	$Ra_{нм.д}$, мкм	N_d , шт.	M_a , кг	$T_{нм.а}$	$Ra_{нм.а}$, мкм	N_a , шт.	T_a , мин
1	2,3	8	2,5	1500	2,8	7	1,25	1000	36,0
2	7,2	10	6,3	2500	6,9	9	2,5	3000	15,8
3	12,4	9	2,5	1000	13,7	10	5,3	1500	42,0
4	1,2	7	0,63	1500	1,5	6	0,32	1000	28,0
5	2,8	6	0,32	60000	2,3	7	0,63	40000	10,6
6	0,8	11	2,5	25000	1,1	10	1,25	30000	31,0
7	6,5	10	1,25	25000	6,1	9	0,63	15000	22,0
8	10,0	10	2,5	1000	9,2	11	6,3	1200	13,5

Ва- риант	Деталь				Деталь-аналог				
	$M_{д'}$ кг	$T_{нм.д}$	$Ra_{нм.д'}$ мкм	$N_{д'}$ шт.	$M_{а'}$ кг	$T_{нм.а}$	$Ra_{нм.а'}$ мкм	$N_{а'}$ шт.	$T_{а'}$ мин
9	21,6	8	1,25	25000	22,8	9	2,5	2000	7,5
10	16,4	7	0,63	500	14,8	6	0,32	1000	26,0
11	8,6	7	1,25	800	10,0	8	2,5	600	18,0
12	2,6	12	6,3	3500	2,9	10	2,5	5000	34,0

2.3. Формирование конструкторско-технологического кода детали

Конструкторско-технологическая классификация широко используется при технологической подготовке производства и управлении им для анализа и группирования номенклатуры деталей по конструктивно-технологическим признакам, разработки типовых, групповых технологических процессов и операций с применением компьютерной техники.

Процесс кодирования заключается в присвоении детали кода классификационных группировок конструктивных признаков по классификатору ЕСКД (шесть знаков) и технологических признаков по технологическому классификатору (14 знаков) [26].

Структура кода деталей, обрабатываемых резанием:

Конструктивные признаки						Технологические признаки																		
х	х	х	х	х	х	х	х	х	х	х	х	х	х	х	х	х	х	х	х	х	х	х	х	х
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20					

1, 2 — класс; 3 — подкласс; 4 — группа; 5 — подгруппа; 6 — вид; 7, 8, 9 — размерная характеристика; 10, 11 — группа материалов; 12 — вид детали по технологическому методу изготовления; 13, 14 — вид исходной заготовки; 15, 16 — качество точности наружных и внутренних поверхностей; 17 — шероховатость или отклонения формы и расположения поверхностей (по важности признака); 18 — степень точности; 19 — вид дополнительной обработки; 20 — характеристика массы.

Порядок присвоения кодов:

1...6 — знаки присваиваются по классификатору ЕСКД [5];

7...20 — знаки присваиваются по технологическому классификатору [26] или по табл. 2.2—2.12.

Табл. 2.2 предназначена для кодирования деталей, являющихся *телами вращения* (кроме гнутых из листов, полос, лент), например: кольца, диски, валы, шпиндели и др. (класс 71); детали с элементами зубчатого зацепления, разрезные втулки и кольца, цанги, секторы и др. (класс 72); прямые детали из прутков и проволоки (класс 74); валы карданные, болты, фрезы, калибры и др. (классы 75, 76).

Табл. 2.3 предназначена для кодирования деталей, являющихся *не телами вращения* (кроме гнутых из листов, полос, лент), например: корпусные, опорные (класс 73); плоскостные, рычажные, шапунные, кулачные и др. (класс 74); кулачки, копиры (классы 75, 76).

Знаки 10—20 присваиваются по следующим таблицам:

Знаки в конструкторско-технологическом коде	Номер таблицы
10, 11	2.4
12	2.5
13, 14	2.6
15, 16	2.7
17	2.8 или 2.9
18	2.10
19	2.11
20	2.12

Таблица 2.2

Кодирование размерной характеристики тела вращения [26]

Код	Наибольший наружный диаметр, мм	Длина, мм	Диаметр центрального отверстия, мм
1	До 4	До 0,2	До 3
2	Свыше 4 до 6	Свыше 0,2 до 0,5	Свыше 3 до 10
3	" 6 " 10	" 0,5 " 0,8	" 10 " 16
4	" 10 " 16	" 0,8 " 1,6	" 16 " 20
5	" 16 " 25	" 1,6 " 2,5	" 20 " 25
6	" 25 " 32	" 2,5 " 6	" 25 " 35
7	" 32 " 40	" 6 " 10	" 35 " 50
8	" 40 " 60	" 10 " 25	" 50 " 60
9	" 60 " 80	" 25 " 45	" 60 " 80
А	" 80 " 100	" 45 " 56	" 80 " 100
Б	" 100 " 120	" 56 " 75	" 100 " 125
В	" 120 " 150	" 75 " 95	" 125 " 160
Г	" 150 " 180	" 95 " 120	" 160 " 200
Д	" 180 " 200	" 120 " 150	" 200 " 250
Е	" 200 " 220	" 150 " 200	" 250 " 320
Ж	" 220 " 320	" 200 " 250	" 320 " 400
И	" 320 " 400	" 250 " 300	" 400 " 500
К	" 400 " 630	" 300 " 350	" 500 " 800
Л	" 630 " 800	" 350 " 500	" 800 " 1000

Кодирование размерной характеристики не тела вращения [26]

Код	Ширина, мм	Длина, мм	Высота, мм
1	До 16	До 25	До 16
2	Свыше 16 до 40	Свыше 25 до 45	Свыше 16 до 40
3	" 40 " 75	" 45 " 75	" 40 " 75
4	" 75 " 95	" 75 " 120	" 75 " 110
5	" 95 " 120	" 120 " 180	" 110 " 140
6	" 120 " 150	" 180 " 300	" 140 " 200
7	" 150 " 180	" 300 " 360	" 200 " 250
8	" 180 " 220	" 360 " 450	" 250 " 300
9	" 220 " 300	" 450 " 600	" 300 " 340
А	" 300 " 380	" 600 " 750	" 340 " 400
Б	" 380 " 480	" 750 " 850	" 400 " 480
В	" 480 " 560	" 850 " 950	" 480 " 560
Г	" 560 " 750	" 950 " 1180	" 560 " 670
Д	" 750 " 950	" 1180 " 1500	" 670 " 750
Е	" 950 " 1180	" 1500 " 1900	" 750 " 950

Таблица 2.4

Кодирование группы материалов [26]

Код	Группа материала	
01	Стали углеродистые	
02	Стали углеродистые конструкционные с предельным содержанием углерода, %	Свыше 0,1 до 0,24
03		Свыше 0,24 до 0,35
04		Свыше 0,35
08	Стали инструментальные углеродистые	
10	Стали легированные (кроме сталей с особыми физическими свойствами)	
11	Стали конструкционные	Низколегированные
12		Легированные
18	Стали инструментальные	Легированные
19		Быстрорежущие
20	Стали и сплавы легированные с особыми физическими свойствами	

Код	Группа материала	
21	Высоколегированные стали и сплавы коррозионно-стойкие, жаростойкие, жаропрочные, кавитационно-стойкие, износостойкие, высокопрочные, сверхвысокопрочные, а также низко-, средне- и высоколегированные теплоустойчивые	
23	Сплавы с высоким электрическим сопротивлением	
25	Прецизионные сплавы с заданными свойствами упругости, заданным температурным коэффициентом линейного расширения и сверхпроводящие прецизионные сплавы	
27	Стали и сплавы магнитомягкие (электротехнические) и магнито-твердые	
30	Чугуны	
31	Чугуны	Серые
32		Простые
33		Модифицированные
34		Ковкие
35		Высокопрочные
40	С особыми свойствами (кроме соответствующих кодам 31...34)	
40	Медь, алюминий и сплавы на их основе (сплавы на основе магния)	
41	Медь	
42	Сплавы на основе меди	Латунь
43		Бронза
44		Медно-никелевые
45	Алюминий	
46	Сплавы на основе алюминия	
48	Сплавы на основе магния	
50	Титан, хром, тугоплавкие металлы, цинк, свинец, олово и сплавы на их основе, благородные металлы и их сплавы, биметаллы	

Таблица 2.5

Кодирование технологического метода изготовления [26]

Код	Вид детали по технологическому методу изготовления
1	Изготавливаемая литьем
2	Изготавливаемая ковкой и объемной штамповкой
3	Изготавливаемая чистовой штамповкой

Код	Вид детали по технологическому методу изготовления
4	Обрабатываемая резанием
5	Термически обрабатываемая
6	Изготавливаемая формованием из полимерных материалов, керамики, стекла и резины
7	С покрытием
8	Обрабатываемая электрофизикохимически
9	Изготавливаемая порошковой металлургией

Таблица 2.6

Кодирование вида исходной заготовки [26]

Код	Вид заготовки		
10	Заготовка, полученная литьем		
11	Литье	в песчаную форму	
12		в форму из жидких самотвердеющих смесей	
13		в песчаную форму, изготовленную под высоким удельным давлением	
14		в металлическую форму	
15		полученное центробежным методом	
16		в оболочковую форму	
17		по выплавляемым моделям	
18		штамповкой жидкого металла	
19		под давлением	
20		Заготовка, полученная обработкой детали давлением	
21	Ковка	на молоте	
22		на прессе	
23		радиальным обжатием	
24	Штамповка	Объемная	Некалиброванная
25			Калиброванная
26		Листовая	
28	Прессованная штучная заготовка		
29	Заготовка, полученная специальными методами давления (взрывом, в вакууме и др.)		
30	Прутки, проволока		

Код	Вид заготовки		
31	Пруток	Круглый	Некалиброванный
32			Калиброванный
33		Шестигранный и квадратный	Некалиброванный
34			Калиброванный

Таблица 2.7

Кодирование качества точности [26]

Код	Квалитет	Код	Квалитет
1	17; 16; 15; 14	4	8; 7; 6; 5
2	13; 12	5	4; 3; 2
3	11; 10; 9	6	1; 0; 01

Таблица 2.8

Кодирование параметра шероховатости [26]

Код	R_a , мкм				R_z , мкм			
1	Свыше	80			Свыше	320		
2	"	10	до	80	"	40	до	320
3	"	2,5	"	10	"	10	"	40
4	"	0,32	"	2,5	"	1,6	"	10
5	"	0,02	"	0,32	"	0,1	"	1,6
6	"	0,008	"	0,02	"	0,032	"	0,1

Таблица 2.9

Кодирование степени точности [26]

Код	Степени точности формы и расположения поверхностей	Код	Степени точности формы и расположения поверхностей
1	17	4	8; 7; 6
2	16; 15; 14; 13	5	5; 4; 3; 2
3	12; 11; 10; 9	6	До 1

Кодирование отклонения формы и расположения поверхностей [26]

Код	Отклонения			
	плоскостности и прямолинейности	цилиндричности, круглости и профиля продольного сечения	параллельности, перпендикулярности, наклона, торцового биения и полного торцового биения	соосности, симметричности и пересечения, осей, радиального биения и полного радиального биения
0	-	-	-	-
1	+	-	-	-
2	-	+	-	-
3	+	+	-	-
4	-	-	+	-
5	+	-	+	-
6	-	+	+	-
7	+	+	+	-
8	-	-	-	+
9	+	-	-	+
А	-	+	-	+
Б	+	+	-	+
В	-	-	+	+
Г	+	-	+	+

Таблица 2.11

Кодирование вида дополнительной обработки [26]

Код	Термическая обработка	Наличие покрытия
0	Без термической обработки	Без покрытия
1		С покрытием
2	С термической обработкой до или между операциями обработки резанием при HRC_3	до 40
3		Без покрытия
4		С покрытием
5		40...53,5
6		Без покрытия
7		С покрытием
8		С термической обработкой после обработки резанием
9	С покрытием	

Кодирование характеристики массы [26]

Код	Масса, кг				Код	Масса, кг			
1			До	0,003	Д	Свыше	10	до	16
2	Свыше	0,003	"	0,006	Е	"	16	"	25
3	"	0,006	"	0,012	Ж	"	25	"	40
4	"	0,012	"	0,025	И	"	40	"	63
5	"	0,025	"	0,05	К	"	63	"	100
6	"	0,05	"	0,1	Л	"	100	"	160
7	"	0,1	"	0,2	М	"	160	"	250
8	"	0,2	"	0,5	Н	"	250	"	400
9	"	0,5	"	1,0	П	"	400	"	630
А	"	1,0	"	1,6	Р	"	630	"	1000
Б	"	1,6	"	2,5	С	"	1000	"	1600
В	"	2,5	"	4,0	Т	"	1600	"	2500
Г	"	4,0	"	10	У	"	2500	"	5000

Задача 2.9. Сформировать конструкторско-технологические коды деталей по прил. 1.

Задача 2.10. Привести описание конструктивно-технологических признаков деталей, коды которых представлены в табл. 2.13.

Таблица 2.13

Конструкторско-технологические коды деталей

Ва-риант	Код	Ва-риант	Код
1	711428.ДБ7124.3124220 В	7	731143.Б98314.1424Г40Ж
2	712556.986084.2433431 В	8	732115.АБ9024.1124530Е
3	716463.АЕ8434.1542842 Г	9	734521.ВДЕ324.1214Е40Р
4	716672.ЕЛ9124.2443530 Г	10	743413.894124.2524742Г
5	721655.АА6124.2434В46 Г	11	753433.542124.28418459
6	722365.БД204.3124557 В	12	761512.896194.3134Б59А

Задача 2.11. Сформировать конструкторско-технологический код детали «вал шлицевый» (см. рис. 2.8), обрабатываемой резанием.

Решение. Для формирования конструкторско-технологического кода детали составляем табл. 2.14.

Расшифровка конструкторско-технологического кода детали

Номер знака	Признак	Содержание признака	Код признака
1, 2	Класс	Деталь — тело вращения	71
3	Подкласс	Наружная цилиндрическая поверхность, L/D свыше 2	5
4	Группа	Без закрытых уступов, ступенчатая, двусторонняя без наружной резьбы	4
5	Подгруппа	С центральным глухим отверстием	2
6	Вид	Со шлицами, без отверстий вне оси детали	3
7, 8, 9	Размерная характеристика, мм	Наибольший наружный диаметр — 50, длина — 280, диаметр отверстия — 12,5	8ИЗ
10, 11	Группа материала	Сталь 45, углеродистая, конструкционная	04
12	Вид детали по технологическому методу	Деталь, обрабатываемая резанием	4
13, 14	Вид исходной заготовки	Прутки круглый, некалиброванный	31
15, 16	Квалитет точности	Наружных поверхностей — 6, внутренних — 14	41
17	Отклонение формы и расположения поверхностей	Радиальное биение (при отсутствии требований по этому параметру кодируется минимальный параметр шероховатости Ra)	8
18	Степень точности	Допуск радиального биения 0,02 мм на диаметре 50 мм относится к 6-й степени точности	4
19	Вид дополнительной обработки	Термообработка HRC_3 42...46,5	4
20	Характеристика массы	Масса детали 4,3 кг	Г

Формирование конструкторско-технологического кода выполнено с применением классификаторов ЕСКД и технологического. При использовании приведенных только в задачнике таблиц вместо 5-го и 6-го признаков проставляются нули. Конструкторско-технологический код детали:

715423.8ИЗ044.3141844Г

Задача 2.12. Описать конструктивно-технологические признаки детали по конструкторско-технологическому коду. Код детали – 721325 ВЖО 124.244446Г.

Решение. Описание конструктивно-технологических признаков детали осуществляется путем декодирования и укрупненного анализа смыслового значения признаков по таблицам задачника. Решение задачи представим в виде табл. 2.15.

Таблица 2.15

Пример описания конструктивно-технологических признаков детали по ее коду. Задан код детали – 721325 ВЖО 124.244446Г

Признак	Код признака	Содержание признака
Класс	72	Деталь — тело вращения
Подкласс	1	С элементами зубчатого зацепления
Группа	3	Цилиндрическая, одновенцовая с модулем свыше 1 мм
Подгруппа	2	С неконсольным зубчатым венцом
Вид	5	Без центрального отверстия с модулем свыше 4,0 до 10 мм включительно со шлицами на наружной поверхности
Размерная характеристика, мм	ВЖО	Наибольший наружный диаметр 120–150, длина 200–250 мм, диаметр центрального отверстия — 0
Группа материала	12	Сталь конструкционная легированная
Технологический метод изготовления	4	Деталь, обрабатываемая резанием
Вид исходной заготовки	24	Штамповка объемная, некалиброванная
Квалитет точности	4	Точность поверхностей <i>IT8 — IT5</i>
Параметр шероховатости	4	Параметр шероховатости поверхности свыше 0,32 до 2,5
Степень точности	4	Степень точности формы и расположения поверхностей 8—6
Вид дополнительной обработки	6	С термической обработкой <i>HRC₃</i> свыше 53,5 без покрытия
Характеристика массы	Г	Масса детали свыше 4,0 до 10 кг

2.4. Определение типа производства

Согласно ГОСТ 3.1108–74 ЕСТД и ГОСТ 14.004–74 ЕСТПП одной из основных характеристик типа производства является коэффициент закрепления операций $K_{з.о}$.

Коэффициент $K_{3,0}$ показывает отношение числа всех операций, выполняемых или подлежащих выполнению в цехе (на участке) в течение месяца, к числу рабочих мест, т.е. характеризует число операций, приходящихся в среднем на одно рабочее место в месяц, или степень специализации рабочих мест. При $K_{3,0} \leq 1$ производство массовое; если $1 < K_{3,0} \leq 10$ — крупносерийное; если $10 < K_{3,0} \leq 20$ — среднесерийное; если $20 < K_{3,0} \leq 40$ — мелкосерийное. В единичном производстве $K_{3,0}$ не регламентируется.

В соответствии с [1] при расчетах для действующего цеха (участка)

$$K_{3,0} = \sum P_o / P_{\text{я}} = K_{\text{в}} \Phi \frac{\sum P_o}{\sum N_i T_i}, \quad (2.12)$$

- где $\sum P_o$ — суммарное число различных операций;
 $P_{\text{я}}$ — явочное число рабочих подразделения, выполняющих различные операции;
 $K_{\text{в}}$ — коэффициент выполнения норм, $K_{\text{в}} = 1,3$;
 Φ — месячный фонд времени рабочего при работе в одну смену, ч;
 $\sum N_i T_i$ — суммарная трудоемкость программы выпуска, ч;
 N_i — программа выпуска каждой i -й позиции номенклатуры;
 T_i — трудоемкость i -й позиции, ч.

В условиях учебного технологического проектирования при заданной годовой программе выпуска $N_{\text{г}}$, шт., и известной трудоемкости основных операций технологического процесса $T_{\text{ш.к}}$, мин, явочное число рабочих $P_{\text{я}}$ может быть принято равным числу рабочих мест $P_{\text{р.м}}$. В то же время условное число однотипных операций P_{oi} , выполняемых на одном рабочем месте, может быть определено как

$$P_{oi} = \eta_{\text{н}} / \eta_{\text{ф}}, \quad (2.13)$$

где $\eta_{\text{н}}$ — нормативный коэффициент загрузки рабочего места всеми закрепленными за ним операциями;

$\eta_{\text{ф}}$ — фактический коэффициент загрузки данной операцией.

Рассчитывается фактический коэффициент загрузки по формуле

$$\eta_{\text{ф}} = \frac{T_{\text{ш.к}} N_{\text{г}}}{60 F_{\text{д}} K_{\text{в}}}, \quad (2.14)$$

где $K_{\text{в}}$ — коэффициент выполнения норм;

$F_{\text{д}}$ — действительный годовой фонд времени работы оборудования, ч.

Приняв по справочным данным $K_B = 1,3$; $\eta_H = 0,8$ и $F_D = 4015$ ч, получим

$$P_{oi} = \frac{60\eta_H F_D K_B}{N_\Gamma T_{ш.к}}, \quad (2.15)$$

$$K_{з.о} = \frac{250536}{N_\Gamma P_{р.м}} \sum_1^{P_{р.м}} \frac{1}{T_{ш.ки}}. \quad (2.16)$$

Задача 2.13. Определить условное число однотипных операций P_{oi} , выполняемых на каждом рабочем месте, коэффициент закрепления операций $K_{з.о}$ и тип производства при реализации технологических процессов изготовления двух деталей, используя исходные данные (табл. 2.16).

Решение. Для варианта 12, детали 23 (см. табл. 2.16)

$$P_{o1} = \frac{250536}{3000 \cdot 3,6} = 23,2; \quad P_{o2} = 16,1; \quad P_{o3} = 29,8; \quad P_{o4} = 10,1; \quad P_{o5} = 19,9;$$

$$K_{з.о} = \frac{250536}{3000 \cdot 5} \left(\frac{1}{3,6} + \frac{1}{5,2} + \frac{1}{2,8} + \frac{1}{8,3} + \frac{1}{4,2} \right) = 19,8.$$

В соответствии с тем, что $K_{з.о} < 20$, производство среднесерийное.

Таблица 2.16

Исходные данные для определения типа производства

Ва- риант	Номер детали	$T_{ш.к}$ на операцию, мин						N_i , шт.
		005	010	015	020	025	030	
1	1	3,3	4,8	4,6	5,9	6,3	7,5	4500
	2	2,1	5,3	8,8	7,5	1,8	11,2	10 000
2	3	4,7	7,8	5,4	10,3	15,2	—	2500
	4	5,2	4,3	12,4	4,8	1,2	3,8	7500
3	5	1,2	0,8	2,1	2,8	1,9	0,7	15 000
	6	12,0	32,3	15,6	10,3	9,2	—	1500
4	7	15,0	42,0	11,3	7,4	—	—	1000
	8	0,9	1,2	7,1	3,4	5,3	—	10 000
5	9	3,0	4,5	6,3	5,4	1,2	1,7	7500
	10	1,2	2,1	0,9	1,8	3,2	—	30 000
6	11	5,0	6,2	4,2	7,8	8,3	5,4	1500
	12	3,8	4,3	12,0	6,3	—	—	3800

Ва- риант	Номер детали	T _{ш.к} на операцию, мин						N _p , шт.
		005	010	015	020	025	030	
7	13	7,0	6,5	8,3	5,4	7,8	2,4	10 000
	14	4,0	7,0	2,2	3,5	4,7	—	50 000
8	15	2,7	1,8	3,9	4,6	6,6	—	1500
	16	7,0	8,0	9,0	10,0	7,5	8,5	5000
9	17	13,5	6,8	7,5	14,0	3,5	—	1500
	18	3,0	4,5	2,9	7,4	1,8	—	12 000
10	19	9,5	36,0	14,0	22,0	—	—	4000
	20	1,8	6,7	3,8	12,0	6,1	5,3	25 000
11	21	6,5	4,3	11,2	7,8	1,2	3,4	1000
	22	0,8	1,7	1,9	0,6	1,4	3,2	40 000
12	23	3,6	5,2	2,8	8,3	4,2	—	3000
	24	26,0	14,0	43,0	8,0	—	—	1000

Глава 3. ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДА ПОЛУЧЕНИЯ ЗАГОТОВОК

Оптимальный метод получения заготовки выбирают, анализируя ряд факторов: материал детали, технические требования на ее изготовление, объем и серийность выпуска, форму поверхностей и размеры деталей. Метод получения заготовки, обеспечивающий *технологичность и минимальную себестоимость*, считается оптимальным.

3.1. Определение вида заготовок и способов их изготовления

Максимально приблизить геометрические формы и размеры заготовки к размерам и форме готовой детали — одна из главных задач в заготовительном производстве. Оптимизируя выбор метода и способа получения заготовки, можно не только снизить затраты на ее изготовление, но и значительно сократить трудоемкость механической обработки.

В машиностроении для получения заготовок наиболее широко применяют следующие методы:

- литье;
- обработку металлов давлением;
- сварку;
- комбинации этих методов.

Каждый метод содержит большое число способов получения заготовок.

Вид заготовок и способ их изготовления для конкретной детали определяются такими показателями, как:

- материал;
- конструктивная форма;
- серийность производства;
- масса заготовки.

Материал является одним из важных признаков, определяющих метод получения заготовок. Наиболее широко используемые материалы объединены в 7 групп. Код группы определяется по табл. 3.1 на основе данных чертежа детали.

Таблица 3.1

Классификация материалов по группам

Вид материала	Код группы
Стали углеродистые	1
Чугуны	2
Литейные сплавы	3
Высоколегированные стали и сплавы	4
Низкоуглеродистые стали	5
Легированные стали	6
Прокатанные материалы	7

Конструктивные формы деталей общего машиностроения делятся на 14 видов. Соответствующий код выбирается на основе сравнения реальной детали с описанием типовых деталей, представленных в табл. 3.2.

Чтобы найти **серийность производства**, необходимо знать массу детали (согласно чертежу) и задаться конкретной программой выпуска. Код серийности определяется по табл. 3.3.

По **массе** заготовки сгруппированы в 8 диапазонов, которые выбираются по табл. 3.4 и 3.5.

Для удобства использования в работе по выбору возможных вариантов наиболее часто применяемые способы получения заготовок в машиностроении закодированы в интервале от I до II и представлены в табл. 3.6.

Таким образом, определив коды по каждому из четырех факторов, составим перечень возможных видов и способов получения заготовок для данной детали согласно табл. 3.7:

1. По коду материала детали находим соответствующие строки таблицы.

2. По коду серийности производства уточняем место строки внутри соответствующего материала.

3. Код конструктивной формы определяет окончательное место строки данных в соответствующем коде серийности.

4. Код массы детали уточняет горизонталь в строке нужного кода формы детали, которая указывает перечень кодов вида заготовок.

Конструктивная форма детали

Основные признаки детали	Код
Валы гладкие круглого или квадратного сечения	1
Валы круглого сечения с одним уступом или фланцем, с буртом или выемкой без центрального отверстия	2
Детали с цилиндрической, конической, криволинейной и комбинированными формами поверхностей без центрального отверстия и с отверстием, длиной $L \leq 0,5D$	3
То же, $0,5 < L < 2D$	4
То же, $L > 2D$	5
Детали с цилиндрической, конусной, криволинейными поверхностями, с гладкой или ступенчатой наружной поверхностью со сквозным или глухим гладким или ступенчатым отверстием	6
Детали круглые в плане или близкие к этой форме, имеющие гладкую или ступенчатую наружную цилиндрическую поверхность с одно- или двусторонними уступами и ступицами, с центральным отверстием или без него, длиной $0,5D_0 < L < 2D_0$	7
Детали сложной пространственной формы	8
Детали с удлиненной, прямолинейной, изогнутой осью и пересекающимися главными осями	9
Корпусные детали, имеющие сочетания призматической, цилиндрической и других форм наружной поверхности с наличием базовых отверстий и установочных плоскостей, с полостью и без нее, имеющие на поверхности ребра, углубления, выступы, бобышки и отверстия	10
Детали с призматической, цилиндрической или с сочетанием криволинейной или призматической форм наружных поверхностей с привалочной поверхностью в виде прямоугольных, круглых фланцев, имеющие ребра, углубления, выступы	11
Коробчатые разъемные корпуса с установочной поверхностью \parallel и \perp относительно плоскости разъема, имеющие одну и более базовых поверхностей, а также ребра, углубления, выступы	12
Детали простой конфигурации, ограниченные гладкими и ступенчатыми, плоскими, цилиндрическими и комбинированными поверхностями с наличием ребер, буртов, бобышек, фланцев и отверстий	13
Тонкостенные полые детали с цилиндрической, конической и комбинированными формами наружной поверхности и детали типа дисков и крышек	14

Определение серийности производства заготовок

Вид заготовки	Программа выпуска при массе детали, кг			Код серийности
	10	100	1000	
Штамповка, поковка	500	250	60	1
	1000	400	300	2
	2500	1000	600	3
	3500	1000	600	4
Прокат	500	250	60	1
	1000	400	300	2
	3500	1000	600	3, 4
Отливка	2000	600	300	1
	12 000	4000	1500	2
	30 000	8000	7000	3, 4

Таблица 3.4

Диапазоны отливок, поковок и штамповок по массе

Масса, кг	Номер диапазона	Масса, кг	Номер диапазона
До 0,63	1	10,0—63	5
0,63—1,6	2	63—100	6
1,6—4,0	3	100—400	7
4,0—10,0	4	Свыше 400	8

Таблица 3.5

Диапазоны диаметров проката

Диаметр, мм	Номер диапазона	Диаметр, мм	Номер диапазона
До 5	1	100—140	5
5—30	2	140—210	6
30—50	3	210—250	7
50—100	4	Свыше 250	8

Виды заготовок и способы их изготовления

Способ производства заготовок	Код	Коэффициент $K_{в.т}$
Литье в песчано-глинистые формы	1	0,7
Центробежное литье	2	0,85
Литье под давлением	3	0,91
Литье в кокиль	4	0,8
Литье в оболочковые формы	5	0,9
Литье по выплавляемым моделям	6	0,91
Штамповка на молотах и прессах	7	0,8
Штамповка на горизонтально-ковочных машинах	8	0,85
Свободная ковка	9	0,6
Прокат	10	0,4
Сварные заготовки	11	0,95

Коды вида заготовок с указанием конкретных способов изготовления расшифровываются согласно табл. 3.6. Это рекомендательная операция для данной детали на первом этапе решения поставленной задачи.

Задача 3.1. Определить возможные виды и способы получения заготовок для детали «вал-шестерня» — черт. ТМ1 (см. прил. 1). Годовая программа выпуска — 10 000 шт.

Решение. 1. Определяем четыре основных показателя детали:

материал — сталь 25 ХГНМТ; по табл. 3.1 для данной марки стали определяем код — 5;

серийность производства — по табл. 3.3; вид заготовок — штамповки, поковки, прокат, масса — 6,3 кг, программа выпуска — 10 000; определяем код — 4;

конструктивная форма — по табл. 3.2; основные признаки детали — в соответствии с чертежом; определяем код — 2;

масса заготовки — по табл. 3.4 определяем для 6,3 кг соответствующий код — 4.

2. Выбираем возможные виды и способы получения заготовок для данной детали, учитывая определенные выше коды четырех основных показателей детали:

код материала — 6;

код серийности — 4;

код конструктивной формы — 2;

код массы — 4.

Из табл. 3.7 по определенным ранее кодам 6 — 4 — 2 — 4 из графы таблицы «Вид заготовки» выписываем рекомендуемые коды видов: 7, 8, 9, 10.

Выбор возможных видов и способов изготовления заготовок

Код признака				
Материал	Серийность	Конструктивная форма	Масса детали	Вид заготовки (способ изготовления)
1...3	1	—	1...6	1
	2...4	1	1...6 7 8	1, 4...6 1, 4, 5 1, 4, 5
		2	1...6 7 8	1, 4...6 1, 4, 5 1, 4
		3, 4	1...6 7 8	1, 2, 4...6 1, 4, 5 1, 2, 4
		5	1...6 7 8	1...6 1, 2, 4, 5 1, 2, 4
		6	1...6 7 8	1, 2, 4...6 1, 2, 4, 5 1, 2, 4
		7	1...6 7 8	1...6 1, 2, 4 1, 4...6
		8, 9	1...6 7 8	1, 4...6 1, 4, 5 1, 4
		10	1...6 7 8	1, 3...6 1, 4, 5 1, 4
		11, 12	1...6 7 8	1, 3...6, 11 1, 4, 5, 11 1, 4, 11
		13	1...6 7 8	1...6 1, 2, 4, 5 1, 2, 4
		14	1...8	1, 2, 11
		4...7	1	1...7 8 9 10...12 13, 14

Код признака				
Материал	Серийность	Конструктивная форма	Масса детали	Вид заготовки (способ изготовления)
4...7	2...4	1	1...8	9, 10
		2...7		7...10
		8		7, 9
		9		7...9
		10...12		11
		13, 14		7, 11

Используя табл. 3.6, расшифровываем вычисляемые коды видов заготовок:

7 — штамповка на молотах и прессах;

8 — штамповка на горизонтально-ковочных машинах;

9 — свободная ковка;

10 — прокат.

Определив возможные виды получения заготовки для детали «вал-шестерня», завершаем данный этап.

Задача 3.2. Определить возможные виды и способы получения заготовок для следующих деталей (табл. 3.8).

Таблица 3.8

Исходные данные к задаче 3.2

Вариант	Деталь	Номер чертежа (см. прил. 1)	Годовая программа выпуска, шт.
1	Фланец кулака	ТМ2	1000
2			10 000
3			40 000
4	Серьга	ТМ3	50
5			1000
6			5000
7	Шестерня	ТМ5	1000
8			5000
9			10 000
10	Корпус	ТМ6	100
11			2000
12			10 000
13	Шестерня	ТМ7	1000
14			5000
15			10 000

Вариант	Деталь	Номер чертежа (см. прил. 1)	Годовая программа выпуска, шт.
16 17 18	Фланец	ТМ8	100
			1000
			5000
19 20 21	Корпус	ТМ9	50
			1000
			5000
22 23 24	Крышка	ТМ10	50
			500
			5000

3.2. Технико-экономическое обоснование выбора заготовки

Проводимые на первом этапе исследования позволяют определить рекомендуемые способы получения заготовок для чертежей деталей ТМ1—ТМ10. Окончательное решение о выборе конкретного способа из полученного перечня (результаты первого этапа) принимается после определения и сравнения *себестоимости получения заготовки* для каждого из рекомендуемых видов.

Себестоимость производства заготовок, без учета затрат на предварительную механическую обработку, для способов литья и обработки давлением определяется по зависимости

$$C_{\text{заг}} = \left[\frac{C + K_{\text{т.о}}}{1000} G_{\text{заг}} K_{\text{т}} K_{\text{с}} - (G_{\text{заг}} - G_{\text{д}}) \frac{S_{\text{отх}}}{1000} \right] K_{\text{ф}}, \quad (3.1)$$

- где C — базовая стоимость 1 т заготовок, руб./т (табл. 3.9—3.12);
 $K_{\text{т.о}}$ — коэффициент доплаты за термическую обработку и очистку заготовок, руб./т (табл. 3.13);
 $G_{\text{заг}}$ — масса заготовки, кг;
 $K_{\text{т}}$ — коэффициент, учитывающий точностные характеристики заготовок (табл. 3.14);
 $K_{\text{с}}$ — коэффициент, учитывающий серийность выпуска заготовок (табл. 3.15—3.17);
 $G_{\text{д}}$ — масса детали, кг (см. чертеж детали);
 $S_{\text{отх}}$ — стоимость 1 т отходов (стружки), руб.;
 $K_{\text{ф}}$ — коэффициент, учитывающий инфляцию (по отношению к ценам 1991 г.).

Оптовая цена 1 т отливок из чугуна, руб.

Масса одной отливки, кг	Группа сложности					
	1	2	3	4	5	6
4,5	322	401	496	590	704	843
5,65	316	394	486	579	691	827
7,15	310	386	477	569	677	811
9	304	379	468	557	665	796

Таблица 3.10

Оптовая цена 1 т отливок из стали, руб.

Масса одной отливки, кг	Группа сложности					
	1	2	3	4	5	6
14,25	352	439	542	645	770	922
18	346	431	533	634	756	906
22,5	341	424	524	623	744	891
28,25	335	417	515	613	732	876

Таблица 3.11

Оптовая цена 1 т поковок, руб.

Масса одной поковки, кг	Группа сложности			
	1	2	3	4
2,825	398	452	506	567
3,575	382	432	485	544
4,5	368	418	468	524
5,65	354	403	450	504
7,15	342	389	435	486
9	332	376	422	472
11,25	321	365	409	458

Масса заготовки

$$G_{\text{заг}} = \frac{G_{\text{д}}}{K_{\text{в.т}}}, \quad (3.2)$$

где $K_{\text{в.т}}$ — коэффициент весовой точности (см. табл. 3.6).

Оптовая цена 1 т штамповок, руб.

Масса одной штамповки, кг	Группа сложности			
	1	2	3	4
1,8	508	577	647	724
2,25	482	548	613	686
2,825	457	519	582	651
3,575	439	499	558	625
4,5	422	480	538	602
5,65	407	463	517	579
7,15	393	446	500	559
9	381	432	484	542
11,25	369	419	469	526

Таблица 3.13

Доплаты за термообработку и очистку заготовок

Вид термообработки	$K_{т.о.}$, руб./т
Отжиг	15
Нормализация	25
Очистка от окалины	8

Таблица 3.14

Коэффициент K_t , учитывающий класс точности размеров в зависимости от способов литья

Способ литья	K_t
В песчано-глинистые формы (ПГФ), в оболочковые формы	1,165
В кокиль, центробежное литье	1,27
По выплавляемым моделям	1,67

Таблица 3.15

Коэффициент K_c , учитывающий серийность выпуска заготовок-поковок массой 2,5–10 кг

Число поковок в годовом заказе, шт.	K_c
125 и менее	1,5
126—250	1,25
251—500	1,1
Свыше 501	1

Коэффициент K_c , учитывающий серийность выпуска штамповок

Группа серийности	Число горячих штамповок в годовом заказе при массе одной штамповки, кг				K_c
	1,6—2,5	2,5—4,0	4,0—10	10—25	
5	700 и менее	650 и менее	500 и менее	400 и менее	По договорам с покупателем
4	701—1400	651—1250	501—1000	401—750	1,3
3	1401—4500	1251—4000	1001—3500	751—3000	1,15
2	4501—120 000	4001—100 000	3501—75 000	3001—50 000	1,0
1	Свыше 120 000	Свыше 100 000	Свыше 75 000	Свыше 50 000	0,9

Таблица 3.17

Коэффициент K_c , учитывающий серийность выпуска отливок

Размер партии, шт.	K_c	Размер партии, шт.	K_c
Менее 200	1,23	12 001—20 000	1,03
201—1000	1,15	20 001—75 000	1,0
1001—4000	1,1	75 001—200 000	0,97
4001—12 000	1,06		

Сравнение способов производства заготовок по их себестоимости позволяет выбрать оптимальный метод и способ.

Задача 3.3. Определить себестоимость изготовления заготовки для детали «вал-шестерня», полученной штамповкой на молотах, — черт. ТМ1 (см. прил. 1). Годовая программа выпуска — 10 000 шт.

Решение. Себестоимость производства заготовки — штамповки на молотах определяется по зависимости (3.1):

$$1) G_{\text{заг}} = \frac{G_{\text{д}}}{K_{\text{в.т}}}$$

Так как $K_{\text{в.т}} = 0,8$ (см. табл. 3.6), $G_{\text{д}} = 6,3$ кг, то

$$G_{\text{заг}} = \frac{6,3}{0,8} = 7,9 \text{ кг};$$

$$2) C = C_1 - \frac{(C_1 - C_2)(G_{\text{заг}} - M_1)}{M_2 - M_1}.$$

Так как $M_1 = 7,15$ кг, $M_2 = 9$ кг, $C_1 = 446$ руб., $C_2 = 432$ руб. (см. табл. 3.12), то

$$C = 446 - \frac{(446 - 432)(7,9 - 7,15)}{9 - 7,15} = 440,3 \text{ руб.};$$

$$3) C_{\text{заг}} = \left[\frac{C + K_{\text{т.о}}}{1000} G_{\text{заг}} K_{\text{т}} K_{\text{с}} - (G_{\text{заг}} - G_{\text{л}}) \frac{S_{\text{отх}}}{1000} \right] K_{\text{ф}}.$$

Так как $K_{\text{т.о}} = 8$ (см. табл. 3.13), $K_{\text{т}}$ для штамповок, поковок, проката не учитывается, $K_{\text{с}} = 1$ (см. табл. 3.16), $S_{\text{отх}} = 27$ руб./т, $K_{\text{ф}} = 5$, то

$$C_{\text{заг}} = \left[\frac{440,3 + 8}{1000} \cdot 7,9 \cdot 1 - (7,9 - 6,3) \frac{27}{1000} \right] \cdot 5 = 17,5 \text{ руб.}$$

Итак, стоимость заготовки-штамповки для ТМ1 — 17,5 руб.

Аналогично определяют стоимости различных вариантов получения заготовок в задаче 3.3. Второй этап решения задачи по выбору способа получения заготовки — сравнение различных методов получения заготовки.

Глава 4. РАСЧЕТЫ ПОГРЕШНОСТЕЙ ПРИ УСТАНОВКЕ ЗАГОТОВОК В ПРИСПОСОБЛЕНИЯ

4.1. Определение составляющих погрешности установки

Обеспечение заданной точности механической обработки с использованием приспособлений в значительной мере зависит от выбора технологических баз и схемы установки заготовок. Обработка заготовок в приспособлениях на предварительно настроенных станках (способ автоматического получения размеров) исключает разметку заготовок и последующую выверку их положения на станке. Однако при этом возникает погрешность установки [24].

$$\varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_б^2 + \varepsilon_{з.о}^2} + \varepsilon_{з.и} + \varepsilon_{и} + \varepsilon_{уc} + \varepsilon_c, \quad (4.1)$$

- где $\varepsilon_б$ — погрешность базирования;
 $\varepsilon_{з.о}$ — погрешность закрепления основная;
 $\varepsilon_{з.и}$ — погрешность закрепления, связанная с изменением формы поверхности контакта установочного элемента в результате его износа;
 $\varepsilon_{и}$ — погрешность, определяемая прогрессирующим износом установочных элементов;
 $\varepsilon_{уc}$ — погрешность изготовления и сборки опор установочного приспособления;
 ε_c — погрешность установки и фиксации приспособления на станке.

В совокупности погрешности $\varepsilon_{и}$, $\varepsilon_{уc}$ и ε_c представляют собой погрешность положения заготовки в приспособлении $\varepsilon_{пр}$.

Точность выполнения заданных размеров H может быть определена как

$$T_H = \varepsilon_y + \omega, \quad (4.2)$$

- где T_H — допуск выполняемого размера H ;
 ω — средняя точность обработки на металлообрабатывающих станках, данные о которой приведены в [22].

Для принятого метода обработки и схемы установки заготовки ожидаемая (расчетная) точность обработки $T_H^{\text{расч}}$ не должна превышать допуска выполняемого размера:

$$T_H^{\text{расч}} \leq T_H. \quad (4.3)$$

В связи с расчетом ожидаемой точности обработки инженеру-технологу приходится решать следующие задачи:

- определение погрешности базирования в зависимости от принятой схемы установки заготовки в приспособлении или выбор схемы установки, обеспечивающей минимальную погрешность базирования (задачи 4.1—4.14 и 4.22—4.32);
- определение погрешности закрепления в зависимости от непостоянства сил зажима, неоднородности шероховатости и волнистости поверхностей заготовок, износа установочных элементов приспособлений (задачи 4.15—4.18);
- определение погрешности, вызываемой износом установочных элементов, и определение межремонтного периода приспособлений (задачи 4.19—4.21);
- определение исполнительных размеров установочных и направляющих элементов, обеспечивающих заданную точность обработки и возможность установки заготовок (задачи 4.33—4.50).

При расчете погрешности базирования ϵ_b следует использовать универсальные расчетные модули, приведенные в табл. 4.1 (см. с. 75) или в учебном пособии [3].

Для определения погрешности закрепления ϵ_z или $\epsilon_{z,0}$ и $\epsilon_{z,n}$ все необходимые данные изложены в табл. 4.2 (см. с. 82) и в справочнике [24].

Точность приспособлений является важнейшим фактором, обеспечивающим точность изготовления деталей. Новое приспособление имеет вполне определенный запас точности, однако в процессе эксплуатации изнашиваются его установочные и направляющие элементы, приспособление теряет требуемую точность. Необходим его ремонт, поэтому важно уметь определять межремонтный период приспособления.

Линейный износ установочных элементов приспособления (опор) u определяет погрешность ϵ_n : для опор $\epsilon_n = u$, для призм

$$\epsilon_n = \frac{u}{\sin \frac{\alpha}{2}}, \text{ где } \alpha \text{ — угол призмы. Величина } u \text{ вычисляется по}$$

уравнению

$$u = \frac{N \cdot K_y (1 + 0,003L) \cdot 0,79t_m}{m - m_1 \Pi_1 - m_2 \frac{0,1Q}{F \cdot HV}}, \quad (4.4)$$

- где N — число устанавливаемых заготовок;
 K_y — коэффициент, учитывающий условия обработки [24];
 L — длина пути скольжения заготовки по опорам при до-
 сылке ее до упора, мм (определяется исходя из условий
 эксплуатации приспособления);
 t_m — машинное время обработки заготовки в приспособле-
 нии, мин;
 m, m_1, m_2 — коэффициенты [3];
 Π_1 — критерий износостойкости [24];
 Q — нагрузка на опору, Н;
 F — площадь касания опоры с базовой поверхностью заго-
 товки, мм² [24];
 HV — твердость материала опоры по Виккерсу [24]
 ($HV = 11,6 HRC_3$).

Межремонтный период Π_k , определяющий необходимость заме-
 ны или восстановления установочных элементов приспособле-
 ния, рассчитывается по уравнению:

$$\Pi_k = \frac{12k[N]}{N_r}, \text{ месяцев}, \quad (4.5)$$

- где k — коэффициент запаса, учитывающий нестабильность из-
 нося установочных элементов ($k = 0,8 \dots 0,85$);
 $[N]$ — допустимое число устанавливаемых заготовок до пре-
 дельного износа установочных элементов, определяе-
 мое из уравнения (4.4);
 N_r — годовая программа выпуска деталей.

Допустимая величина износа $[u]$ определяется допустимой вели-
 чинной погрешности $[\epsilon_n]$: для опор $[u] = [\epsilon_n]$, для призм $[\epsilon_n] = \frac{[u]}{\sin \frac{\alpha}{2}}$.

Величина $[\epsilon_n]$ в предположении, что погрешности ϵ_{yc} и ϵ_c можно
 компенсировать настройкой станка, рассчитывается как

$$[\epsilon_n] = T_H - \omega - \sqrt{\epsilon_6^2 + \epsilon_{3.0}^2} - \epsilon_{3.и}. \quad (4.6)$$

Для выполнения операций механической обработки на металлорежущих станках наиболее часто применяется схема установки заготовок, когда комплект технологических баз состоит из плоской поверхности (поверхностей) и отверстия или плоскости и наружной цилиндрической поверхности. При этом базирование заготовок производится с помощью опорных пластин (штырей), установочных пальцев (цилиндрических и срезанных), центрирующих втулок с гарантированным зазором, а на оправки цилиндрические — с гарантированным зазором или натягом [7].

Установочные пальцы (оправки) при установке заготовок с гарантированным зазором изготавливаются с полями допусков $g5$, $g6$, $f6$, $f7$, $e7$, центрирующие втулки — $G5$, $G6$, $G7$, $F7$, а цилиндрические оправки для установки заготовок с натягом производятся с полями допусков валов n , p , r , s , t 5-го и 6-го квалитетов. Однако для каждого конкретного случая поле допуска на исполнительные размеры установочных элементов определяется из условия обеспечения неподвижности заготовки или возможности установки заготовок и обеспечения заданной точности размеров в соответствии с уравнением (4.2).

Допуски на диаметры отверстий кондукторных втулок назначают в зависимости от исполнительных размеров режущего инструмента и точности обрабатываемых отверстий [24]. Отклонения отсчитывают от наибольшего предельного размера инструмента.

4.1.1. Расчет погрешности базирования

Для расчета ϵ_6 используются три основных расчетных модуля (табл. 4.1), характеризующихся геометрией соединения базовых поверхностей заготовок и поверхностей установочных элементов:

- плоскость — плоскость;
- цилиндр — призма (плоскость);
- цилиндр — цилиндр.

В случае если на точность выполнения размера влияют одновременно две базы, следует пользоваться *комбинированным модулем*, представляющим собой сочетание любых двух модулей из вышеназванных.

При расчете ϵ_6 с использованием комбинированного модуля, схема которого приведена на рис. 4.4, выделяют две группы размеров:

а) *линейные*, размерная стрелка которых параллельна линии, проходящей через центры баз (H_{in1} , H_{in2});

б) *угловые*, размерная стрелка которых перпендикулярна линии, проходящей через центры баз (H_{iy}).

Модули для расчета погрешности базирования

Модуль	Схема установки	Выдерживаемый размер	Погрешность базирования
Плоскость — плоскость	Рис. 4.1	H_i H_{ii}	0 $\lambda_1 T_{A_i}$
Цилиндр — призма (плоскость)	Рис. 4.2	$H_i O$	$\frac{\lambda_1}{2} T_d \frac{\sin \gamma}{\sin(\alpha/2)}$
		$H_i O_i$	$\frac{\lambda_1}{2} T_d \frac{\sin \gamma}{\sin(\alpha/2)} + \lambda_1 T_{A(R)}$
		$H_i B$	$\frac{\lambda_1}{2} T_d \frac{\sin \gamma}{\sin(\alpha/2)} + T_d$
		$H_i H$	$\frac{\lambda_1}{2} T_d \frac{\sin \gamma}{\sin(\alpha/2)} - T_d$
		При использовании самоцентрирующихся призм во всех зависимостях составляющая $T_d \frac{\sin \gamma}{\sin(\alpha/2)} = 0$. Плоскость рассматривается как призма с углом $\alpha = 180^\circ$	
Цилиндр — цилиндр	Рис. 4.3	H_i, H'_i	$\lambda_2 [T_{d(D)} + T_{D(d)}] + S_{\min}$
		H_{ii}	$\lambda_2 [T_{d(D)} + T_{D(d)}] + S_{\min} + \lambda_1 T_{R(A)} + 2e$
		При использовании самоцентрирующихся установочных элементов:	
		H_i	0
		H'_i	$\lambda_1 \frac{T_{D(d)}}{2}$
		H_{ii}	$\lambda_1 T_{R(A)} + 2e$
Примечание. T_{A_i} , $T_{d(D)}$, $T_{A(R)}$ — поля допусков соответствующих размеров; S_{\min} — минимальный зазор; e — отклонение от соосности внутреннего и наружного диаметров заготовки; $\lambda_1 = 0,97$, $\lambda_2 = 0,517$ — вероятностные коэффициенты, учитывающие распределение размеров в пределах поля допуска.			

Индексы 1 и 2 означают, что параметры соответствуют сопряжениям по соответствующим базам.

Шифр 1 присваивается базе, лишаящей заготовку большего числа степеней свободы в сравнении со второй базой. Для размеров H_{i11} погрешность ϵ_6 определяется по одному из трех предыду-

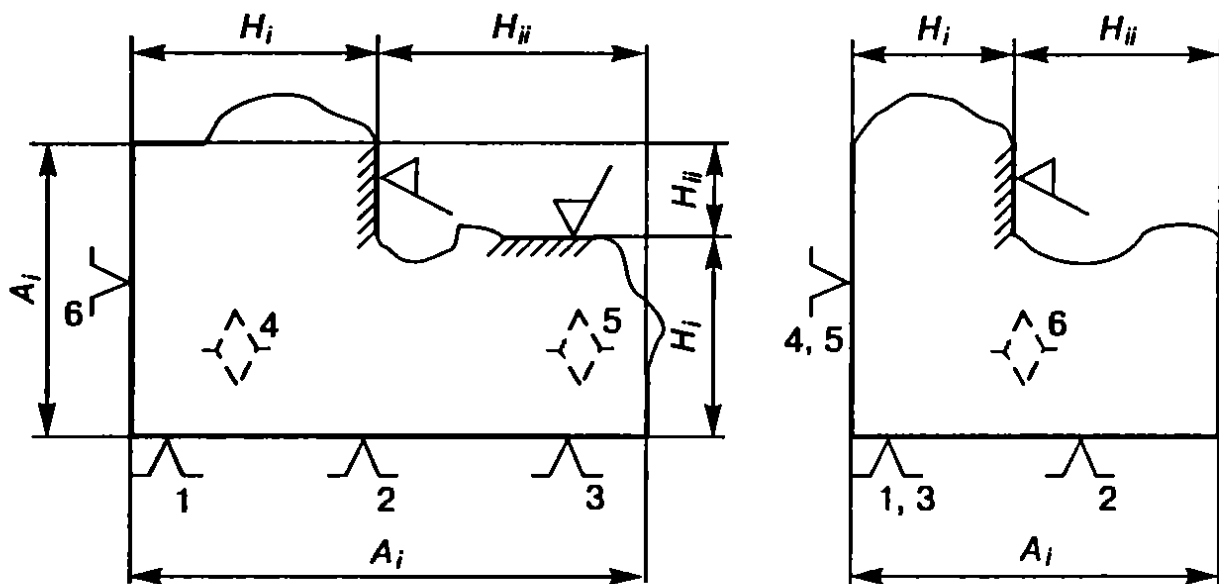


Рис. 4.1. Схемы к расчету ϵ_6 по модулю «плоскость — плоскость»

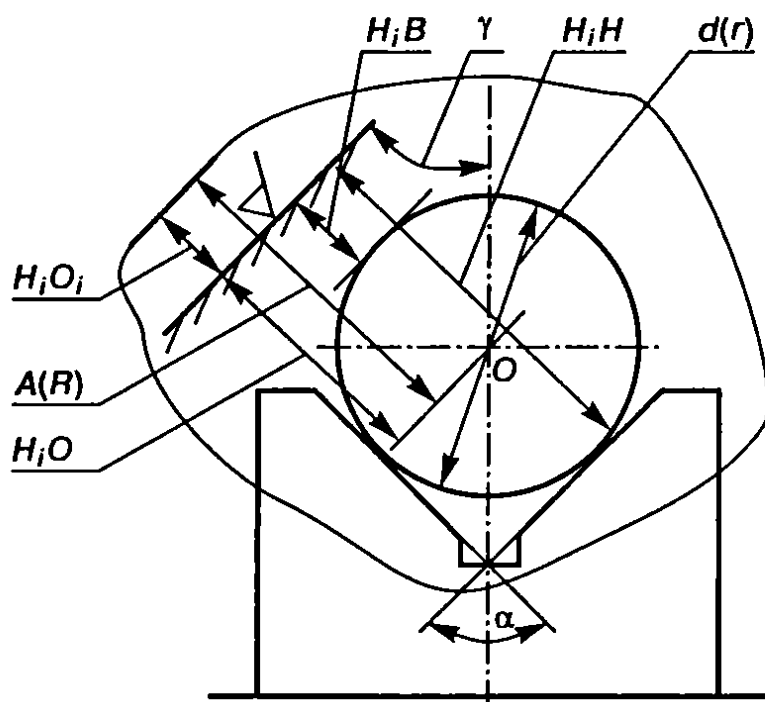


Рис. 4.2. Схема к расчету ϵ_6 по модулю «цилиндр — призма (плоскость)»

щих модулей в зависимости от конкретной схемы базирования. Для линейных размеров, выполняемых от второй базы,

$$\epsilon_6^{H_{in2}} = \epsilon_6^{H_{in1}} + T_C,$$

где T_C — допуск на расстояние C между базами.

Для размеров H_{iy} уравнения для расчета ϵ_6 различны в зависимости от положения места обработки (поверхность или ось). При этом определяются погрешности базирования баз ϵ_{61} и ϵ_{62} . После их сравнения выделяется большая ϵ_6^b и меньшая ϵ_6^M по величине погрешность, определяется размер b_i — расстояние наиболее уда-

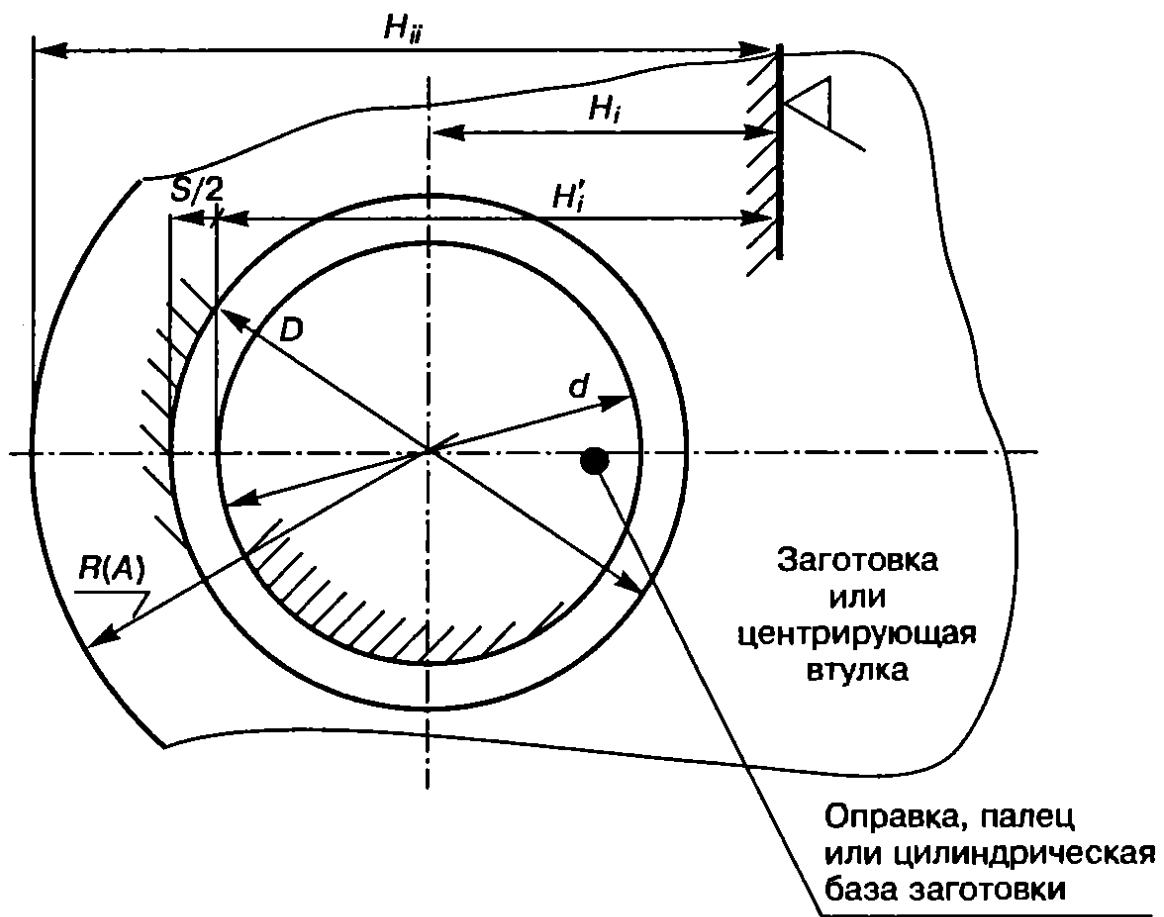


Рис. 4.3. Схема к расчету ε_6 по модулю «цилиндр — цилиндр»

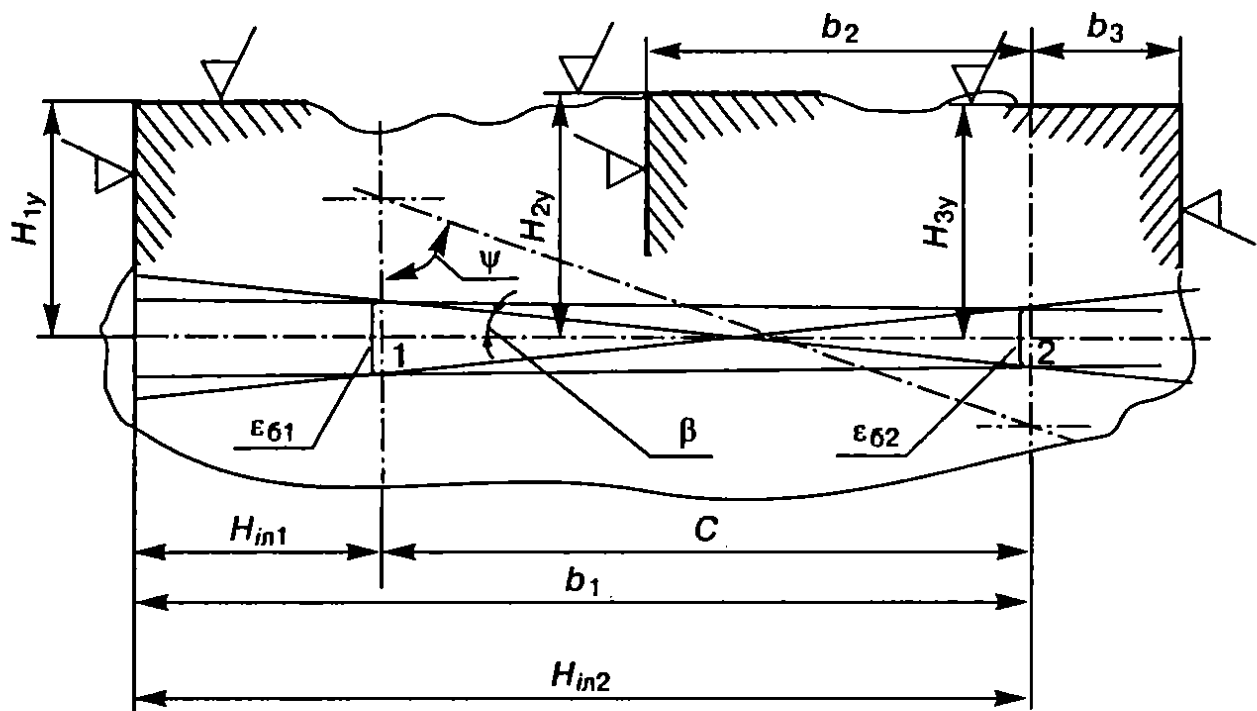
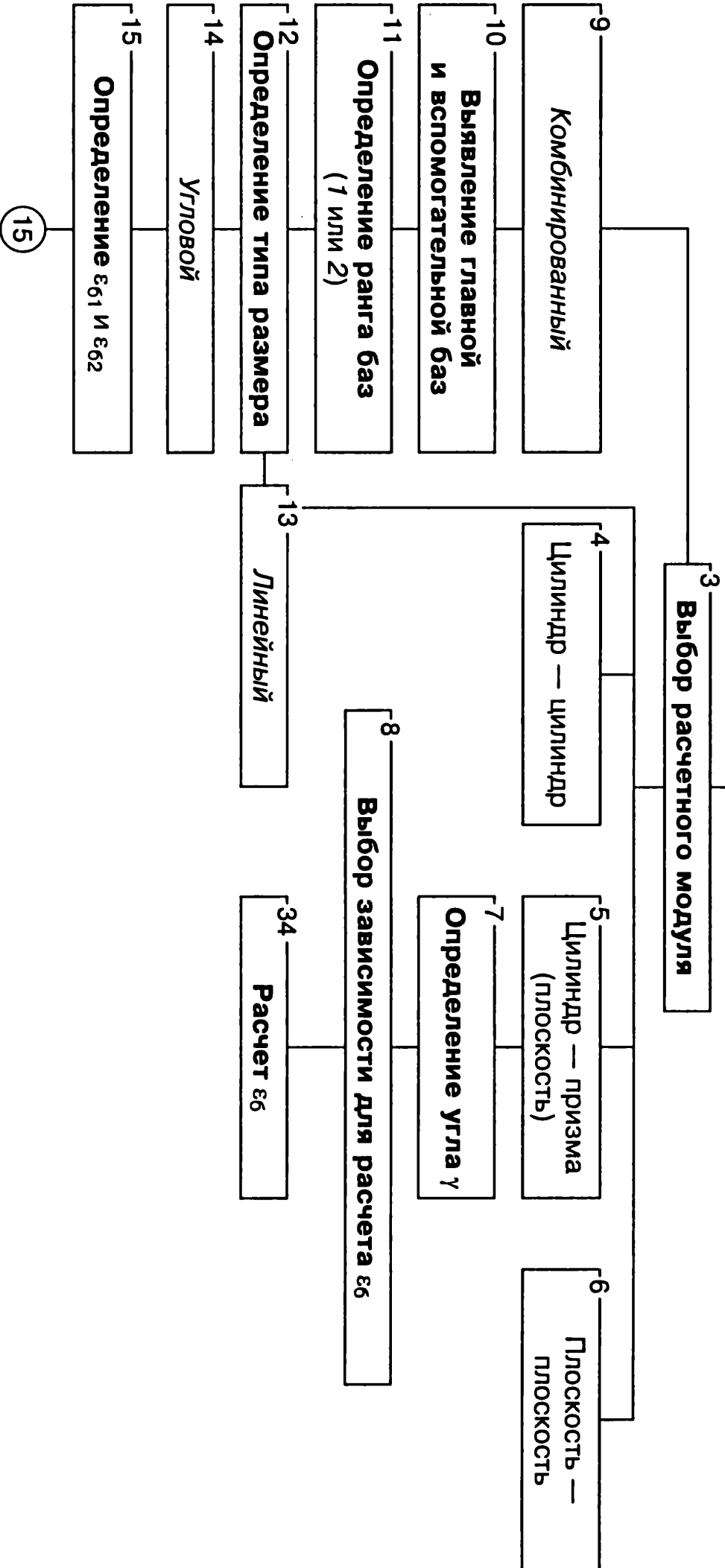


Рис. 4.4. Схемы к расчету ε_6 по комбинированному модулю

1 **Анализ схемы установки**
(определение базовых поверхностей: обозначение теоретической схемы базирования, комплекта баз, геометрических форм базовых поверхностей и установочных элементов)

2 **Анализ размеров, выполняемых на операции, и выявление размеров, требующих расчета ϵ_6**



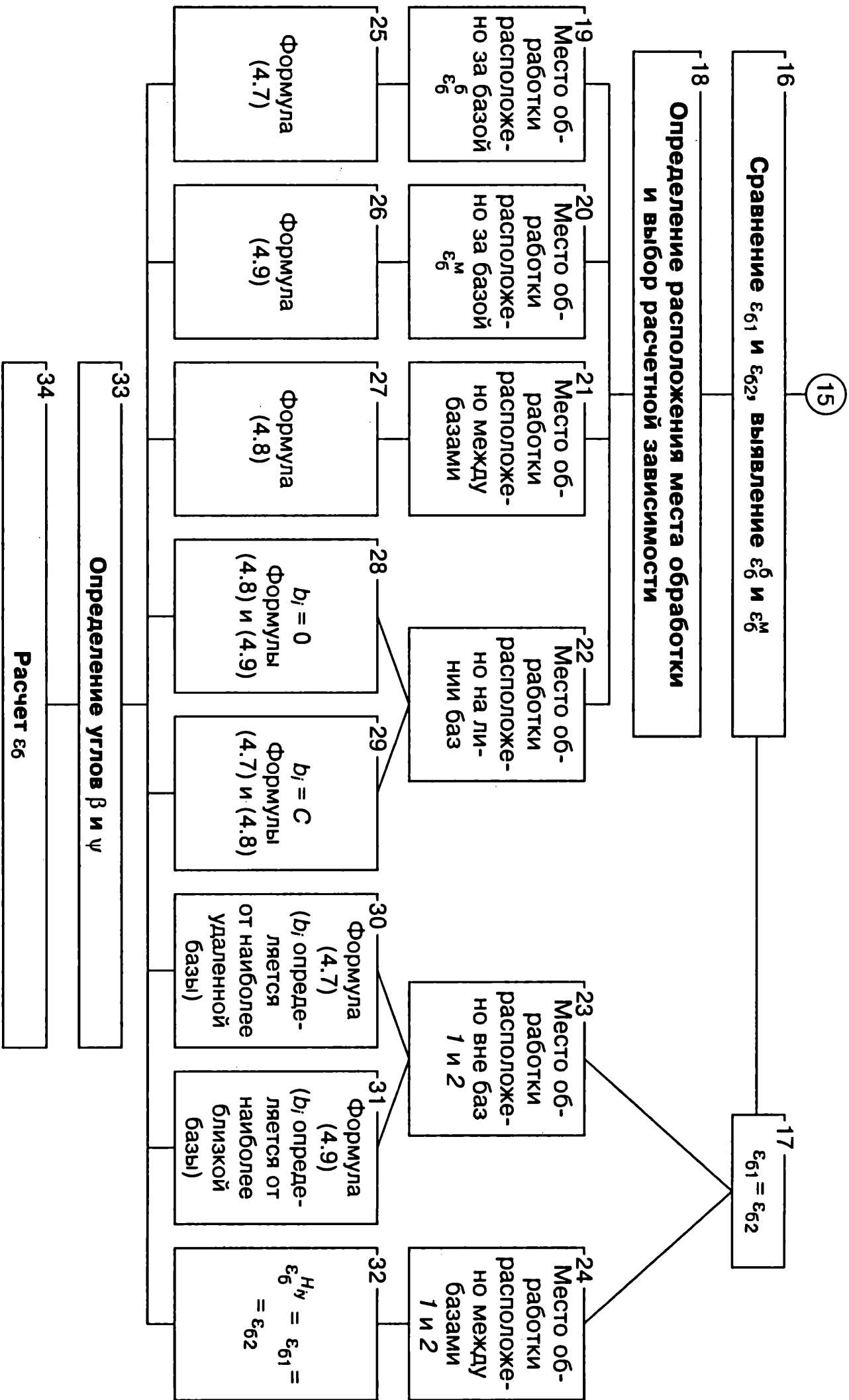


Рис. 4.5. Схема (методика) расчета ϵ_6 с использованием модулей

ленной точки места обработки от базы с меньшей ε_6^M (на схеме это база 2 — условно). Если $\varepsilon_{61} = \varepsilon_{62}$, то размер b_i можно определять от любой базы.

Возможны три варианта положения места обработки:

1) за базой с большей погрешностью базирования ($\varepsilon_{61} = \varepsilon_6^6$), при этом

$$\varepsilon_6^{H_{1y}} = \frac{b_1}{C} (\varepsilon_6^6 + \varepsilon_6^M) - \varepsilon_6^M; \quad (4.7)$$

2) между базами 1 и 2, при этом

$$\varepsilon_6^{H_{2y}} = \frac{b_2}{C} (\varepsilon_6^6 - \varepsilon_6^M) + \varepsilon_6^M; \quad (4.8)$$

3) за базой с меньшей погрешностью базирования ($\varepsilon_{61} = \varepsilon_6^M$), при этом

$$\varepsilon_6^{H_{3y}} = \frac{C + b_3}{C} (\varepsilon_6^6 + \varepsilon_6^M) - \varepsilon_6^6. \quad (4.9)$$

При граничных условиях, т.е. когда $b_i = 0$, расчет ведется по зависимостям 2-го либо 3-го варианта; когда $b_i = C$ — по зависимостям 1-го или 2-го варианта, результат будет один и тот же; если $\varepsilon_{61} = \varepsilon_{62}$ и место обработки расположено вне баз 1 и 2, используется зависимость 1-го варианта; при расположении места обработки между базами

$$\varepsilon_6^{H_y} = \varepsilon_{61} = \varepsilon_{62}.$$

Угол перекоса заготовки β , характеризующий отклонения от параллельности (перпендикулярности), определяется из соотношения

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{\varepsilon_{61} + \varepsilon_{62}}{2C}.$$

Если линия, проходящая через центры баз, расположена под углом ψ к размерным стрелкам (непараллельна или неперпендикулярна), то при расчете ε_6 как линейных, так и угловых размеров величину ε_6 , рассчитанную по полученным зависимостям, необходимо умножить на $\cos \psi$.

Схема (методика) расчета погрешности базирования с использованием модулей приведена на рис. 4.5.

4.1.2. Расчет погрешности закрепления

Для определения погрешности закрепления ϵ_3 или $\epsilon_{3,0}$ и $\epsilon_{3,и}$ используются формулы, приведенные в табл. 4.2.

Пояснения к табл. 4.2:

1. $\epsilon_3 = \cos \beta (\epsilon_{3,0} + \epsilon_{3,и})$ — суммарная погрешность закрепления, где β — угол между направлением выдерживаемого размера и направлением наибольшего перемещения. При

$$\text{этом } \epsilon_{3,0} = \sqrt{(\epsilon_3^I)^2 + (\epsilon_3^{II})^2 + (\epsilon_3^{III})^2}.$$

2. Q — сила, действующая по нормали на опору, Н.
3. q — суммарная линейная нагрузка, действующая по нормали к рабочим поверхностям призмы, Н/см.
4. Параметры качества поверхности заготовок — по табл. 4.3 и 4.4.
5. Параметры шероховатости базирующей поверхности призм при расчете перемещения γ : $Rz_0 = 3,5$ мкм, $v_0 = 2$ — для новых призм; $Rz_0 = 1,1$ мкм, $v_0 = 1,4$ — для призм, бывших в эксплуатации.
6. K, a, K_1 и a_1 — коэффициенты (определяют по табл. 4.5).
7. Величины с индексом Δ определяют непостоянство соответствующих параметров.
8. Индексы «з» и «о» означают, что рассматриваемые параметры относятся к заготовке и к опоре соответственно.
9. E_0, E_3, μ_0, μ_3 — соответственно модули упругости, ГПа, и коэффициенты Пуассона материала опоры и заготовки.
10. Упругая постоянная материалов заготовки и опоры (1/ГПа)

$$\theta = \frac{1 - \mu_0^2}{E_0} + \frac{1 - \mu_3^2}{E_3}.$$

11. HV — твердость материала заготовки по Бринеллю.
12. c' — безразмерный коэффициент стеснения, характеризующий степень упрочнения поверхностных слоев обработанных баз заготовки (см. табл. 4.4).
13. d — диаметр цилиндрической базы заготовки, мм.
14. T_d — допуск на диаметр d , мм.
15. σ_T — предел текучести материала заготовки, МПа.
16. A — номинальная площадь опоры, мм².
17. $r_{и} = r^2 / (r - 8u)$ — радиус изношенной сферической опоры, мм, где r — радиус неизношенной сферической опоры, мм (ГОСТ 13441-68*).
18. u — линейный износ опоры (призмы), мм.

Таблица 4.2

Формулы для расчета погрешности закрепления ϵ_3

Погрешность закрепления	Опоры со сферической головкой (ГОСТ 13441-68*)	Опоры с насеченной головкой (ГОСТ 13442-68*)	Опоры с плоской головкой и опорные пластины (ГОСТ 13440-68* и ГОСТ 4743-68*)	Призмы
ϵ_3^I — из-за непостоянства силы закрепления	$\left\{ 62 \left[\theta^2 / (rQ) \right]^{1/3} + \right. \\ \left. + R_{\max s} / (19,56Q^{8/9}) \right\} \times \\ \times \left[1 / (10,4NB(\theta,)^{2/3}) \right]^{1/3} \Delta Q$	$0,15R_{\max s} / Q^{2/3} \times \\ \times \left[r^2 / (\pi D^2 b_1^2 NB) \right]^{1/3} \Delta Q$	$\left\{ 0,4(4 + R_{\max s}) / [(2 + \nu_3) \times \right. \\ \times Q^{(2+\nu_3)} / (3+\nu_3)] \times \\ \times \left[100 / (Ac\sigma_1 D_2) \right]^{1/(3+\nu_3)} + \\ \left. + 0,9(R_{k.s} / Q)^{1/3} \times \right. \\ \left. \times (W_s \theta / A)^{2/3} \right\} \Delta Q$	$(0,1K_n / \sin \alpha) \Delta q$
ϵ_3^{II} — из-за неоднородности шероховатости базы загото- вок	$\left[Q^{1/3} / (22,4NB(\theta,)^{2/3}) \right]^{1/3} \times \\ \times \Delta R_{\max s}$	$0,46 \left[\alpha r^2 / (\pi D^2 b_1^2 NB) \right]^{1/3} \times \\ \times \Delta R_{\max s}$	$\left[Q / (Ac\sigma_1 D_2) \right]^{1/(3+\nu_3)} \Delta R_{\max s}$	$\left\{ 1,1q^{1/[10(\nu_0+\nu_3)]} \right\} \times / \\ \times K_{1a1} / \left[\sin \alpha (1 + W_s + Rz_0 + \right. \\ \left. + Rz_s)^{-0,4} \right] \Delta Rz_s$
ϵ_3^{III} — из-за неоднородности волнистости базы заготовок	0 (волнистость на необработанных базах заготовок отсутствует)	0 (волнистость на необработанных базах заготовок отсутствует)	$4,3 \cdot 10^{-2} (\theta Q / A)^{2/3} \times \\ \times \left[(W_s / R_{k.s}) \right]^{2/3} \Delta R_{k.s} + \\ + 2(R_{k.s} / W_s)^{1/3} \Delta W_s$	$\left\{ 0,87q^{0,2} K_n / \left[\sin \alpha d^{0,2} \times \right. \right. \\ \left. \left. \times (1 + W_s)^{-1,8} \right] \right\} \Delta W_s$
$\epsilon_{3,и}$ — из-за износа опорной поверхности установочного элемента	$125 \left\{ (\theta Q / r^2) \right\}^{2/3} + \\ + R_{\max s} / r^{11/9} \times \\ \times \left[Q^{1/3} / (10,4NB\theta^{2/3}) \right] \times \\ \times (r_n - r)$	$0,46R_{\max s} \left[\alpha r^2 / (\pi D^2 NB) \right]^{1/3} \times \\ \times \left[1/b_1^{2,3} - 1/(b_1 + 2l)^{2,3} \right]$	0	$0,1 / \sin \alpha \left[0,4C_n q / (1 + K_n) \right]^2 + \\ + 3K(1 + W_s)^2 / (1 + K_n)^{0,4} \times \\ \times (q/d)^{0,2} \left[K_n - 1 \right]$

Параметры качества цилиндрических баз заготовок

Материал заготовки	Метод обработки базы	Rz_3	ΔRz_3	W_3	ΔW_3	v_3
		мкм				
Сталь	Точение	30	20	10	10	1,94
		15	10	8	8	1,89
		7,5	5	5	6	1,8
		3,8	2,5	3	2	1,51
	Шлифование цилиндрических наружных поверхностей	7,5	5	5	5	2,18
		3,8	2,5	3	2	1,94
		1,7	1,25	2	2	1,92
		1	0,65	1,5	1	1,9
Чугун	Точение	30	20	10	10	2,6
		15	10	8	8	2,2
		7,5	5	5	6	2,1
		3,8	2,5	3	2	1,8
	Шлифование цилиндрических наружных поверхностей	7,5	5	5	5	1,99
		3,8	2,5	3	2	1,95
		1,7	1,25	2	2	1,83
Бронза	Точение	30	20	10	10	2,2
		15	10	8	8	1,95
		7,5	5	5	6	1,9
		3,8	2,5	3	2	1,4
Алюминиевые сплавы		30	20	10	10	1,8
		15	10	8	8	1,65
		7,5	5	5	6	1,6
		3,8	2,5	3	2	1,6

Примечание. Значения ΔW_3 приведены для случая обработки баз заготовок на нескольких станках одной модели. При обработке баз на одном и том же станке $\Delta W_3 \approx 0,3W_3$.

19. 2α — угол призмы.

20. R_{\max} — наибольшая высота неровностей профиля, мкм (см. табл. 4.4).

21. Rz — высота неровностей профиля по десяти точкам, мкм (см. табл. 4.3).

22. Ra — среднеарифметическое отклонение профиля, мкм.

23. Для практических расчетов принимают $R_{\max} \approx 1,25Rz \approx 6Ra$.

Таблица 4.4

Параметры качества плоских баз стальных и чугунных заготовок

Метод обработки баз	$\mu\text{км}$				ν_s	b_s	c'
	R_{max_s}	ΔR_{max_s}	W_s	$R_{\text{в.з}}$			
Строгание	45	30	12	95/20	2,2	1,75/0,75	5,24
	22,5	15	3,5/4	40/30	2,1/2	1,9/0,92	
	11,2	7,5	2	85/60	2/1,95	2/1,2	
Фрезерование торцовыми фрезами	5,7	3,3	1/1,4	100/80	1,95/1,9	2,1/1,65	5,24
	22,5	15	7/6,2	250/200	2,2/2	0,4/0,42	
	11,2	7,5	5/4,7	600/700	1,65/1,95	0,55/0,7	
Фрезерование цилиндрическими фрезами	5,7	3,3	3/2,3	700/800	1,4/1,8	0,6/0,75	5
	45	30	4/30	5/10	2,8	1,2/1,4	
	22,5	15	15/12	40/25	2,55/2,6	1,5/1,6	
Шлифование плоских поверхностей	11,2	7,5	12/9	45/42	1,95/2	0,9/1	5,48
	5,7	3,3	7,5/5	50/115	1,85/1,97	0,95/1,25	
	3,7	1,8	3,75/1,7	30/225	1,8/1,95	1,6/1,9	
Примечания.	1,4	1	1,2/1,3	350/340	1,65/1,19	2,3/2,7	5

Примечания.

1. В числителе — только для стальных, а в знаменателе — только для чугунных заготовок, остальное — и для стальных, и для чугунных заготовок.
2. $\Delta W_s = (0,15..0,2)W_s$ — при обработке на одном и том же станке; $\Delta W_s \approx W_s$ при обработке на нескольких станках одной модели.
3. $\Delta R_{\text{в.з}} \approx (0,01..0,05)R_{\text{в.з}}$, если заготовки были обработаны на одном изношенном станке; $\Delta R_{\text{в.з}} \approx R_{\text{в.з}}$, если заготовки были обработаны на нескольких станках одной и той же модели, причем эти станки изношенные.

Данные для определения коэффициентов C_m , C_b , $C_{ш}$

Материал заготовки	C_m	K	a	K_1	a_1
Сталь	0,026	0,82	0,695	0,62	0,55
Чугун	0,033	1,145	0,536	0,67	0,582
Бронза	0,04	1,2	0,55	0,676	0,575
Алюминиевые сплавы	0,056	1,46	0,49	0,87	0,56

Примечания.
1. $C_b = K(1 + W_3)^a$.
2. $C_{ш} = K_1(1 + W_3 + Rz_0 + Rz_3)^{a_1}$.

24. ν , b — безразмерные параметры опорной кривой (см. табл. 4.3 и 4.4).
25. W , R_b — соответственно высота и длина волны поверхности, мкм (указанные параметры характерны для волнистости поверхности, см. табл. 4.3 и 4.4).
26. b_{Σ} — безразмерный приведенный параметр кривой опорной поверхности, характеризующий условия контакта базы заготовки с опорой:

$$b_{\Sigma} = \frac{0,24(0,4 - 0,1\nu_3)b_3(4 + R \max_3)^{2+\nu_3}}{R \max_3^{\nu_3}}$$

27. K_n — безразмерный коэффициент, учитывающий влияние износа призмы:

$$K_n = \sqrt{R_n / (R_n - 0,5d)},$$

где R_n — радиус изношенной поверхности призмы, мм; если обрабатываемая поверхность заготовки расположена с одной стороны от призмы, то

$$R_n = 0,22 \left[\sqrt{2,28du} + (0,5T_d + 0,57u) \operatorname{ctg} \alpha \right]^2 / u;$$

если с двух сторон, то

$$R_n = 0,125 \left[2\sqrt{du} + (0,5T_d + u) \operatorname{ctg} \alpha \right]^2 / u.$$

28. C_m , C_b , $C_{ш}$ — безразмерные расчетные коэффициенты (см. табл. 4.5).
29. При проектном расчете опор, не бывших в эксплуатации, принимают $r_n = r$; $u = 0$ и $K_n = 1$.
30. D , t , b_1 — параметры опор с насеченной головкой, мм (ГОСТ 13442-68).

Пример 1. Дано: заготовки из чугуна ($E_3 = 140$ ГПа, $\mu_3 = 0,25$, $HV = 170...190$, $R_{\max} = 200...300$ мкм) устанавливаются на сферические опоры ($E_0 = 210$ ГПа, $\mu_0 = 0,3$, $r = 20$ мм). Действующая по нормали на одну опору сила $Q = 2000 \pm 300$ Н. Допустимый износ опоры $u = 300$ мкм = 0,3 мм. Определить погрешность закрепления до допустимого износа.

Решение.

1. Исходя из условий: $Q = 2000$ Н; $\Delta Q = 600$ Н; $R_{\max} = 250$ мкм; $\Delta R_{\max} = 100$ мкм; твердость $HV = 180$, согласно пп. 10 и 17 пояснений к табл. 4.2 вычисляем:

$$\theta = (1 - 0,3^2) / 210 + (1 - 0,25^2) / 140 = \frac{1,1}{10^2} \frac{1}{\text{ГПа}};$$

$$r_{\text{н}} = \frac{20^2}{(20 - 8 \cdot 0,3)} = 22,8 \text{ мм.}$$

2. По табл. 4.2 находим погрешности закрепления:

$$\epsilon_3^I = \left\{ 6,2 \left[\left(\frac{1,1}{10^2} \right)^2 / (20 \cdot 2000) \right]^{1/3} + \frac{250}{19,56 \cdot 2000^{8/9}} \times \left[\frac{1}{10,4 \cdot 180 (1,1/10^2 \cdot 20)^{2/3}} \right]^{1/3} \right\} \cdot 600 = 10 \text{ мкм};$$

$$\epsilon_3^{II} = \left\{ 2000^{1/3} / \left[22,4 \cdot 180 (1,1/10^2 \cdot 20)^{2/3} \right] \right\}^{1/3} \cdot 100 = 57 \text{ мкм};$$

$$\epsilon_{3,\text{н}} = 125 \left\{ \left(1,1/10^2 \cdot 2000/20^2 \right)^{2/3} + 250/20^{11/9} \times \left[2000^{1/3} / \left(10,4 \cdot 180 (1,1/10^2)^{2/3} \right) \right] (22,8 - 20) \right\} = 4,96 \text{ мкм};$$

$$3. \epsilon_3 = \sqrt{10^2 + 57^2} + 4,96 = 62,8 \text{ мкм.}$$

Пример 2. Дано: заготовки из чугуна ($R_{\max} = 200...300$ мкм, $HV = 170...190$) устанавливаются на рифленные опоры 7034-0379 ГОСТ 13442—68* ($D = 20$ мм; $t = 2$ мм; $b_1 = 0,5$ мм). Действующая по нормали на одну опору сила $Q = 2000 \pm 300$ Н. Допустимый износ опоры $u = 300$ мкм.

Определить погрешность закрепления при эксплуатации до допустимого износа.

Решение.

1. Определим условия: $Q = 2000$ Н; $\Delta Q = 600$ Н; $R_{\max} = 250$ мкм; $\Delta R_{\max} = 100$ мкм; $HV = 180$.

2. По табл. 4.2 находим:

$$\varepsilon_3^I = 0,15 \cdot 250 / 2000^{2/3} \left[2^2 / (\pi \cdot 20^2 \cdot 0,5^2 \cdot 180) \right]^{1/3} \cdot 600 = 6 \text{ мкм};$$

$$\varepsilon_3^{II} = 0,46 \left[2000 \cdot 2^2 / (\pi \cdot 20^2 \cdot 0,5^2 \cdot 180) \right]^{1/3} \cdot 100 = 24,2 \text{ мкм};$$

$$\varepsilon_{3.н} = 0,46 \cdot 250 \left[2000 \cdot 2^2 / (\pi \cdot 20^2 \cdot 180) \right]^{1/3} \times \\ \times \left[1/0,5^{2/3} - 1/(0,5 + 2 \cdot 0,3)^{2/3} \right] = 24,7 \text{ мкм}.$$

$$3. \varepsilon_3 = \sqrt{6^2 + 24,2^2} + 24,7 = 49,65 \text{ мкм}.$$

Пример 3. Дано: заготовки из стали 45, диаметром $50^{+0,2}$ мм, обработанные точением ($Rz_3 = 30$ мкм; $\Delta Rz_3 = 20$ мкм; $v_3 = 1,9$; $W_3 = 8$ мкм; $\Delta W_3 = 6$ мкм), устанавливают в призме с углом $2\alpha = 90^\circ$ для фрезерования шпоночного паза. Нормальная нагрузка на опоре $q = 2000$ Н/см; $\Delta q = 600$ Н/см. Максимально допустимый износ опорной поверхности призмы $u = 0,3$ мм. Сила резания приложена с одной стороны призмы. Определить погрешность закрепления при эксплуатации до допустимого износа.

Решение.

1. По табл. 4.5

$$C_m = 0,026; \quad K = 0,82; \quad a = 0,695; \quad K_1 = 0,62; \quad a_1 = 0,55;$$

$$C_b = 0,82(1 + 8)^{0,695} = 3,8; \quad C_{ш} = 0,62(1 + 8 + 3,5 + 30)^{0,55} = 4,85.$$

Вычисляем

$$R_{н} = 0,22 \left[\sqrt{2,28 \cdot 50 \cdot 0,3} + (0,5 \cdot 0,2 + 0,57 \cdot 0,3) \operatorname{ctg} 45^\circ \right]^2 / 0,3 = 26,3 \text{ мм};$$

$$K_{н} = \sqrt{26,3 / (26,3 - 0,5 \cdot 50)} = 4,5.$$

2. По табл. 4.2 при $Rz_0 = 1,1$ мкм и $v_0 = 1,4$ находим:

$$\varepsilon_3^I = 0,1 \cdot 0,026 / \sin 45^\circ \cdot 600 = 2,2 \text{ мкм};$$

$$\varepsilon_3^{II} = \left\{ 1,1 \cdot 2000^{1/10} \left[10^{(1,1+1,9)} \right] \cdot 0,62 \cdot 0,55 / \left[\sin 45^\circ (1 + 8 + 1,1 + 30)^{1-0,55} \right] \right\} \times \\ \times 20 = 2 \text{ мкм};$$

$$\varepsilon_3^{III} = \left\{ 0,87 \cdot 2000^{0,2} \cdot 0,82 \cdot 0,695 / \left[\sin 45^\circ \cdot 50^{0,2} (1 + 8)^{1-0,695} \right] \right\} \cdot 6 = 5,9 \text{ мкм};$$

$$\varepsilon_{3,н} = 0,1 / \sin 45^\circ \cdot \left[0,4 \cdot 0,026 \cdot 2000 / (1+4,5)^2 + 3 \cdot 0,82(1+8)^{0,695} / (1+4,5)^{0,4} \cdot (2000/50)^{0,2} \right] (4,5-1) = 6,25 \text{ мкм.}$$

$$3. \varepsilon_3 = \sqrt{2,2^2 + 2^2 + 5,9^2} + 6,25 = 12,85 \text{ мкм.}$$

Задача 4.1. На горизонтально-фрезерном станке набором фрез одновременно обрабатывают поверхности 1, 2, 3, 4 (рис. 4.6). Указать расчетные зависимости для определения погрешности базирования при выполнении размеров $A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6$, а также указать размеры, на точность выполнения которых будет оказывать влияние непостоянство усилия зажима заготовки Q . Размеры A_7 и A_8 выполнены соответственно с отклонениями $\pm \frac{1}{2} T_{A_7} \pm \frac{1}{2} T_{A_8}$.

Задача 4.2. На вертикально-сверлильном станке производят зенкерование отверстия и подрезку торца, выдерживая размеры A_1, A_2, A_3, A_5 и D (рис. 4.7). Указать расчетные зависимости для оп-

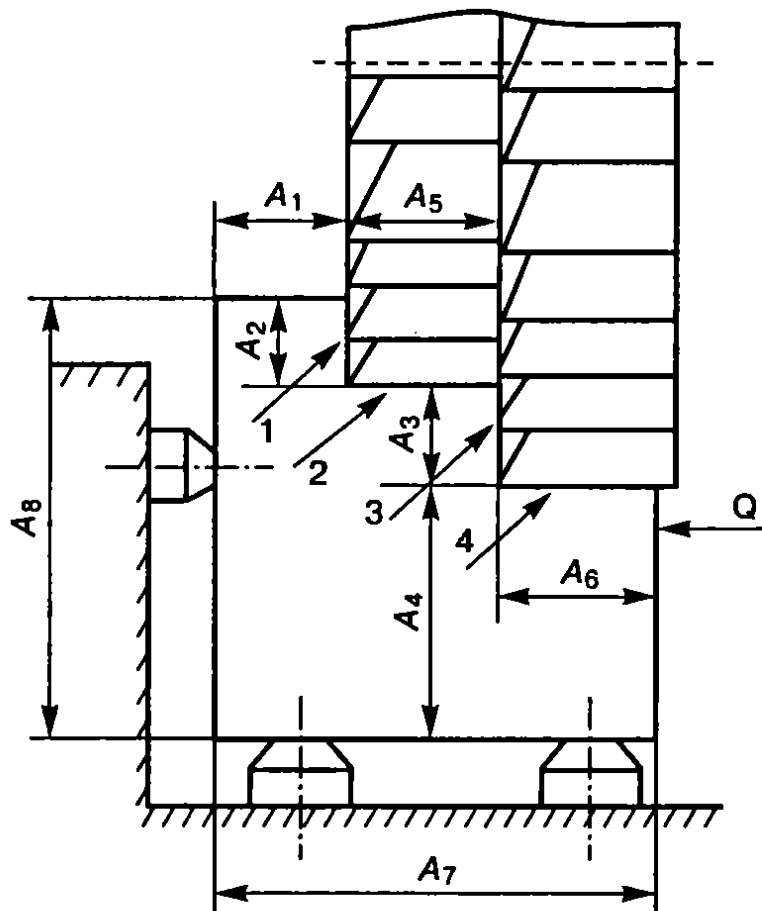


Рис. 4.6. Схема обработки заготовки (к задаче 4.1)

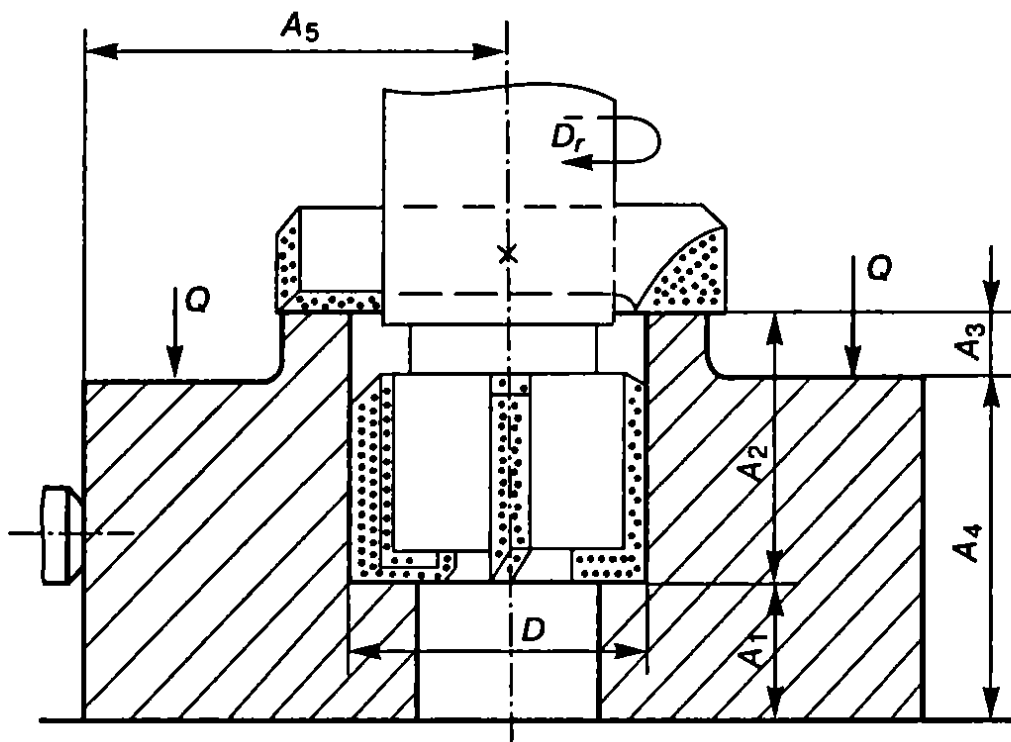


Рис. 4.7. Схема обработки отверстия (к задаче 4.2)

ределения погрешности базирования при получении указанных размеров. Размер A_4 выполнен с отклонениями $\pm \frac{1}{2} T_{A_4}$.

Задача 4.3. На торцовой поверхности валов, устанавливаемых в призму, сверлят два отверстия (рис. 4.8). Проверить расчетом, при каком расположении кондукторных втулок относительно призмы разность размеров H_1 и H_2 минимальна. Диаметр вала $\varnothing 80^{+0,15}$ мм, угол призмы $\alpha = 90^\circ$.

Задача 4.4. В торце валов, обработанных в размер $\varnothing 65_{-0,2}$ мм, требуется просверлить отверстие $\varnothing 12,0$ мм. Положение оси отверстия определяется размером H , заданным от образующей цилиндрической поверхности вала. При проектировании приспособления возможны три варианта расположения втулок в кондукторной плите относительно призмы, в которую устанавливается вал (рис. 4.9). Определить, при каком положении кондукторной втулки обеспечивается наименьшая погрешность базирования для размера H . Угол призмы $\alpha = 90^\circ$.

Задача 4.5. На вертикально-фрезерном станке обрабатывают ступенчатую поверхность втулки, установленную на цилиндрический палец с буртом, как показано на рис. 4.10. Диаметр базового отверстия выполнен в размер $D = 30^{+0,039}$ мм, диаметр установочного пальца $d = 30_{-0,016}$ мм. Требуется определить ожидаемую

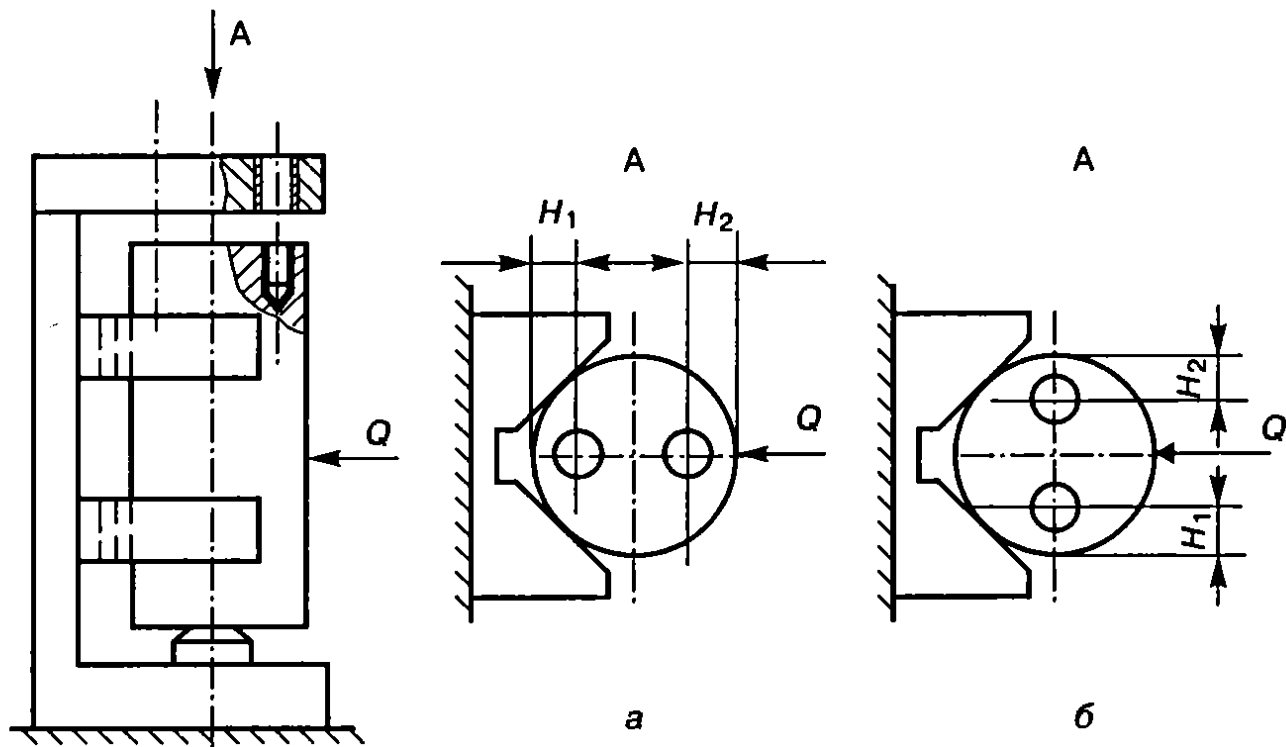


Рис. 4.8. Схема установки кондукторных втулок относительно призмы (к задаче 4.3): а, б — варианты расположения втулок

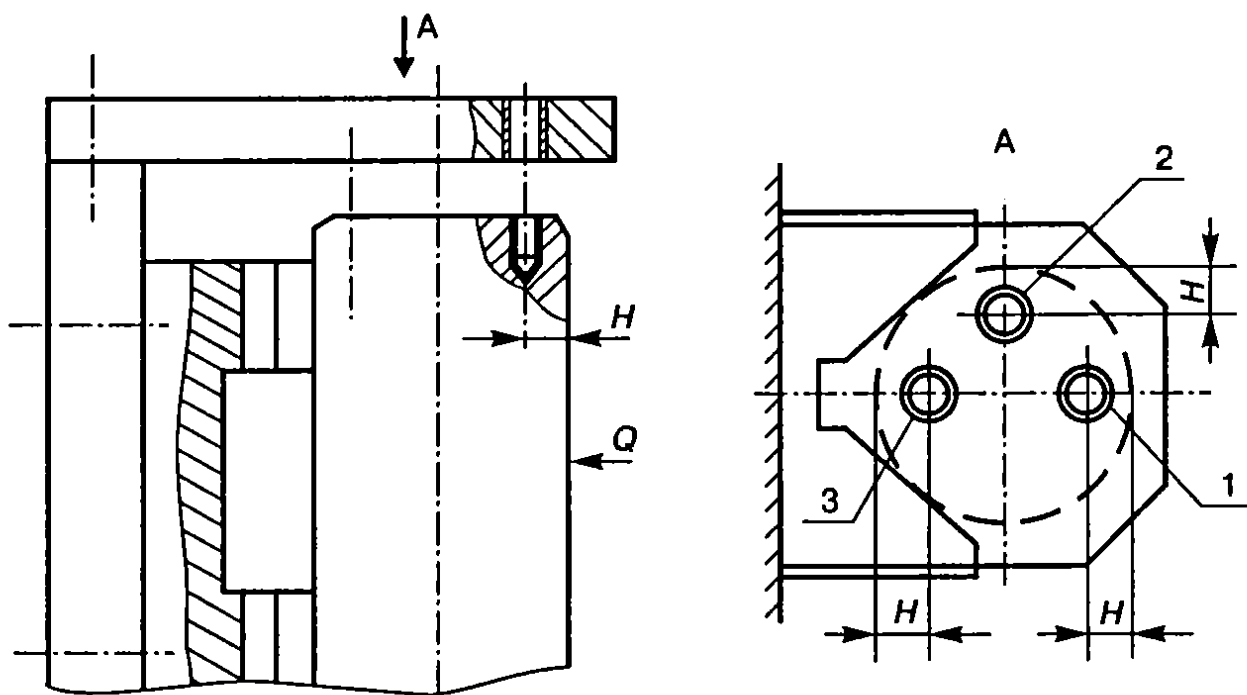


Рис. 4.9. Схема установки кондукторных втулок при сверлении отверстия в торце вала (к задаче 4.4): 1, 2, 3 — варианты расположения втулок

точность выполнения размеров A_1 и A_2 . Составляющими погрешности установки — погрешностью закрепления и положения заготовки — пренебречь, т.е. $\epsilon_{з.о}$, $\epsilon_{з.и}$ и $\epsilon_{пр}$ равны 0. Точность метода обработки принять равной $\omega = 0,12$ мм.

Задача 4.6. Для фрезерования паза заготовку устанавливают в центрирующую втулку (рис. 4.11). Вывести расчетные зависимос-

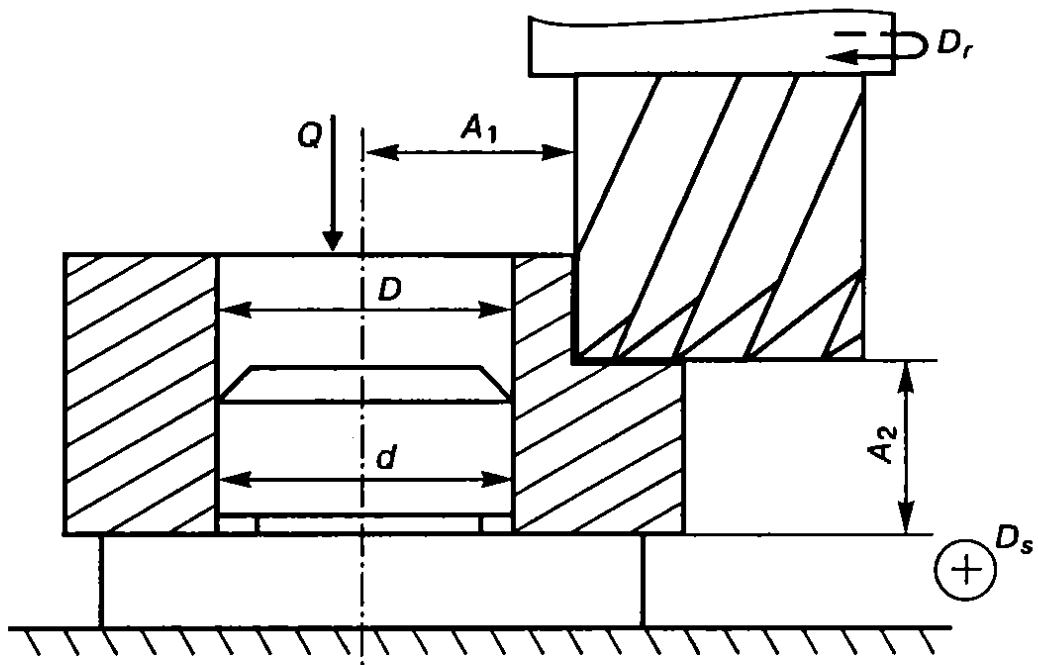


Рис. 4.10. Схема фрезерования втулки (к задачам 4.5, 4.33, 4.34)

ти для определения погрешности базирования для размеров A_1 , A_2 , A_3 , A_4 и A_5 при заданной точности размеров заготовки N , A , d и центрирующей втулки D .

Задача 4.7. На вертикально-фрезерном станке концевой фрезой обрабатывают ступенчатую поверхность крышек, устанавли-

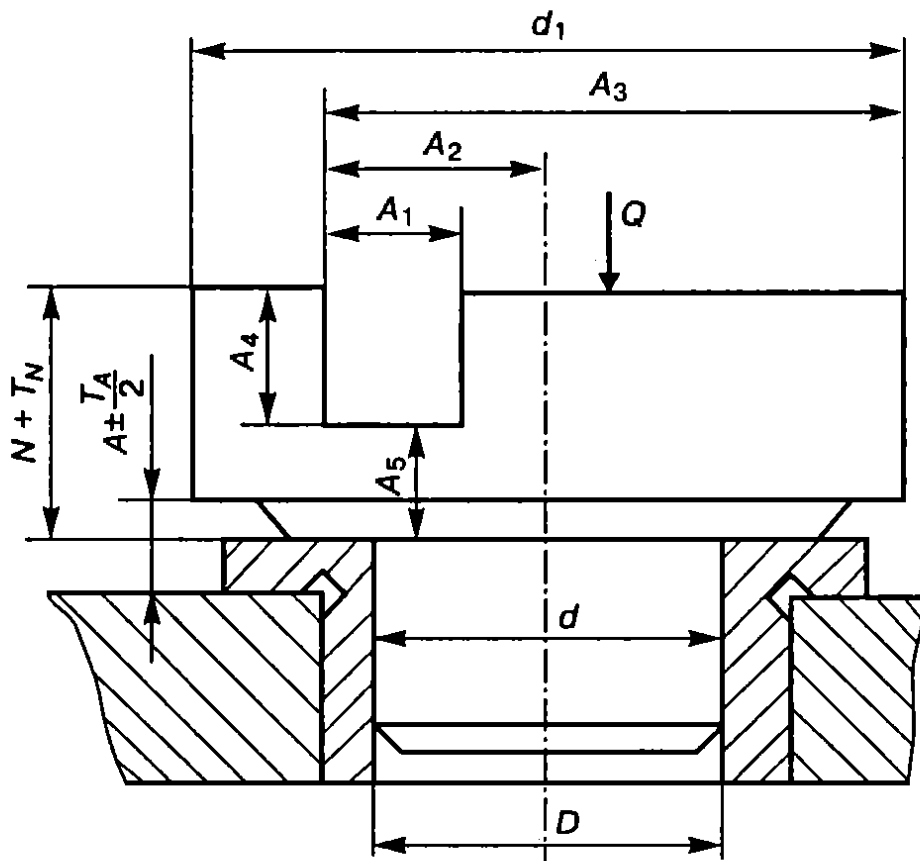


Рис. 4.11. Схема установки заготовки при фрезеровании паза (к задачам 4.6 и 4.35)

ваемых в центрирующую втулку (рис. 4.12). Вывести расчетные зависимости для определения погрешности базирования для размеров A_1 , A_2 и A_3 при заданной точности размеров заготовки d , d_1 и центрирующей втулки D .

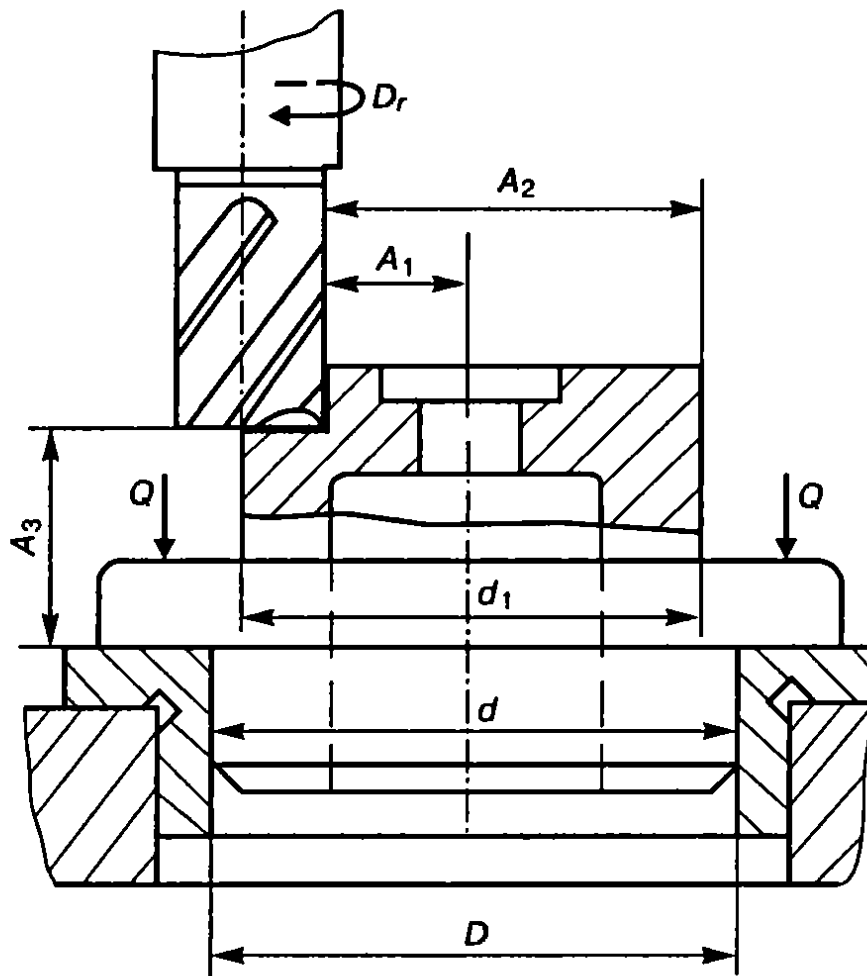


Рис. 4.12. Схема установки заготовки при фрезеровании (к задаче 4.7)

Задача 4.8. Обработку наружной цилиндрической поверхности втулок $\varnothing 115$ мм производят при установке их с зазором на жесткой шпиндельной оправке (рис. 4.13). Диаметр базового отверстия втулок — $\varnothing 65^{+0,035}$ мм. Цилиндрическая рабочая поверхность оправки, выполненная в размер $\varnothing 65_{-0,06}$ мм, имеет радиальное биение относительно ее конусной поверхности 0,020 мм, а биение шпинделя станка составляет 0,010 мм. Точность метода обработки $\omega = 0,05$ мм. Определить ожидаемую точность выполнения цилиндрической поверхности втулки и ее возможную несоосность относительно базового отверстия.

Задача 4.9. При установке заготовок на плоскость и два отверстия обрабатывают поверхности 1, 2, 3 и паз, выдерживая размеры A , A_1 , A_2 , A_3 , A_4 , A_5 , A_6 и A_7 (рис. 4.14). Требуется:

а) определить погрешность базирования для указанных размеров, если известно, что базовые отверстия заготовок D_1 и D_2 вы-

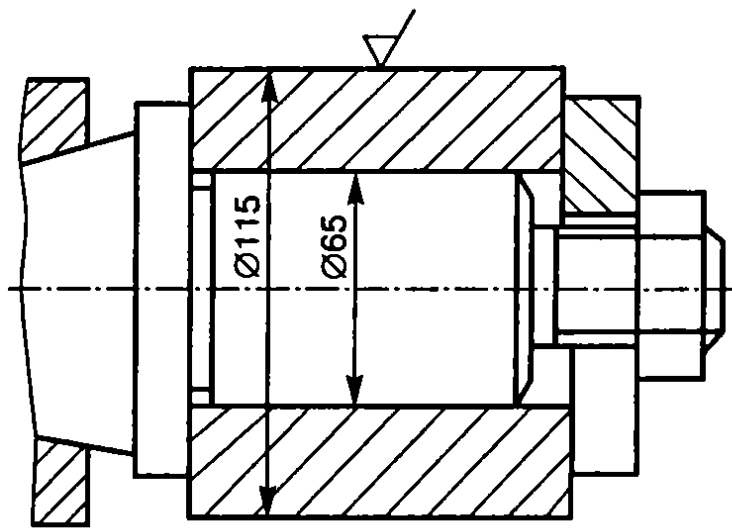


Рис. 4.13. Схема установки втулки (к задаче 4.8)

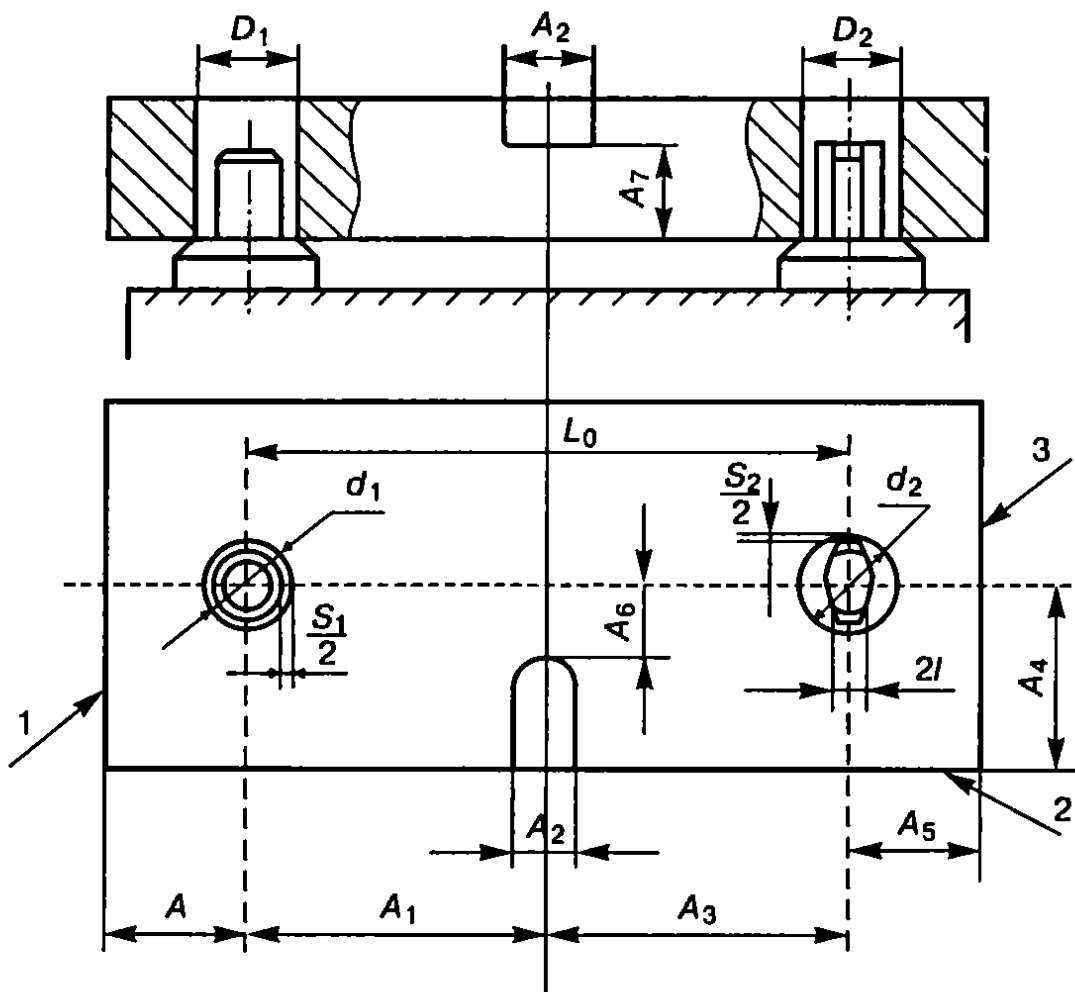


Рис. 4.14. Схема установки заготовки (к задачам 4.9 и 4.38)

полнены с допуском $T_{D_1} = T_{D_2} = 0,013$ мм, установочные пальцы d_1 и d_2 — с допуском $T_{d_1} = T_{d_2} = 0,009$ мм, а минимальный зазор в сопряжении базовых отверстий с установочными пальцами $S_{1\min} = S_{2\min} = 0,007$ мм. Размер между осями базовых отверстий $L_0 = 150 \pm 0,05$ мм; $A = A_5 = 30^{+0,15}$ мм;

б) определить, возможна ли обработка поверхностей 1 и 3 одновременно набором фрез, если точность принятого метода обработки $\omega = 0,1$ мм.

Задача 4.10. Для фрезерования паза концевой фрезой рычаг устанавливают в призмах, как показано на рис. 4.15. Вывести расчетные зависимости погрешности базирования для размеров A_1, A_2, A_3, A_4 . Угол призмы $\alpha = 90^\circ$. Размер L_0 между осями базовых цилиндрических поверхностей (d_1 и d_2) выполнен с точностью $\pm \frac{1}{2} T_{L_0}$.

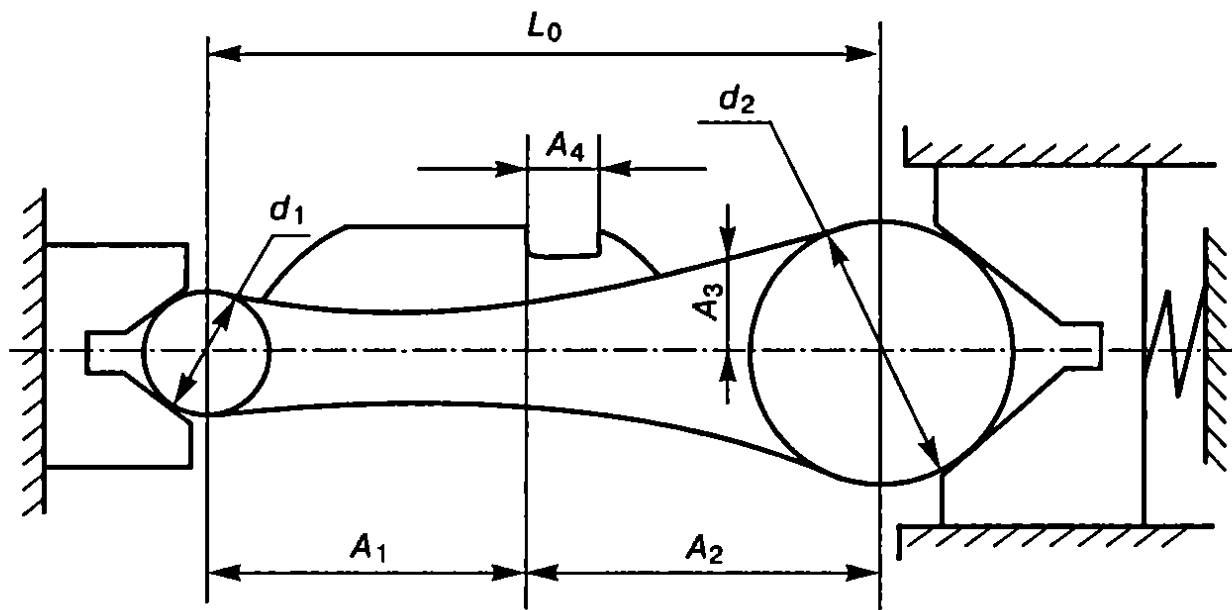


Рис. 4.15. Схема установки рычага (к задаче 4.10)

Задача 4.11. Определить погрешность базирования для размеров $A = 80$ мм и толщины стенок головок шатуна $t = 25$ мм при фрезеровании его боковых поверхностей за два установка (рис. 4.16). Отверстия в головках шатуна обработаны в размер $D = 30^{+0,033}$ мм, установочные пальцы — $\varnothing 30 f7 \begin{pmatrix} -0,02 \\ -0,04 \end{pmatrix}$ мм.

Задача 4.12. На горизонтально-протяжном станке обрабатывают шпоночный паз (рис. 4.17). Требуется вывести расчетные зависимости и определить погрешность базирования при выполнении размеров A и B , а также найти отклонение от перпендикулярности оси шпоночного паза относительно оси отверстий D_1 и D_2 , если известно, что диаметры базовых отверстий выполнены с допусками $T_{D_1} = T_{D_2} = 0,025$ мм, а установочных пальцев — $T_{d_1} = T_{d_2} = 0,011$ мм; минимальный зазор в сопряжении базовых отверстий рычага с установочными пальцами приспособления $S_{1\min} = S_{2\min} = 0,009$ мм; межосевое расстояние $L_0 = 200^{+0,3}$ мм.

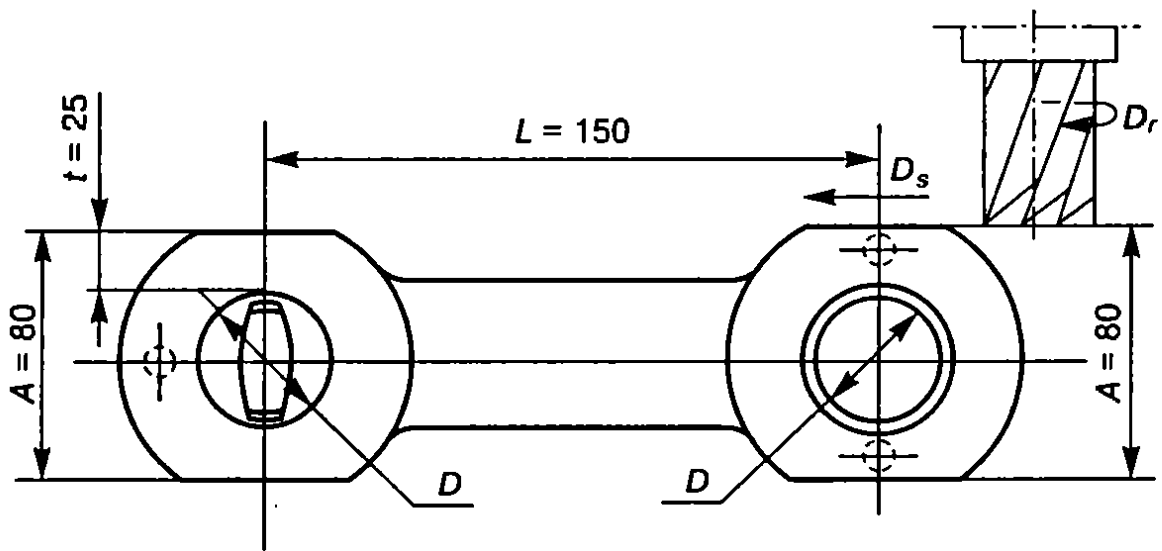


Рис. 4.16. Схема установки шатуна (к задаче 4.11)

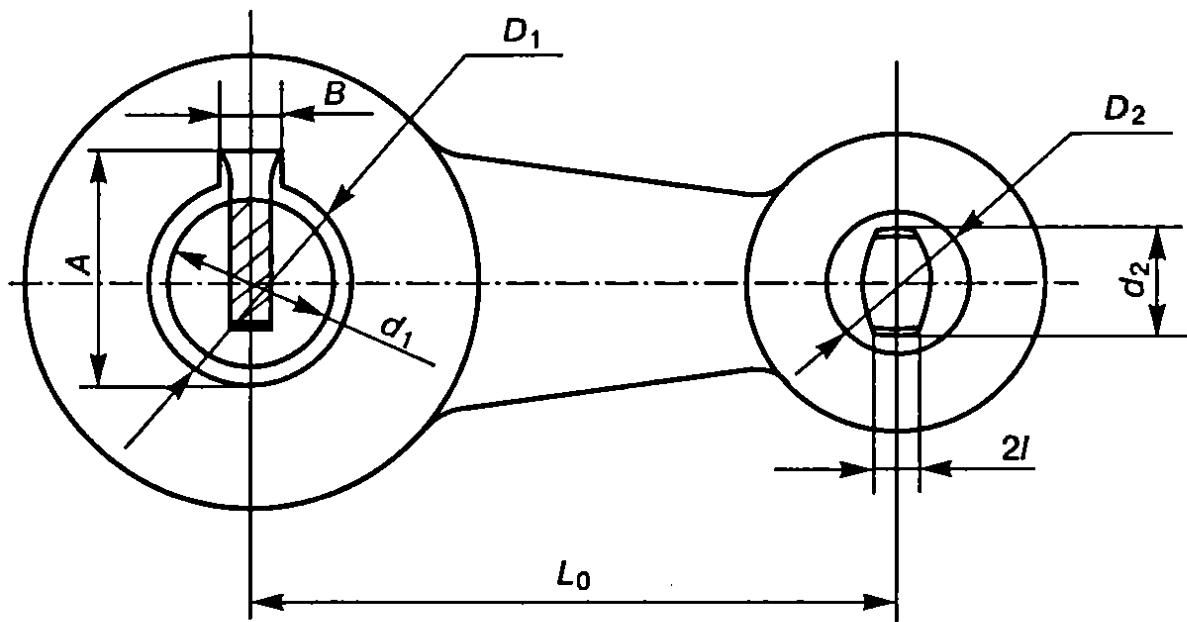


Рис. 4.17. Схема обработки шпоночного паза (к задачам 4.12 и 4.40)

Задача 4.13. Определить, возможна ли установка заготовки на плоскость и два отверстия при использовании двух цилиндрических пальцев при обработке заготовки по контуру. Размеры отверстий заготовки $\varnothing 32H7^{+0,025}$ мм и $\varnothing 13H7^{+0,018}$ мм, пальцев $\varnothing 32g6\left(\begin{smallmatrix} -0,009 \\ -0,025 \end{smallmatrix}\right)$ мм и $\varnothing 13g6\left(\begin{smallmatrix} -0,006 \\ -0,017 \end{smallmatrix}\right)$ мм, расстояние между пальцами приспособления $70 \pm 0,02$ мм, а допуск на межосевое расстояние отверстий $\pm 0,04$ мм.

Задача 4.14. На горизонтально-фрезерном станке за два установка обрабатывают поверхности головок шатуна, установленного плоскостью и двумя отверстиями на цилиндрический и срезанный пальцы (рис. 4.18). Базовые отверстия выполнены в размер $D_1 = D_2 = 50^{+0,039}$ мм. Установочные пальцы изготовлены в преде-

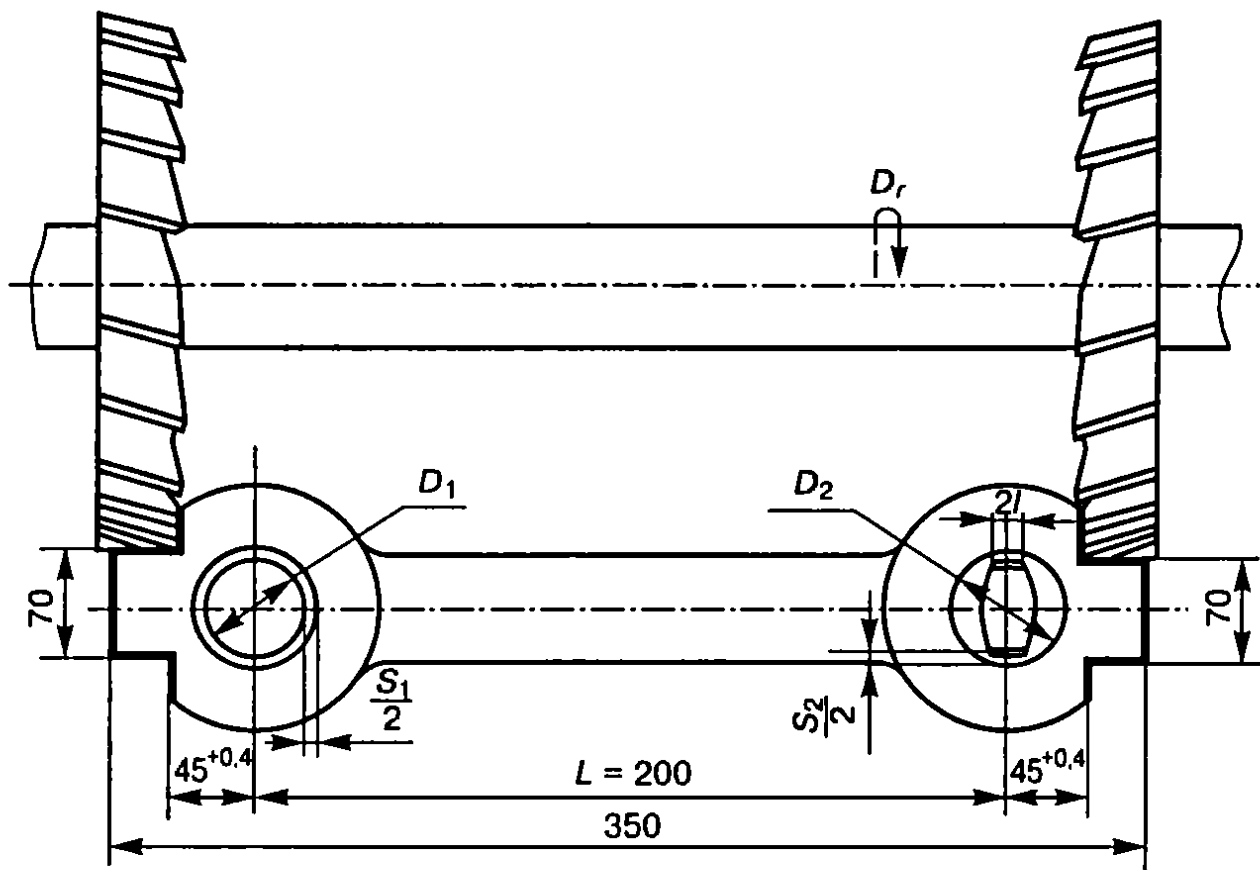


Рис. 4.18. Схема обработки шатуна (к задаче 4.14)

лах поля допуска $\varnothing 50 f7 \begin{pmatrix} -0,025 \\ -0,050 \end{pmatrix}$ мм. Определить точность выполнения размера 70 и возможность обработки поверхностей шатуна набором фрез при заданной точности выполнения размеров $45^{+0,4}$ мм. Допуск на размер между осями отверстий $T_L = 0,1$ мм. Точность метода обработки $\omega = 0,050$ мм.

Задача 4.15. Заготовки из чугуна ($R_{\max} = 200 \dots 300$ мкм, $HB = 170 \dots 190$) устанавливаются на рифленые опоры 7034-0379 ГОСТ 13442—68* ($D = 20$ мм, $t = 2$ мм, $b_1 = 0,5$ мм). Действующая по нормали на одну опору сила $Q = 2000 \pm 300$ Н. Допустимый износ опоры $[u] = 300$ мкм. Определить погрешность закрепления ϵ_3 при наибольшем износе опор приспособления. Настройка инструмента на размер производится по установу.

Задача 4.16. Заготовки из стали 45 диаметром $50^{+0,2}$ мм, обработанные точением ($R_z = 30$ мкм, $\Delta R_z = 20$ мкм, $v = 1,9$, $W_3 = 8$ мкм, $\Delta W_3 = 6$ мкм), устанавливаются в призме с углом $\alpha = 90^\circ$ для фрезерования шпоночного паза. Нормальная погонная нагрузка на опоре $q = 2000$ Н/см, $\Delta q = 600$ Н/см. Определить погрешность закрепления при эксплуатации призмы до износа $u = 0,15$ мм. Настройка инструмента на размер производится по установу.

Задача 4.17. Заготовки из чугуна ($E = 140$ ГПа, $\mu = 0,25$, $R_{\max} = 200 \dots 300$ мкм) устанавливают на сферические опоры ($E_0 = 210$ ГПа, $\mu_0 = 0,3$, $r = 20$ мм). Действующая по нормали на одну опору сила $Q = 2400 \pm 250$ Н. Допустимый износ опоры $[u] = 0,2$ мм. Определить погрешность закрепления при наибольшем износе опор приспособления. Настройка инструмента на размер производится по установу.

Задача 4.18. Заготовки из чугуна ($E = 140$ ГПа, $\mu = 0,25$, $\sigma_T = 200$ МПа), базовая поверхность которых обработана фрезерованием ($R_{\max} = 40$ мкм, $\Delta R_{\max} = 20$ мкм, $\nu = 2$; $b = 2$, $c' = 5$, $W = 10$ мкм, $R_b = 4 \cdot 10^5$ мкм, $\Delta R_b = 1 \cdot 10^4$ мкм), устанавливают на опорные планки ($A = 1000$ мм², $E_0 = 210$ ГПа, $\mu_0 = 0,3$) и закрепляют. Определить погрешность закрепления, если сила, действующая по нормали на одну опору, $Q = 5000$ Н ($\Delta Q = 1500$ Н).

Задача 4.19. Определить погрешность ϵ_{μ} , вызываемую износом опор после обработки 15 000 заготовок. Необходимые сведения о заготовке, приспособлении и условиях обработки приведены в табл. 4.6—4.8.

Задача 4.20. Определить межремонтный период приспособления, если погрешность базирования $\epsilon_6 = 0,08$ мм, погрешности закрепления $\epsilon_{3,0}$ и $\epsilon_{3,и}$ равны 0, погрешности ϵ_{yc} и ϵ_c компенсируются настройкой станка. Необходимые сведения о заготовке, приспособлении и условиях обработки приведены в табл. 4.6—4.8.

Решение (для варианта 1).

Определяем допустимое значение $[\epsilon_{\mu}]$ по уравнению (4.6):

$$[\epsilon_{\mu}] = T_H - \omega - \sqrt{\epsilon_6^2 + \epsilon_{3,0}^2} - \epsilon_{3,и} = 0,2 - 0,1 - \sqrt{0,08^2 + 0^2} - 0 = 0,02 = 20 \text{ мкм.}$$

Допустимое число устанавливаемых заготовок $[N]$ до предельного износа установочных элементов приспособления находим из уравнения (4.4):

$$[N] = \frac{[\epsilon_{\mu}] \left(m - m_1 \Pi_1 - m_2 \frac{0,1Q}{F \cdot HV} \right)}{K_y (1 + 0,003L) \cdot 0,79 t_m}$$

По [3] находим $m = 1818$, $m_1 = 1014$, $m_2 = 1309$, критерий износостойкости $\Pi_1 = 1,03$, поправочный коэффициент, учитывающий условия обработки, $K_y = 0,94$. Тогда

$$[N] = \frac{20 \left(1818 - 1014 \cdot 1,03 - 1309 \frac{0,1 \cdot 10000}{36,1 \cdot 650} \right)}{0,94 (1 + 0,003 \cdot 20) \cdot 0,79 \cdot 1,95} = 9353 \text{ шт.}$$

Исходные данные по заготовке к задачам 4.19–4.21

Ва-риант	Материал	HRC_3 (HB)	Форма базо-вой поверх-ности	N_r , шт.	T_H , мм
1	Сталь незака-ленная	(HB 160)	Цилиндр	40 000	0,2
2		(HB 200)		100 000	0,3
3	Чугун*	—	Плоскость	55 000	0,28
4				70 000	0,18
5	Сталь зака-ленная	HRC_3 50		85 000	0,16
6	Чугун*	—		20 000	0,25
7	Сталь незака-ленная	(HB 220)		5 000	0,2
8	Чугун*	—		25 000	0,19

* Для заготовок из чугуна твердость материала в расчетах не учитывается.

Таблица 4.7

Исходные данные по приспособлению к задачам 4.19–4.21

Ва-риант	Тип опоры	Материал	Твердость опоры HV	F , мм	Q , Н	L , мм
1	Призма	Сталь 20	650	36,1	10 000	20
2		Сталь 40X	730	28,5	8000	40
3	Пластина опорная	Сталь 20	500	640	9000	50
4	Штырь с пло-ской головкой	Сталь 45	700	28,3	2000	20
5		Сплав ВК8	800	28,3	2400	32
6	Штырь со сфе-рической го-ловкой	Сталь У10А	600	2,9	6000	25
7		Сталь 20	520	3,36	12 000	30
8	Штырь с риф-ленной головкой	Сталь 40X	570	10	9800	45

Межремонтный период, определяющий необходимость замены или восстановления установочных элементов приспособления, находим из уравнения (4.5):

$$P_k = \frac{12k_1[N]}{N_r} = \frac{12 \cdot 0,85 \cdot 9353}{40000} = 2,4 \text{ месяца.}$$

Условия обработки к задачам 4.19—4.21

Вариант	Метод обработки	ω , мм	t_m , мин
1	Фрезерование с охлаждением	0,1	1,95
2	Сверление без охлаждения	0,12	2
3	Фрезерование без охлаждения	0,12	3,2
4	Шлифование без охлаждения	0,06	4,7
5	Шлифование с охлаждением	0,06	2,1
6	Фрезерование без охлаждения	0,12	1,3
7	Фрезерование с охлаждением	0,1	0,8
8	Точение без охлаждения	0,08	1,2

Задача 4.21. Определить межремонтный период приспособления, если $\varepsilon_6 = 0,05$ мм, $\varepsilon_{з.о} = 0,010$ мм, $\varepsilon_{з.и} = 0,005$ мм. Погрешности, вызываемые неточностью изготовления и сборки установочных элементов и установки приспособления на станке, не компенсируются настройкой станка и соответственно равны $\varepsilon_{yc} = 0,01$ мм, $\varepsilon_c = 0,012$ мм. Расчет выполнить при $N_r = 3000$ шт., остальные данные взять из табл. 4.6—4.8.

4.2. Выбор рациональных схем базирования

Задача 4.22. Вывести расчетные зависимости для погрешностей базирования ε_6 при выполнении размеров A и B для каждой схемы установки (рис. 4.19). Определить, какая из представленных схем обеспечит наибольшую точность выполнения обоих размеров.

Задача 4.23. Для сверления отверстий валы могут иметь различные схемы установки (рис. 4.20). Вывести зависимости для определения отклонения от соосности e обрабатываемого отверстия относительно оси вала при различных схемах установки. Определить, какая из приведенных схем базирования обеспечивает наименьшую погрешность обработки, если известно, что диаметр вала $d = 50_{-0,062}$ мм и угол призмы $\alpha = 90^\circ$.

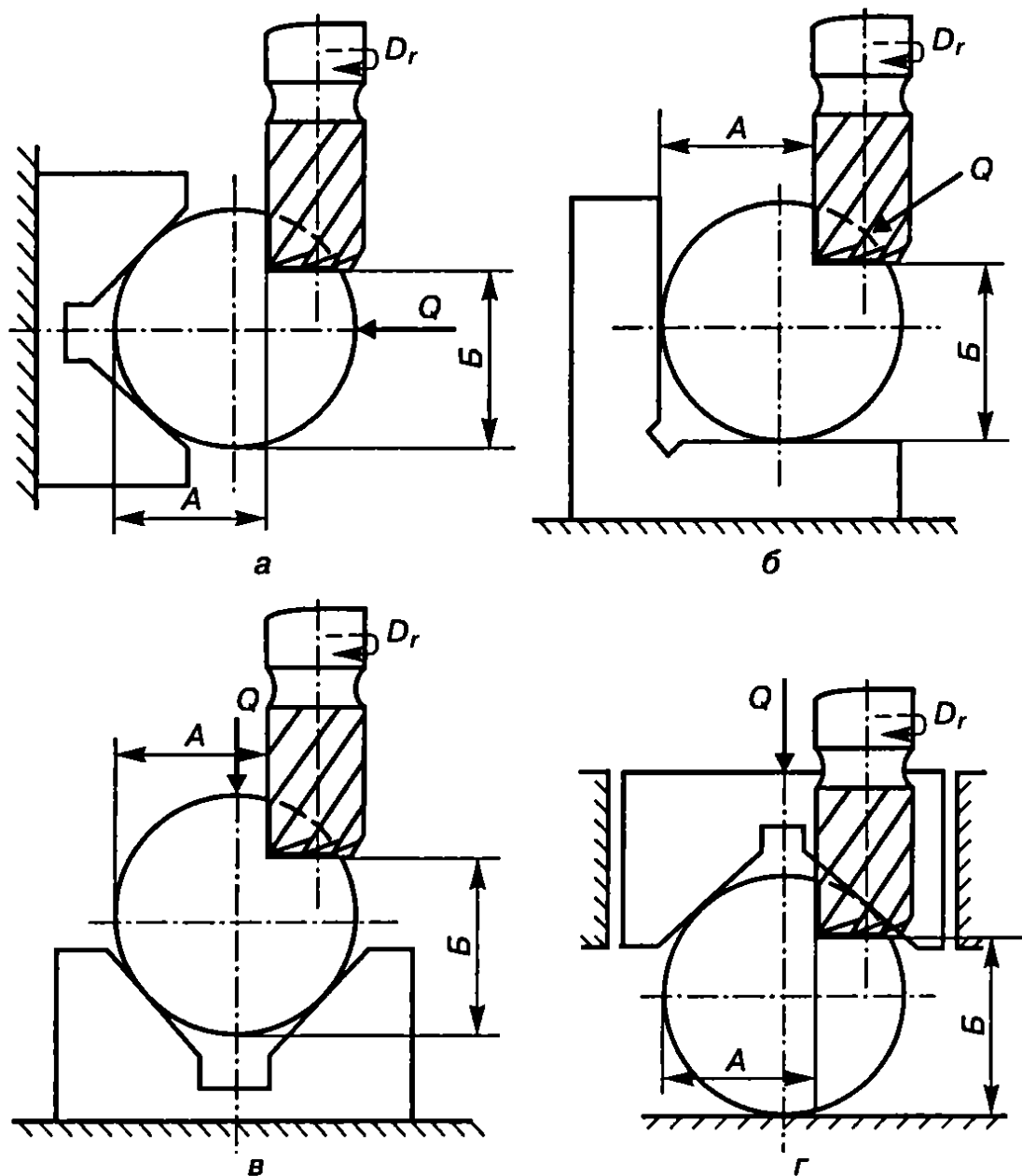


Рис. 4.19. Схемы установки заготовки при фрезеровании (к задаче 4.22)

Задача 4.24. У цилиндрических втулок с наружным диаметром $\varnothing 80_{-0,2}$ мм и внутренним $\varnothing 40^{+0,050}$ мм требуется фрезеровать шпоночный паз шириной $B = 18^{+0,1}$ мм, выдерживая размеры $H = 70_{-0,2}$ мм и $h = 90^{+0,3}$ мм (рис. 4.21). Смещение оси шпоночного паза e относительно оси втулки не должно превышать 0,1 мм. Угол призмы $\alpha = 90^\circ$, минимальный зазор при установке заготовки на палец или во втулку $S_{\min} = 0,01$ мм. Допуск на изготовление установочного пальца и центрирующей втулки равен 0,02 мм. Точность метода обработки $\omega = 0,06$ мм. Погрешности закрепления и положения заготовки принять равными нулю.

Выбрать из схем установки ту, для которой расчетная погрешность базирования для выполняемых размеров B , H , h и отклонение от соосности e минимальны и обеспечивают достижение заданной точности обработки.

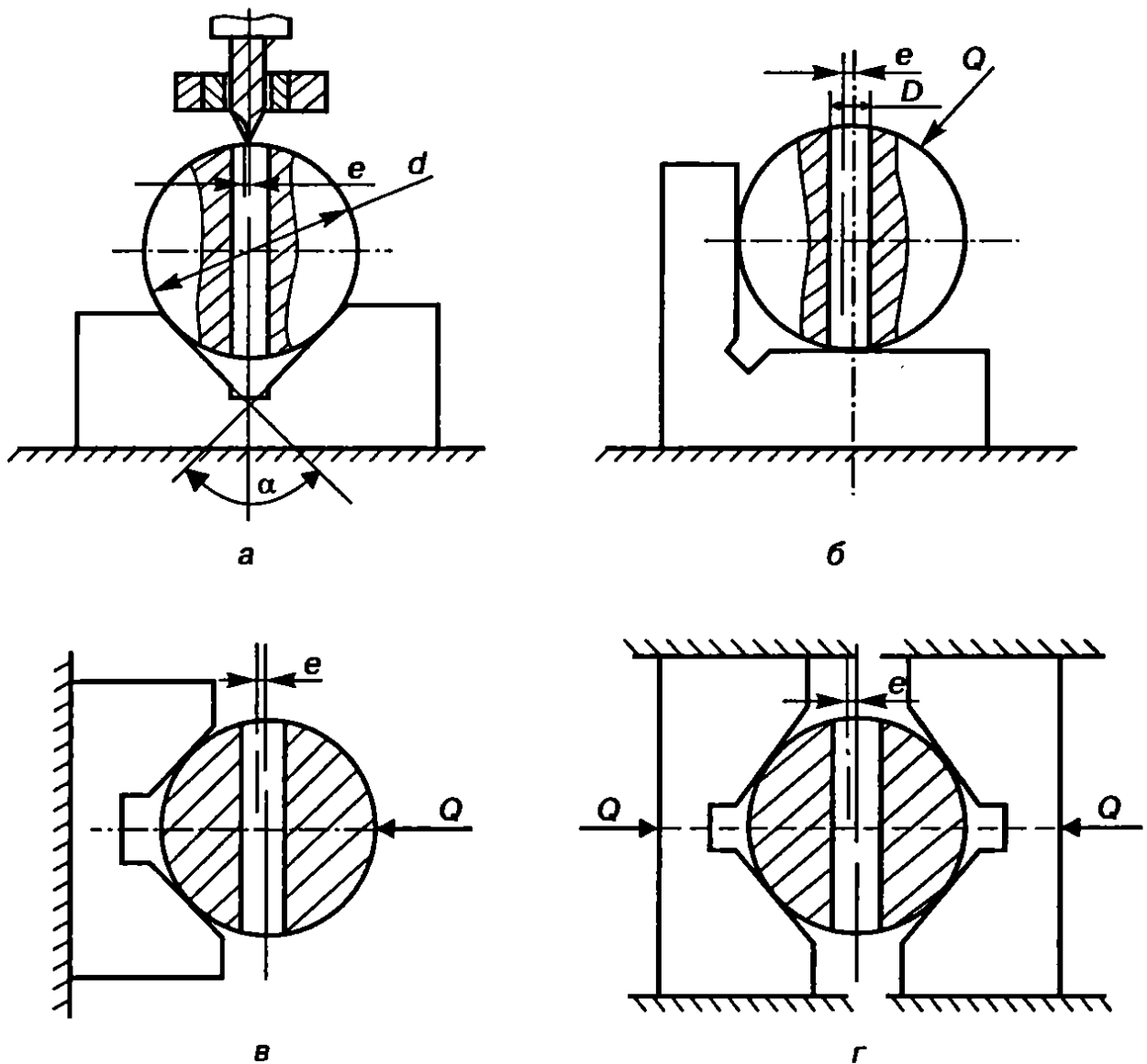


Рис. 4.20. Схемы установки заготовки при сверлении (к задаче 4.23)

Задача 4.25. Решить предыдущую задачу (см. рис. 4.21) относительно размера H_1 .

Задача 4.26. В торцевой поверхности диска через кондукторную втулку сверлят отверстие, положение оси которого относительно оси наружной поверхности диска определяется размерами A_1 и A_2 . Выполнение операции сверления возможно при различных схемах установки заготовки (рис. 4.22). Вывести расчетные зависимости для определения погрешности базирования для размеров A_1 и A_2 диска при различных схемах установки и определить, какая из приведенных схем базирования обеспечивает бóльшую точность.

Диаметр заготовки выполнен в размер $\varnothing 75_{-0,074}$ мм, угол призмы $\alpha = 90^\circ$, диаметр центрирующей втулки $D = 75_{+0,010}^{+0,029}$ мм.

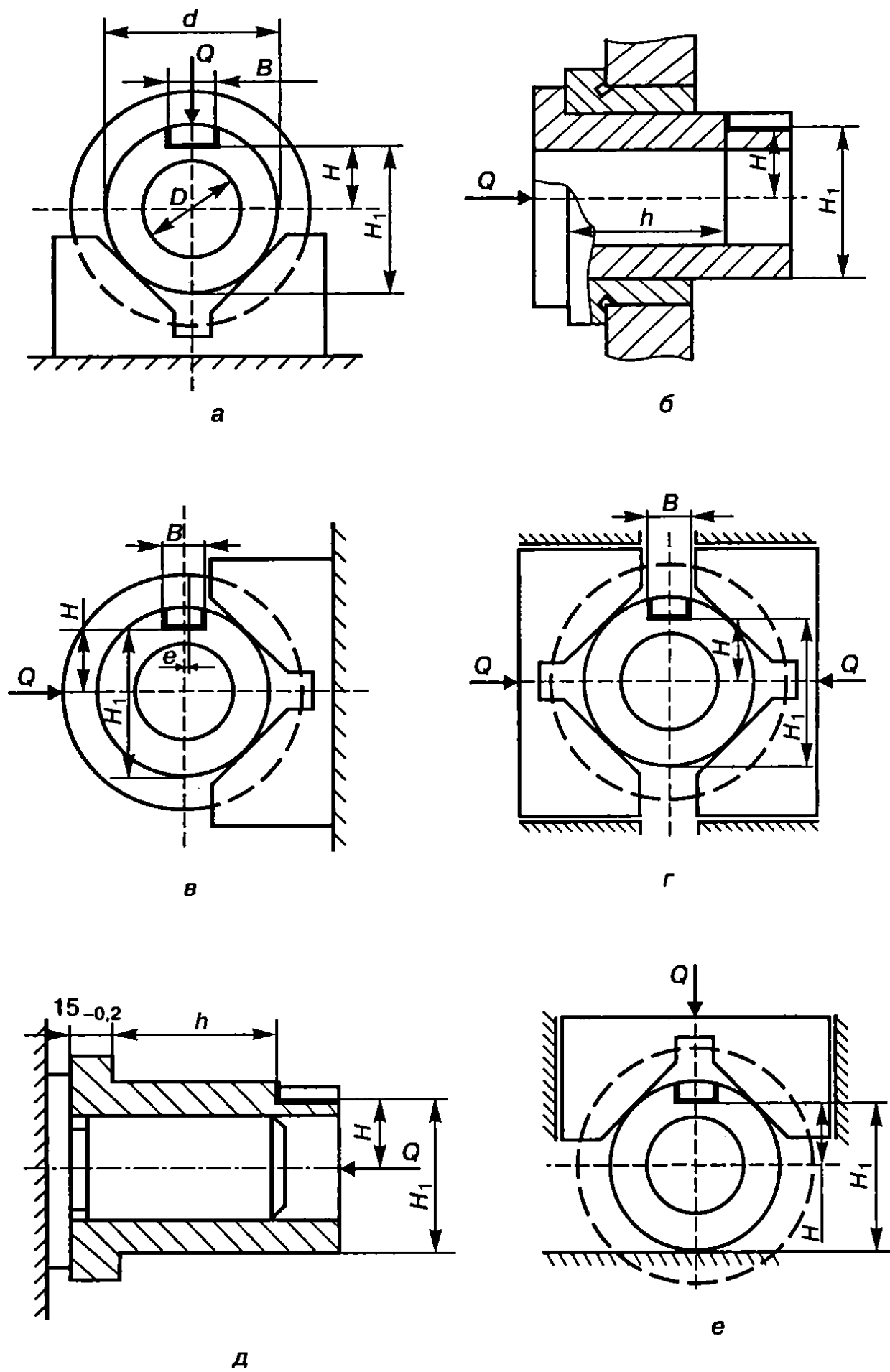


Рис. 4.21. Схемы установки заготовки при обработке шпоночного паза (к задачам 4.24 и 4.25)

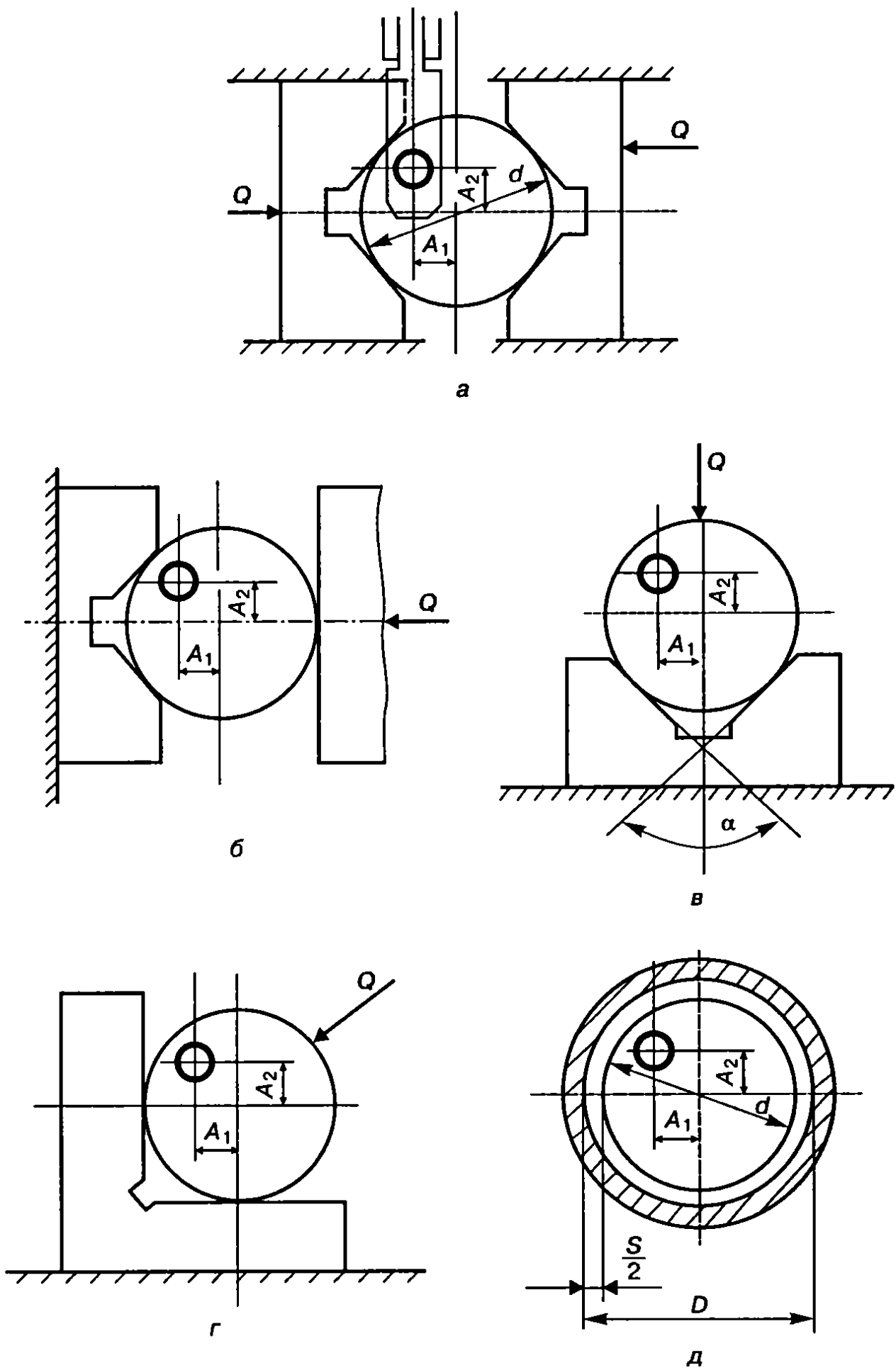


Рис. 4.22. Схемы установки диска (к задаче 4.26)

Задача 4.27. Для фрезерования поверхностей 1 и 2 возможны две схемы установки заготовки (рис. 4.23). В качестве технологических баз в обоих случаях используют наружную цилиндрическую поверхность d , плоскость (торцовую поверхность) и отверстие D заготовки.

Требуется:

а) вывести расчетные зависимости для определения погрешности базирования для размеров A_1 , A_2 и A_3 ;

б) определить, на точность выполнения каких размеров будет оказывать влияние погрешность закрепления в приведенных схемах установки.

Размеры заготовки d и D выполнены с допусками T_d и T_D , отверстие центрирующей втулки D_1 — с допуском T_{D_1} .

Задача 4.28. При обработке поверхностей заготовки на горизонтально-фрезерном станке набором фрез возможны два варианта установки (рис. 4.24). Требуется определить, какая схема установки обеспечивает выполнение заданной точности размеров: $50^{+0,3}$ мм, $75_{-0,2}$ мм и $40 \pm 0,1$ мм. Наружная цилиндрическая поверхность заготовки $d = 60_{-0,2}$ мм, диаметр отверстия $D = 30^{+0,021}$ мм. Размеры установочных пальцев $d_{\text{п}} = 30_{-0,020}^{-0,007}$ мм. Угол призмы $\alpha = 90^\circ$. Средняя точность метода обработки $\omega = 0,050$ мм. Погрешностями закрепления и положения заготовки в приспособлении пренебречь, т.е. принять $\varepsilon_3 = \varepsilon_{\text{пр}} = 0$.

Задача 4.29. Возможны два варианта установки корпуса для одновременной обработки поверхностей 1 и 2 на продольно-фрезерном станке (рис. 4.25). Вывести расчетные зависимости погрешности базирования при выполнении размеров A_1 , A_2 и A_3 для двух схем установки и определить, какая из них обеспечивает наименьшую разность размеров A_1 и A_2 .

Задача 4.30. На рис. 4.26 приведены возможные схемы установки шатуна в приспособлении для сверления четырех отверстий через кондукторные втулки. Кондукторная плита имеет жесткую связь с корпусом приспособления.

Требуется с учетом точности изготовления базовых поверхностей заготовок $d = 70_{-0,3}$ мм, $D = 30^{+0,033}$ мм и их межосевого расстояния $L_0 = 200 \pm 0,05$ мм определить погрешности базирования при выполнении размеров A_1 , A_2 , A_3 , A_4 и возможное отклонение от соосности обрабатываемых отверстий относительно плоскости симметрии базовых поверхностей e_1 и e_2 . Выбрать, какая из приведенных схем базирования обеспечивает наибольшую точность

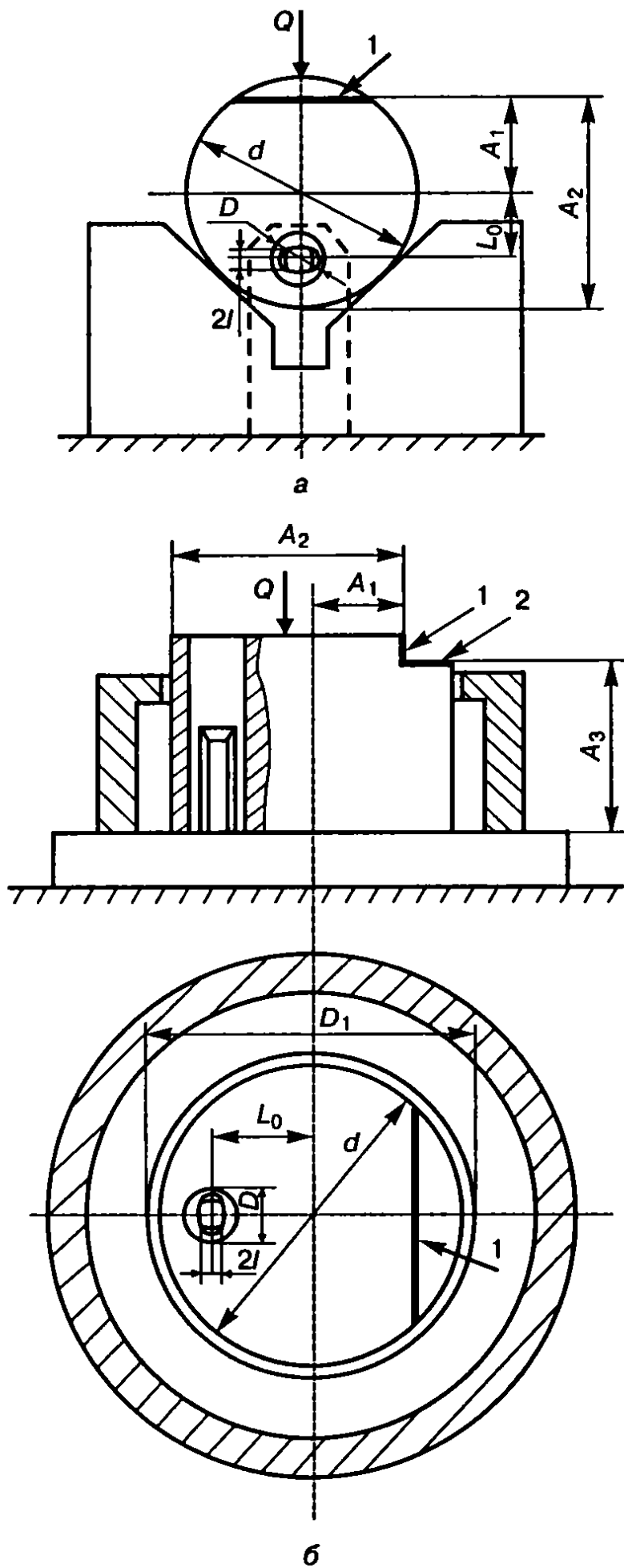


Рис. 4.23. Схемы установки заготовки при механической обработке (к задачам 4.27, 4.45 и 4.46)

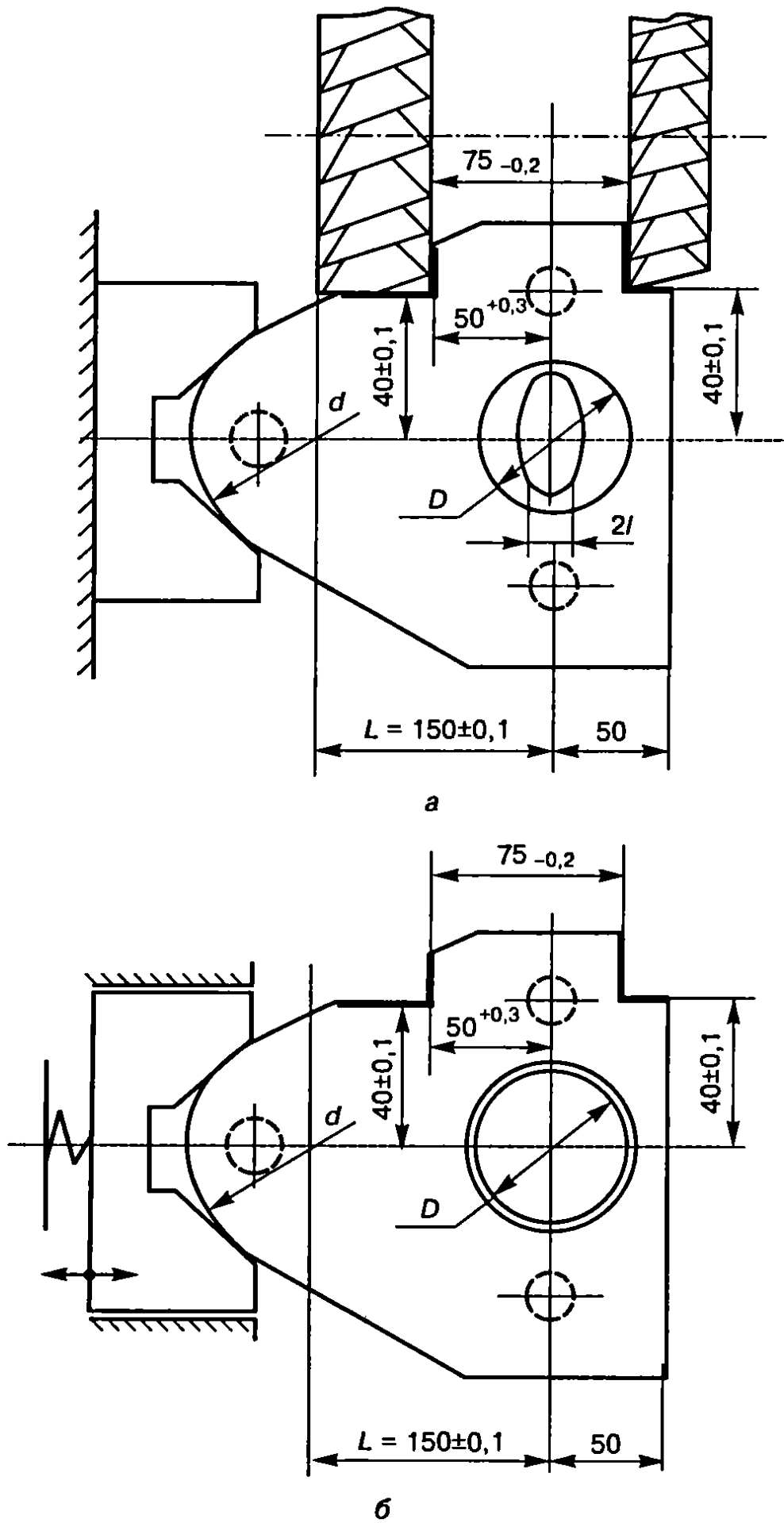


Рис. 4.24. Схемы установки заготовки при фрезеровании (к задачам 4.28 и 4.42)

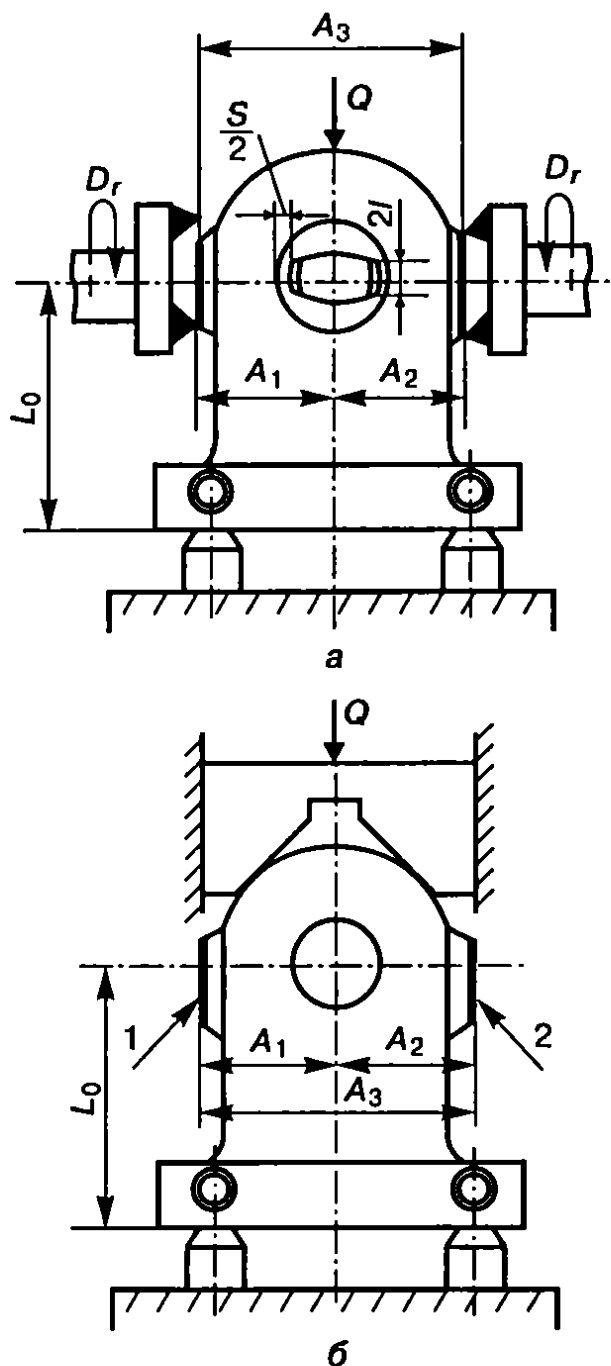


Рис. 4.25. Схемы обработки поверхностей корпуса (к задачам 4.29 и 4.37)

выполнения указанных размеров. Угол призмы $\alpha = 90^\circ$, размер установочных пальцев $\varnothing 30_{-0,016}^{-0,007}$ мм.

Задача 4.31. На горизонтально-фрезерном станке в головках шатуна набором фрез обрабатываются пазы шириной B_1 и B_2 (рис. 4.27). Из-за неточности выполнения размеров базовых поверхностей d_1 , d_2 и межосевого расстояния L_0 возникает несоосность пазов относительно осей головок шатуна e_1 и e_2 . Вывести расчетные зависимости $\epsilon_6^{e_1}$ и $\epsilon_6^{e_2}$ для различных схем установки и выбрать вариант базирования шатуна с меньшей погрешностью.

Задача 4.32. Для обработки паза концевой фрезой на вертикально-фрезерном станке возможны различные схемы установки

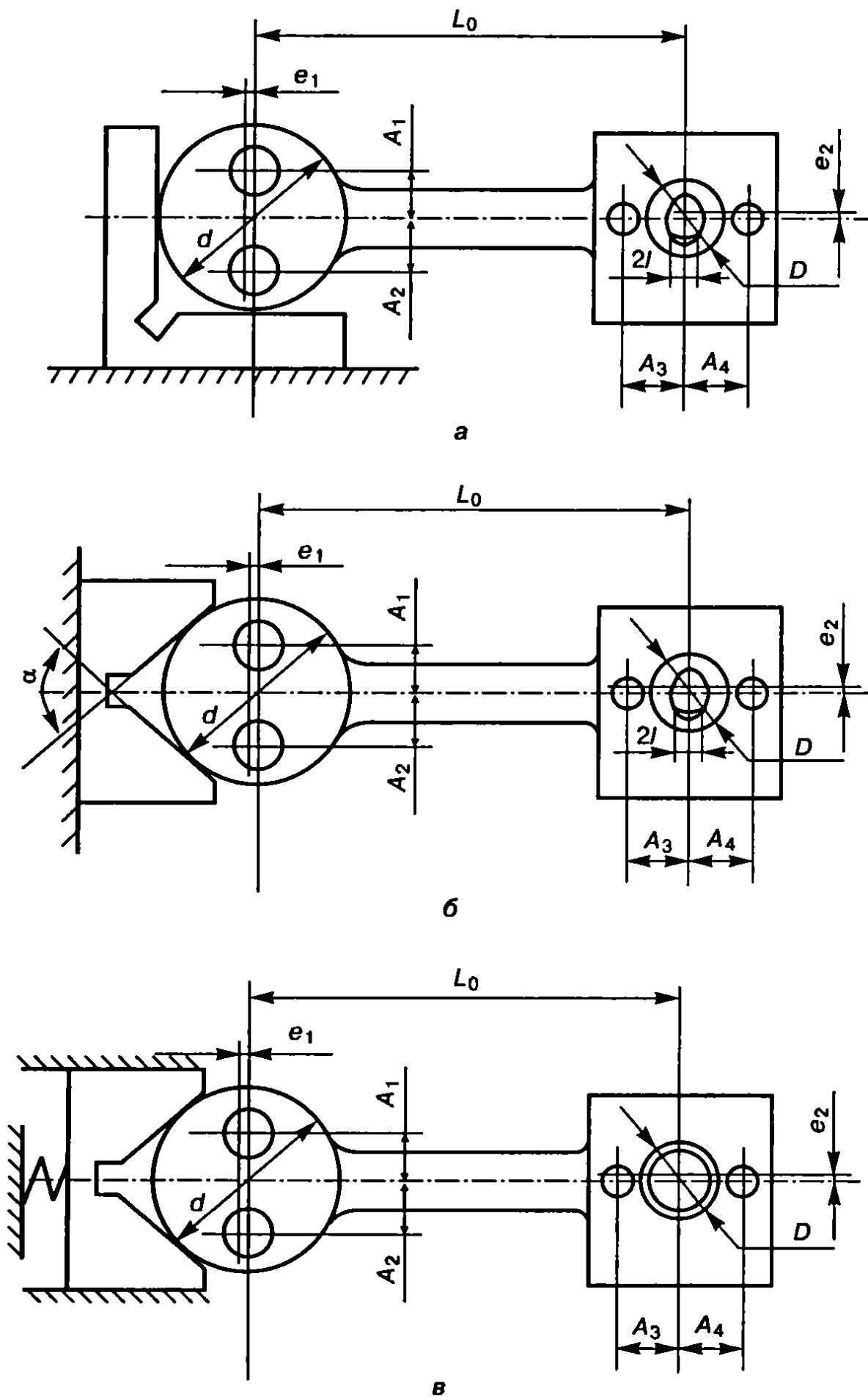


Рис. 4.26. Схемы установки шатуна при сверлении отверстий (к задачам 4.30, 4.39 и 4.41): а, б, в — варианты базирования

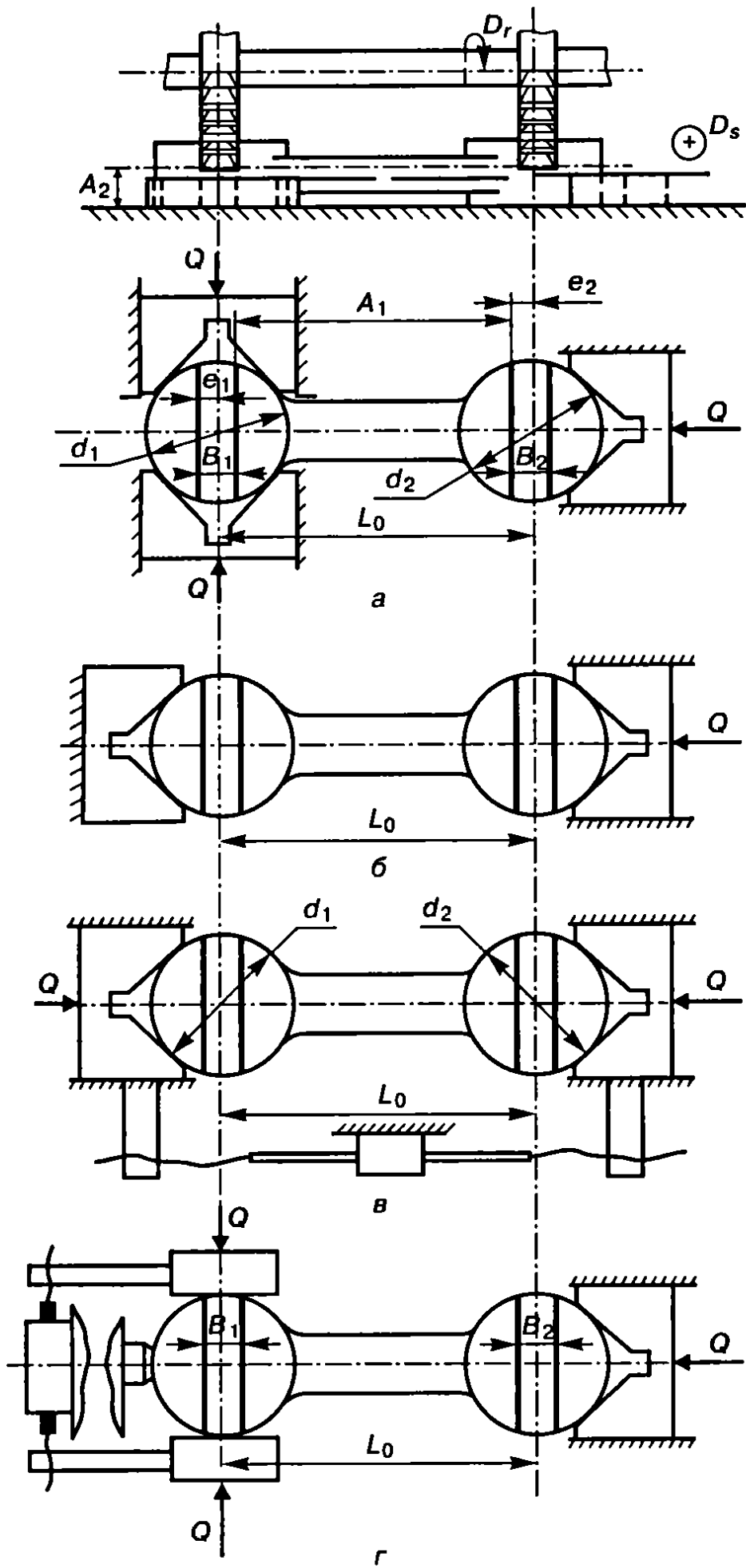
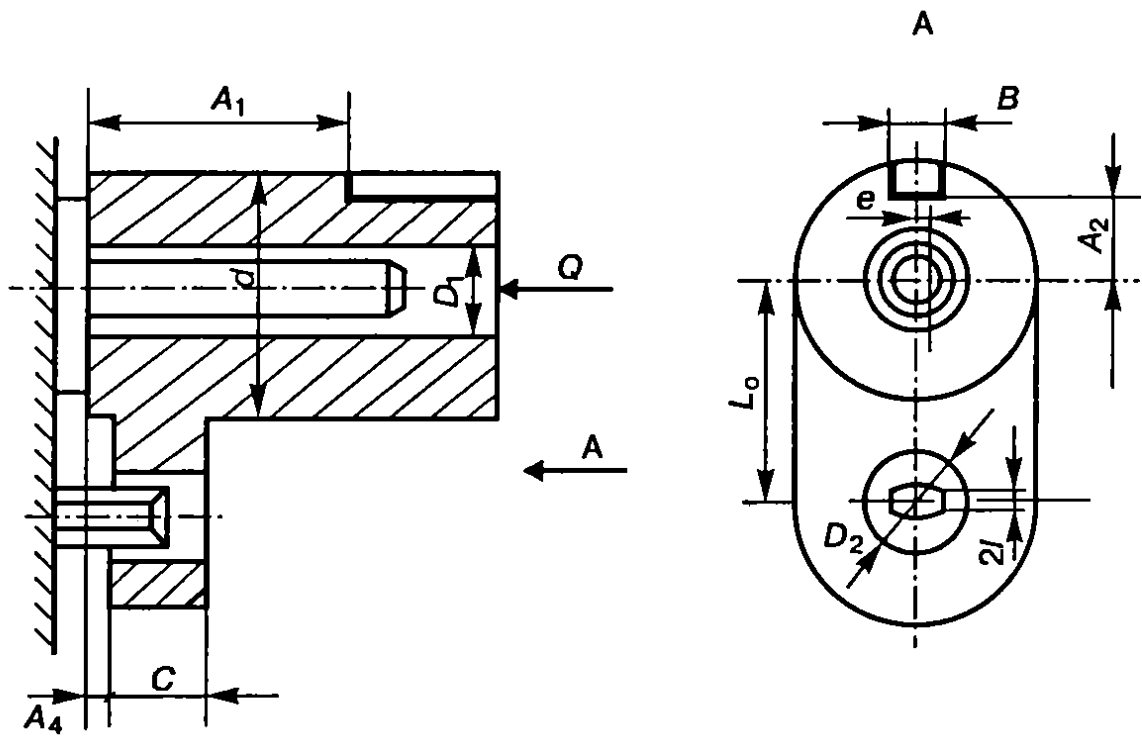
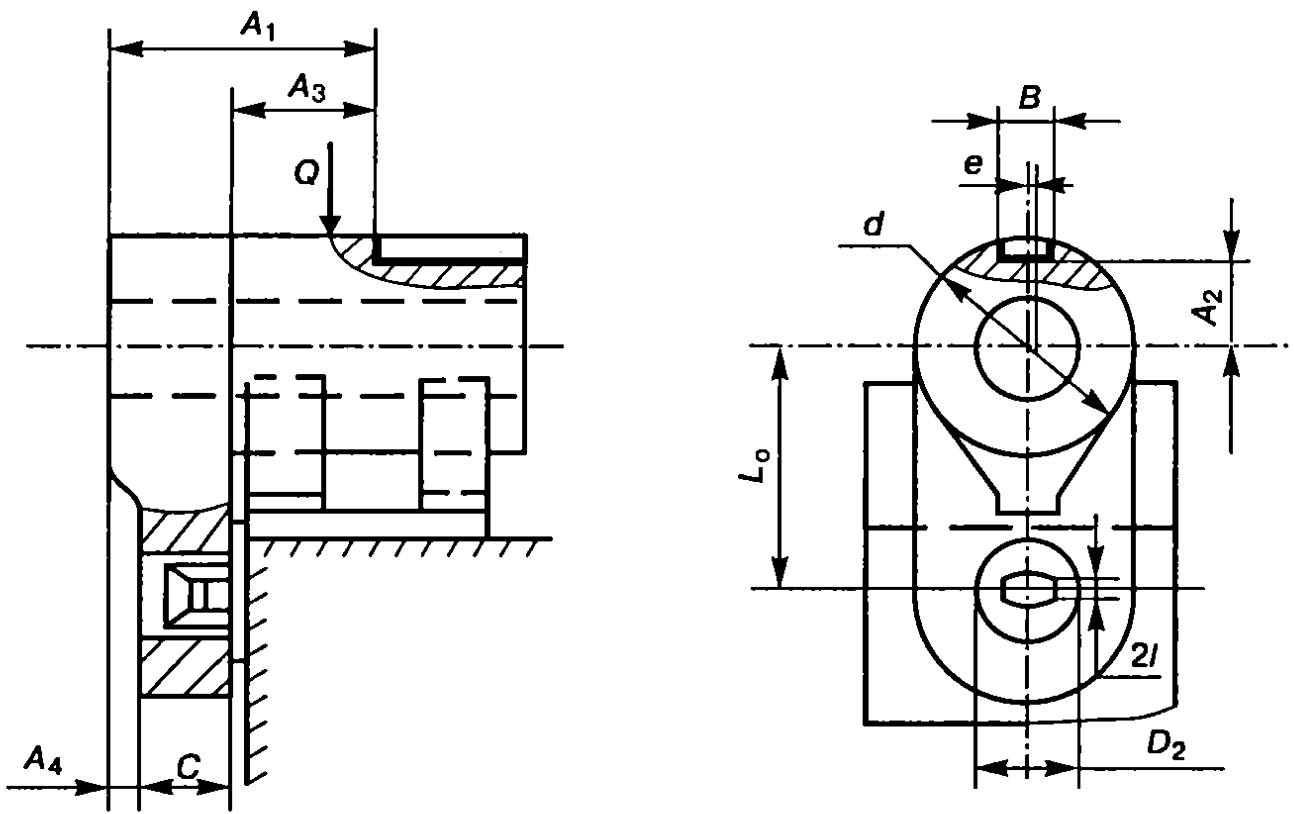


Рис. 4.27. Схемы обработки пазов в головках шатуна (к задаче 4.31):
 а, б, в, г — варианты базирования

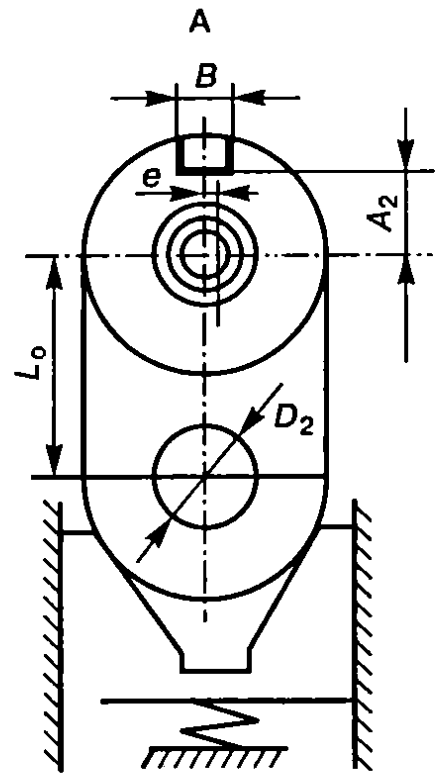
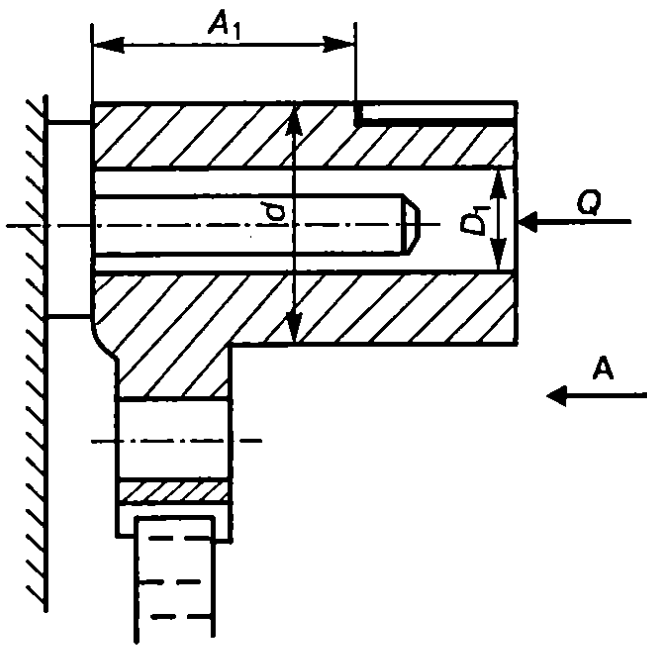


a

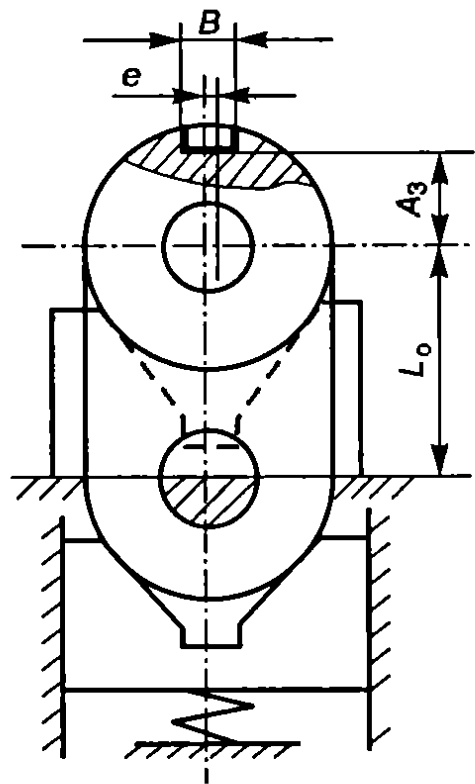
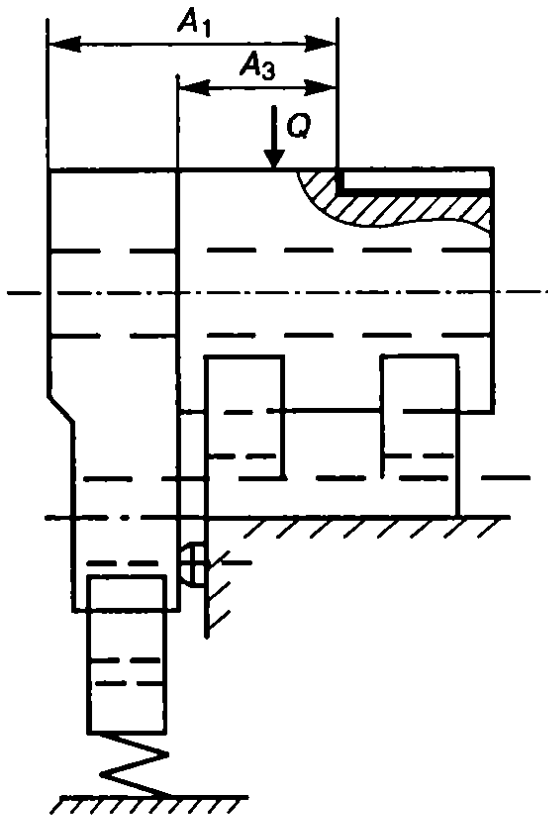


b

Рис. 4.28. Схемы установки заготовки при обработке



В



Г

шпоночного паза (к задачам 4.32, 4.43 и 4.44)

(рис. 4.28). Определить погрешность базирования для размеров A_1 , A_2 и B , а также погрешность базирования, обуславливающую появление отклонения от соосности оси шпоночного паза относительно осей отверстий D_1 и D_2 по следующим данным: диаметр наружной цилиндрической поверхности заготовки $d = 80_{-0,2}$ мм; диаметры внутренних цилиндрических поверхностей $D_1 = 40^{+0,05}$ мм и $D_2 = 30^{+0,033}$ мм, диаметры установочных пальцев $d_1 = 40$ мм, $d_2 = 30_{-0,016}^{-0,007}$ мм; межосевое расстояние $L_0 = 100^{+0,1}$ мм. Размеры $A_2 = 34$ мм, $A_4 = 5^{+0,1}$ мм и $C = 20 \pm 0,05$ мм; угол призмы $\alpha = 90^\circ$. Выбрать схему, обеспечивающую минимальные погрешности базирования для всех выполняемых размеров.

4.3. Расчет исполнительных размеров установочных и направляющих элементов

Задача 4.33. У втулки, установленной торцовой поверхностью на пластину и отверстием на цилиндрический палец (см. рис. 4.10), при фрезеровании уступа выполняют размер $A_1 = 80 \pm 0,1$ мм. Требуется определить исполнительный размер установочного пальца d , если известно, что размер базового отверстия $D = 60H8(^{+0,046})$ мм, точность фрезерования $\omega = 0,120$ мм. Погрешности положения заготовки компенсируются настройкой станка.

Решение. Анализ схемы установки втулки показывает, что исполнительный размер (диаметр) установочного пальца определяется из условия обеспечения заданной точности выполнения размера A_1 :

$$T_{A_1} = \varepsilon_y^{A_1} + \omega.$$

Учитывая, что погрешность закрепления в этом случае равна нулю, а погрешности положения заготовки компенсируются настройкой станка, имеем

$$T_{A_1} = \varepsilon_6^{A_1} + \omega,$$

где $\varepsilon_6^{A_1}$ — погрешность базирования размера A_1 .

Погрешность базирования определяется по уравнению [3]

$$\varepsilon_6^{A_1} = \lambda_2(T_D + T_d) + S_{\min},$$

где $\lambda_2 = 0,517$ — вероятностный коэффициент, учитывающий закон распределения размеров в пределах допуска [3].

Таким образом,

$$T_{A_1} = \lambda_2(T_D + T_d) + S_{\min} + \omega,$$

откуда

$$S_{\min} + \lambda_2 T_d = T_{A_1} - \lambda_2 T_D - \omega = 0,2 - 0,517 \cdot 0,046 - 0,120 = 0,056 \text{ мм.}$$

Из таблиц СТ СЭВ 144—75 подбираем поле допуска вала (пальца) так, чтобы соблюдалось условие $S_{\min} + T_d \geq ei$ (рис. 4.29):

Отклонения	<i>g5</i>	<i>f6</i>	<i>g6</i>	<i>f7</i>	<i>e7</i>
<i>es</i> , мкм	-10	-30	-10	-30	-60
<i>ei</i> , мкм	-23	-49	-29	-60	-90

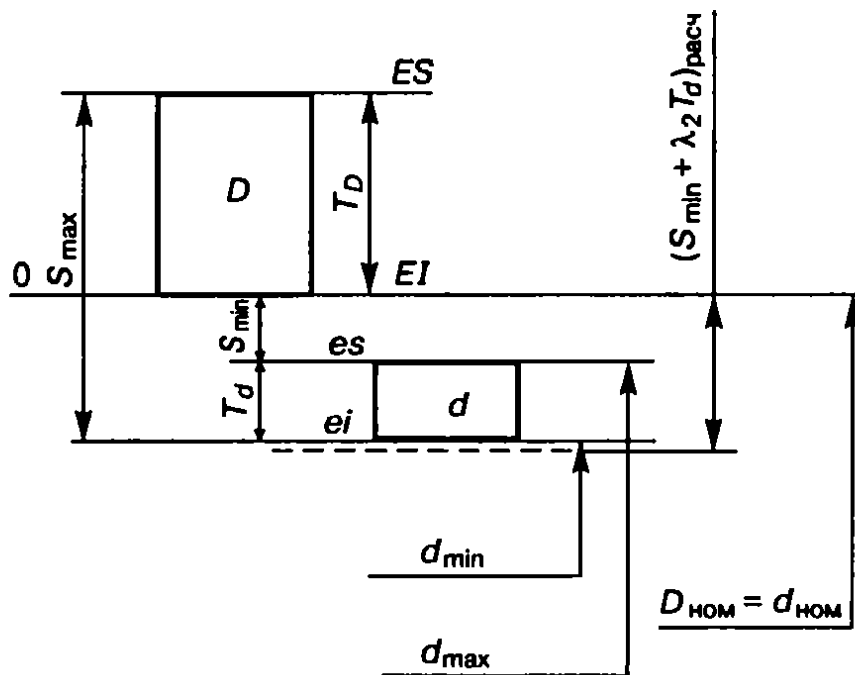


Рис. 4.29. Схема расположения полей допусков отверстия заготовки и установочного пальца (к задаче 4.33)

Очевидно, что указанному условию удовлетворяют поля допусков валов *g5*, *f6* и *g6*, а из возможных следует выбрать менее точный, так как его изготовление более дешевое, т.е. размер установочного пальца $d = 60f6 \begin{pmatrix} -0,030 \\ -0,049 \end{pmatrix}$ мм.

Выполним проверочный расчет и определим ожидаемую точность выполнения размера A_1 :

$$T_{A_1} = \lambda_2(T_D + T_d) + S_{\min} + \omega = 0,517(0,046 + 0,019) + 0,030 + 0,120 = 0,184 \text{ мм.}$$

При заданном на размер A_1 допуске $T_{A_1} = 0,2$ мм принятое поле допуска установочного пальца $d = 60f6$ обеспечивает некоторый запас точности 0,016 мм.

Задача 4.34. Базовое отверстие заготовки выполнено в системе вала с отклонениями поля допуска размера $D = 60F9 \begin{pmatrix} +0,104 \\ +0,030 \end{pmatrix}$ мм. Схема установки и условия обработки заготовки — как в предыдущей задаче (см. рис. 4.10). Требуется определить исполнительный размер цилиндрического установочного пальца, обеспечивающий выполнение заданной точности размера A_1 ($T_{A_1} = 0,250$ мкм). Точность метода обработки принять $\omega = 0,120$ мм.

Задача 4.35. Определить исполнительный размер центрирующей втулки при установке заготовки плоскостью и наружной цилиндрической поверхностью (см. рис. 4.11) при обработке паза и выполнении размера $A_2 = 50 \pm 0,095$ мм. Наружная цилиндрическая поверхность обработана в размер $d = 100h8 \begin{pmatrix} -0,054 \end{pmatrix}$ мм. Суммарная погрешность положения заготовки $\epsilon_{пр} = 0,040$ мм. Точность фрезерования $\omega = 0,060$ мм.

Замечание: условие для выбора исполнительных размеров центрирующей втулки $S_{\min} + \lambda_2 T_D \geq ES$.

Задача 4.36. Втулки из стали 45 устанавливают с натягом на центровую цилиндрическую оправку (рис. 4.30), обрабатываются по наружной поверхности в размер $d_1 = 100_{-0,14}$ мм. Диаметр базового отверстия втулки выполнен в размер $D = 50^{+0,016}$ мм с шеро-

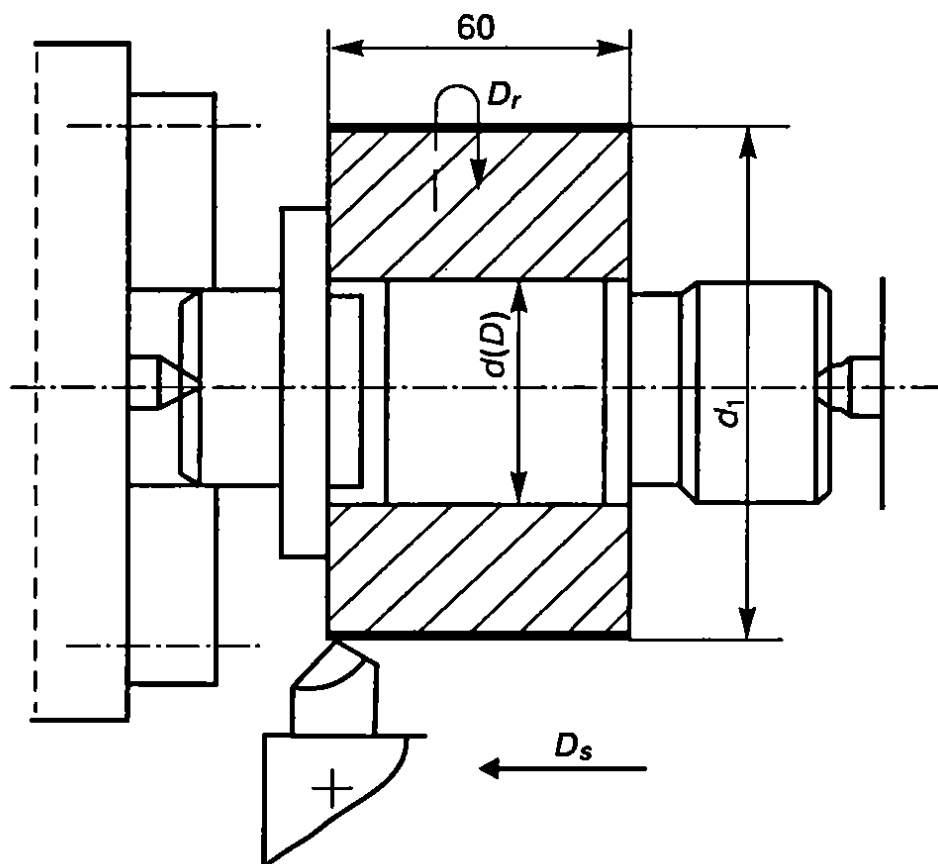


Рис. 4.30. Схема установки и обработки втулки (к задаче 4.36)

ховатостью поверхности $Rz_2 = 6,3$ мкм. Рабочая поверхность оправки из стали 20Х ($HRC_3, 55...60$) после шлифования имеет шероховатость $Rz_1 = 3,2$ мкм. Сила резания при точении (с режимами $S = 0,2$ мм/об; $t = 2,0$ мм; $v = 42$ м/мин) составляет $P_z = 1080$ Н. Коэффициент трения между заготовкой и оправкой $f = 0,08$. Коэффициент запаса принять равным $k = 2,5$. Длина базового отверстия (длина контакта заготовки с оправкой) $l = 50$ мм.

Требуется определить исполнительный размер оправки d , обеспечивающий неподвижность запрессованной заготовки от проворота под действием силы резания P_z .

Замечание: при решении использовать зависимости, приведенные в параграфе 1.4 для определения усилия запрессовки.

Задача 4.37. Для обработки поверхностей 1 и 2 и выполнения размеров A_1 и A_2 (см. рис. 4.25, а) корпус базируют плоскостями и отверстием на срезанный палец. Размер L_0 от оси отверстия заготовки до базовой плоскости выполнен с допуском $T_{L_0} = 0,1$ мм, в приспособлении размер L_n от оси срезанного пальца до рабочей поверхности пластин выполнен с допуском $T_{L_n} = 0,05$ мм. Размер базового отверстия $\varnothing 30^{+0,033}$ мм; диаметр срезанного пальца $\varnothing 30^{-0,020}_{-0,039}$ мм. Требуется определить ширину ленточки $2l$ срезанного пальца, при которой обеспечивается возможность свободной установки заготовок в приспособление.

Решение. Увеличенное до $2C$ значение зазора S , обеспечивающее установку партии заготовок, определяется по зависимости [7]

$$2C = T_{L_0} + T_{L_n} - S_{1\min},$$

где T_{L_0} — допуск на размер между базовыми поверхностями заготовки;
 T_{L_n} — допуск на размер между установочными элементами (от оси срезанного пальца до рабочей поверхности пластин);
 $S_{1\min}$ — минимальный зазор между цилиндрическими пальцами и отверстием заготовки.

Для приведенной схемы установки (см. рис. 4.25, а) $S_{1\min} = 0$. Тогда

$$2C = T_{L_0} + T_{L_n} = 0,1 + 0,05 = 0,15 \text{ мм.}$$

Ширина ленточки цилиндрической поверхности срезанного пальца определяется по зависимости [9]

$$2l = \frac{D_2 S_{2\min}}{2C} - C,$$

где D_2 — номинальный диаметр отверстия, которым заготовка устанавливается на срезанный палец;
 $S_{2\min}$ — минимальный зазор в сопряжении базового отверстия со срезанным пальцем (соответствует зазору S на рис. 4.25, а).

В данном случае необходимая ширина ленточки срезанного пальца, при которой гарантируется возможность свободной установки всей партии заготовок, для приведенной схемы установки будет равна

$$2l = \frac{30 \cdot 0,020}{0,15} - 0,075 = 4,0 \text{ мм},$$

т.е. ширина ленточки срезанного пальца должна быть не более 4,0 мм.

Задача 4.38. Заготовку устанавливают плоскостью на пластину и двумя отверстиями ($D_1 = D_2 = 40$ мм) на цилиндрический и срезанный пальцы (см. рис. 4.14). Минимальный зазор в сопряжении отверстий с установочными пальцами $S_{1\min} = S_{2\min} = 0,009$ мм. Размер между осями базовых отверстий L_0 выполнен с допуском $T_{L_0} = 0,1$ мм; между осями установочных элементов $T_{L_{\Pi}} = 0,05$ мм. Определить ширину ленточки срезанного пальца, обеспечивающую свободную установку заготовок.

Задача 4.39. Для сверления четырех отверстий шатун устанавливают в приспособлении плоскостью (торцы головок), наружной цилиндрической поверхностью $d = 70^{-0,3}$ мм в призму и отверстием $D = 35^{+0,039}$ мм на срезанный палец $\varnothing 35_{-0,041}^{-0,025}$ мм (см. рис. 4.26, б). Взаимное положение осей базовых поверхностей заготовки — в пределах допуска $T_{L_0} = 0,1$ мм; положение установочных элементов — с допуском $T_{L_{\Pi}} = 0,05$ мм. Угол призмы $\alpha = 90^\circ$. Определить ширину ленточки срезанного пальца, при которой будет обеспечена свободная установка заготовок и контакт наружной цилиндрической поверхности заготовки с рабочими поверхностями призмы.

Замечание: увеличенное значение зазора $2C$, обеспечивающее установку партии заготовок в данной схеме, определять по зави-

симости
$$2C = T_{L_0} + T_{L_{\Pi}} + \frac{T_d}{2 \sin \frac{\alpha}{2}}.$$

Задача 4.40. Рычаг для протягивания шпоночного паза устанавливают на цилиндрический и срезанный пальцы (см. рис. 4.17). Базовые отверстия заготовок имеют размеры $D_1 = 50^{+0,025}$ мм и $D_2 = 35^{+0,025}$ мм, цилиндрический палец $d_1 = 50_{-0,020}^{-0,009}$ мм, срезанный палец $d_2 = 35_{-0,041}^{-0,025}$ мм. Допуск на размер между осями базовых отверстий $T_{L_0} = 0,1$ мм, между осями установочных пальцев $T_{L_{\Pi}} = 0,05$ мм. Определить допустимую ширину ленточки цилиндрической поверхности срезанного пальца.

Задача 4.41. Сверление отверстий через кондукторные втулки производят при установке шатуна плоскостью, наружной цилиндрической поверхностью и отверстием (см. рис. 4.26, *a*). Наружная поверхность головки шатуна выполняется с допуском $T_d = 0,5$ мм. Отверстие изготовлено в размер $D = 55^{+0,046}$ мм. Диаметр срезанного пальца $\varnothing 55_{-0,049}^{-0,030}$ мм. Точность взаимного положения осей базовых поверхностей $T_{L_0} = 0,1$ мм и установочных элементов (призмы и срезанного пальца) $T_{L_{\Pi}} = 0,04$ мм. Угол призмы $\alpha = 90^\circ$. Определить ширину ленточки срезанного пальца, обеспечивающую свободную установку заготовки и контакт наружной цилиндрической поверхности головки шатуна с призмой.

Задача 4.42. Для одновременной обработки поверхностей набором фрез заготовку устанавливают плоскостью, наружной цилиндрической поверхностью и отверстием (см. рис. 4.24, *a*). Наружная цилиндрическая поверхность обработана в размер $d = 60_{-0,1}$ мм, отверстие $D = 35^{+0,035}$ мм. Размер между осями базовых поверхностей $L_0 = 150$ мм выполнен с допуском $T_{L_0} = 0,2$ мм, размер между установочными элементами — с допуском $T_{L_{\Pi}} = 0,04$ мм. Угол призмы $\alpha = 90^\circ$. Требуется определить ширину ленточки срезанного пальца, обеспечивающую свободную установку заготовки.

Задача 4.43. Для обработки шпоночного паза заготовку устанавливают отверстием и торцом на длинный цилиндрический палец с буртом и вторым отверстием на срезанный палец (см. рис. 4.28, *a*). Базовые отверстия выполнены в размер $D_1 = D_2 = 20^{+0,052}$ мм, установочные пальцы — $d_1 = d_2 = 20_{+0,030}^{+0,020}$ мм. Точность размеров между осями базовых поверхностей заготовки $T_{L_0} = 0,1$ мм, между осями установочных пальцев $T_{L_{\Pi}} = 0,04$ мм. Определить ширину ленточки срезанного пальца, обеспечивающую свободную установку заготовки.

Задача 4.44. Определить ширину ленточки цилиндрической поверхности срезанного пальца, обеспечивающую свободную установку заготовки для схемы базирования (см. рис. 4.28, *b*).

Наружная цилиндрическая поверхность выполнена в размер $d = 80_{-0,19}$ мм. Отверстие $D_2 = 40^{+0,062}$ мм, срезанный палец $d_2 = 40_{-0,064}^{-0,025}$ мм. Размер между осями базовых поверхностей заготовки выполнен с точностью $T_{L_0} = 0,1$ мм, между осями призмы и срезанного пальца $T_{L_{\Pi}} = 0,04$ мм. Угол призмы $\alpha = 90^\circ$.

Задача 4.45. Определить необходимую ширину ленточки срезанного пальца при установке заготовки в приспособление при схеме базирования (см. рис. 4.23, *а*). Наружная цилиндрическая поверхность обработана в размер $d = 80_{-0,030}$ мм, отверстие — в размер $D = 20^{+0,021}$ мм, срезанный палец $d_1 = 20_{-0,041}^{-0,020}$ мм. Размер между осями базовых поверхностей выполнен с допуском $T_{L_0} = 0,15$ мм, а допуск расположения пальцев $T_{L_{\Pi}} = 0,04$ мм. Угол призмы $\alpha = 90^\circ$.

Задача 4.46. Для обработки поверхностей 1 и 2 цилиндрическую заготовку устанавливают наружной поверхностью $d = 100_{-0,022}$ мм в центрирующую втулку и торцовой плоскостью на пластину. При этом угловое положение заготовки относительно ее оси определяется установкой отверстием $D = 30^{+0,021}$ мм на срезанный палец (см. рис. 4.23, *б*). Требуется определить ширину ленточки срезанного пальца $\varnothing 30_{-0,033}^{-0,020}$ мм, если известно, что размер между осями базовых поверхностей заготовки выполнен с допуском $T_{L_0} = 0,1$ мм, а размер между осями центрирующей втулки и срезанного пальца — с допуском $T_{L_{\Pi}} = 0,05$ мм. Диаметр центрирующей втулки $D_1 = 100_{+0,012}^{+0,027}$ мм.

Задача 4.47. Определить исполнительный размер диаметра отверстия кондукторной втулки под сверло точного исполнения (ГОСТ 885—77) с номинальным диаметром 8 мм.

Решение. По табл. 37 [24] исполнительный размер диаметра сверла $8_{-0,022}$ мм, а наибольший предельный размер 8 мм.

Исполнительный размер диаметра отверстия кондукторной втулки получим, применяя поле допуска *G7* к наибольшему предельному размеру сверла: $\varnothing 8G7 = \varnothing 8_{+0,005}^{+0,020} = 8,005^{+0,015}$ мм. (Для зенкера и разверток отклонения рекомендуемого поля допуска также отсчитываются от наибольшего предельного размера инструмента.)

Задача 4.48. Определить исполнительный размер диаметра кондукторной втулки под зенкер № 1 (ГОСТ 1677—75) с номинальным диаметром 16 мм.

Задача 4.49. Определить исполнительный размер диаметра отверстия кондукторной втулки под развертку для обработки отверстия диаметром $12H9$ мм.

Задача 4.50. Определить исполнительный размер диаметра отверстия кондукторной втулки под чистовую развертку для обработки отверстия $\varnothing 18G7$ мм.

Глава 5. РАЗРАБОТКА МАРШРУТНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Вначале определяют маршруты обработки элементарных поверхностей детали (плоских, цилиндрических, наружных, внутренних, резьбовых и т.д.).

5.1. Разработка технологических процессов обработки элементарных поверхностей

Предварительный выбор методов обработки элементарных поверхностей и числа необходимых переходов (операций) производят на основе данных справочных таблиц экономической точности обработки [22] или на основе обобщенных таблиц примерных маршрутов (см. прил. 3) исходя из требований, предъявляемых к конечной точности и качеству поверхностей, вида исходной заготовки, свойств материала и типа производства.

Для каждого типа поверхностей определяют представителя, т.е. поверхность, для которой заданы наиболее жесткие требования по точности и качеству, и устанавливают один или несколько методов окончательной ее обработки, т.е. последний технологический переход (или операцию). Зная вид и точность исходной заготовки, таким же образом выбирают первый, начальный метод обработки.

Определив первый и окончательный переходы, устанавливают необходимость промежуточных переходов, число которых тем больше, чем ниже точность исходной заготовки и выше конечные требования к поверхности. Число вариантов обработки поверхности может быть довольно большим (см. прил. 3), и их сокращение

возможно с учетом некоторых нюансов, к которым относятся, например, целесообразность обработки данной поверхности на одном станке за несколько последовательных переходов и ее обработки совместно с другими поверхностями заготовки за один установ, ограничение возможности применения некоторых методов из-за недостаточной жесткости детали и т.п.

Определение числа и последовательности технологических переходов при обработке элементарных поверхностей является основой для расчета общих и промежуточных припусков и операционных размеров на обработку, выявления необходимых стадий обработки, формирования маршрута обработки детали в целом и разработки отдельных операций.

Задача 5.1. Разработать маршрут обработки отверстия $\varnothing 100H7$ мм ($Ra = 1,25$ мкм) в корпусной детали из серого чугуна для условий мелкосерийного производства. Заготовка — отливка 11-го класса точности по ГОСТ 26645—85.

Решение. В прил. 3 для обработки отверстий с заданными параметрами точности и шероховатости в заготовках из чугуна рекомендуются шесть примерных маршрутов. Наиболее рациональный из них для заданных условий выбираем исходя из следующих соображений.

1. Наиболее приемлемым из рекомендованных для получения заданных параметров является тонкое растачивание, так как применение разверток нехарактерно для мелкосерийного производства.

2. Сверление отверстия не требуется, так как оно отлито в исходной заготовке, поэтому в качестве первого черного перехода целесообразно выбрать предварительное растачивание.

3. После предварительного растачивания нельзя выполнять тонкое растачивание, так как для устранения всех погрешностей предшествующей обработки резец работал бы с недопустимо большой глубиной резания; в связи с этим тонкому растачиванию должно предшествовать чистовое растачивание.

4. Выполнение всех переходов на одном станке позволяет обеспечить принцип концентрации операции и последовательную обработку отверстия с одного станка.

Таким образом, для заданных условий маршрут обработки отверстия включает три перехода:

- предварительное растачивание по 14-му качеству точности;
- чистовое растачивание по 10-му качеству точности;
- тонкое растачивание по 7-му качеству точности.

Задача 5.2. Разработать технологические маршруты обработки поверхностей при условиях, представленных в табл. 5.1.

Варианты заданий к задаче 5.2

Ва- риант	Номер чертежа (прил. 1)	Произ- водство	Обрабатываемая поверхность	Заготовка	
				Тип	Квалитет
1	ТМ1	Массовое	Ступень $\varnothing 48h7$	Штамповка	14
2	ТМ2	Крупно- серийное	Шлицевое отвер- стие $\varnothing 50^{+0,03}$	Штамповка	16
3	ТМ3	Серийное	Отверстие $\varnothing 20H8$	Штамповка	16
4	ТМ4	Массовое	Шейка $\varnothing 60f7$	Штамповка	14
5	ТМ5	Серийное	Отверстие $\varnothing 190^{+0,045}$	Штамповка	16
6	ТМ6	Мелкосе- рийное	Отверстие $\varnothing 24H7$	Литье	16
7	ТМ7	Крупно- серийное	Ступень $\varnothing 10K6$	Штамповка	15
8	ТМ8	Мелкосе- рийное	Отверстие $\varnothing 30H7$	Прокат	16
9	ТМ9	Серийное	Отверстие $\varnothing 110H7$	Литье	16
10	ТМ10	Массовое	Шейка $\varnothing 70H8$	Штамповка	14

5.2. Расчет припусков

Припуск — слой материала, удаляемый с поверхности заготовки в целях достижения заданных свойств обрабатываемой поверхности детали. Припуск на обработку поверхностей детали может быть назначен по справочным таблицам или на основе расчетно-аналитического метода. Расчетной величиной припуска является минимальный припуск на обработку, достаточный для устранения на выполняемом переходе погрешностей обработки и дефектов поверхностного слоя, полученных на предшествующем переходе, и для компенсации погрешностей, возникающих на выполняемом переходе.

Минимальный припуск:

а) при обработке наружных и внутренних поверхностей (двусторонний припуск)

$$2Z_{i \min} = 2 \left[(Rz + h)_{i-1} + \sqrt{\Delta_{\Sigma i-1}^2 + \varepsilon_i^2} \right]; \quad (5.1)$$

б) при обработке поверхностей вращения в центрах

$$2Z_{i \min} = 2(Rz_{i-1} + h_{i-1} + \Delta_{\Sigma i-1}); \quad (5.2)$$

в) при последовательной обработке противоположащих поверхностей (односторонний припуск)

$$Z_{i \min} = (Rz + h)_{i-1} + \Delta_{\Sigma i-1} + \varepsilon_i; \quad (5.3)$$

г) при параллельной обработке противоположащих поверхностей (двусторонний припуск)

$$2Z_{i \min} = 2[(Rz + h)_{i-1} + \Delta_{\Sigma i-1} + \varepsilon_i]; \quad (5.4)$$

где Rz_{i-1} — высота неровностей профиля по десяти точкам на предшествующем переходе;

h_{i-1} — глубина дефектного поверхностного слоя на предшествующем переходе (обезуглероженный или отбеленный слой);

$\Delta_{\Sigma i-1}$ — суммарное отклонение расположения поверхности (отклонение от параллельности, перпендикулярности, соосности) на предшествующем переходе;

ε_i — погрешность установки заготовки на выполняемом переходе.

Отклонение расположения Δ_{Σ} необходимо учитывать у заготовок (под первый технологический переход), после черновой и полустойковой обработки лезвийным инструментом (под последующий технологический переход) и после термической обработки. В связи с закономерным уменьшением величины Δ_{Σ} при обработке поверхности за несколько переходов на стадиях чистовой и отделочной обработки ею пренебрегают.

На основе расчета промежуточных припусков определяют предельные размеры заготовки по всем технологическим переходам. Промежуточные расчетные размеры устанавливают в порядке, обратном ходу технологического процесса обработки этой поверхности, т.е. от размера готовой детали к размеру заготовки, путем последовательного прибавления (для наружных поверхностей) к исходному размеру готовой детали промежуточных припусков или путем последовательного вычитания (для внутренних поверхностей) от исходного размера готовой детали промежуточных припусков. Наименьшие (наибольшие) предельные размеры по всем технологическим переходам определяют, округляя их увеличением (уменьшением) расчетных размеров до того знака десятичной дроби, с каким дан допуск на размер для каждого перехода. Наибольшие (наименьшие) предельные размеры вы-

числяют путем прибавления (вычитания) допуска к округленному наименьшему (наибольшему) предельному размеру.

Предельные значения припусков Z_{\max} определяют как разность наибольших (наименьших) предельных размеров и Z_{\min} как разность наименьших (наибольших) предельных размеров предшествующего и выполняемого (выполняемого и предшествующего) переходов.

Общие припуски $Z_{o \max}$ и $Z_{o \min}$ находят как сумму промежуточных припусков на обработку:

$$Z_{o \max} = \sum Z_{i \max}, \quad (5.5)$$

$$Z_{o \min} = \sum Z_{i \min}. \quad (5.6)$$

Правильность расчетов определяют по уравнениям:

$$Z_{i \max} - Z_{i \min} = T_{i-1} - T_i; \quad (5.7)$$

$$2Z_{i \max} - 2Z_{i \min} = T_{D_{i-1}} - T_{D_i}; \quad (5.8)$$

$$Z_{o \max} - Z_{o \min} = T_{\text{заг}} - T_{\text{дет}}; \quad (5.9)$$

$$2Z_{o \max} - 2Z_{o \min} = T_{D_{\text{заг}}} - T_{D_{\text{дет}}}, \quad (5.10)$$

где $T_{i-1}, T_{D_{i-1}}$ — допуски размеров на предшествующем переходе;
 T_i, T_{D_i} — допуски размеров на выполняемом переходе;
 $T_{\text{заг}}, T_{D_{\text{заг}}}$ — допуски на заготовку;
 $T_{\text{дет}}, T_{D_{\text{дет}}}$ — допуски на деталь.

Задача 5.3. Трехступенчатый вал изготавливается из стали 45 методом штамповки класса точности 5T по ГОСТ 7505—89 (рис. 5.1). Масса заготовки 2 кг. Токарной операции предшествовала операция фрезерно-центровальная, в результате которой были обработаны торцы и выполнены центровые отверстия.

Базирование заготовки при фрезерно-центровальной операции осуществляется по поверхностям D_1 и D_3 ($D_1 = D_3 = 25$ мм). Шейка с наибольшим диаметром D_2 ступени имеет размер $\varnothing 55h6(-0,02)$ мм. Рассчитать промежуточные припуски для обработки шейки D_2 аналитическим методом. Рассчитать промежуточные размеры для выполнения каждого перехода.

Решение. Соответственно заданным условиям устанавливаем маршрут обработки ступени D_2 (см. [22] или прил. 3):

- а) черновое обтачивание;
- б) чистовое обтачивание;
- в) предварительное шлифование;
- г) окончательное шлифование.

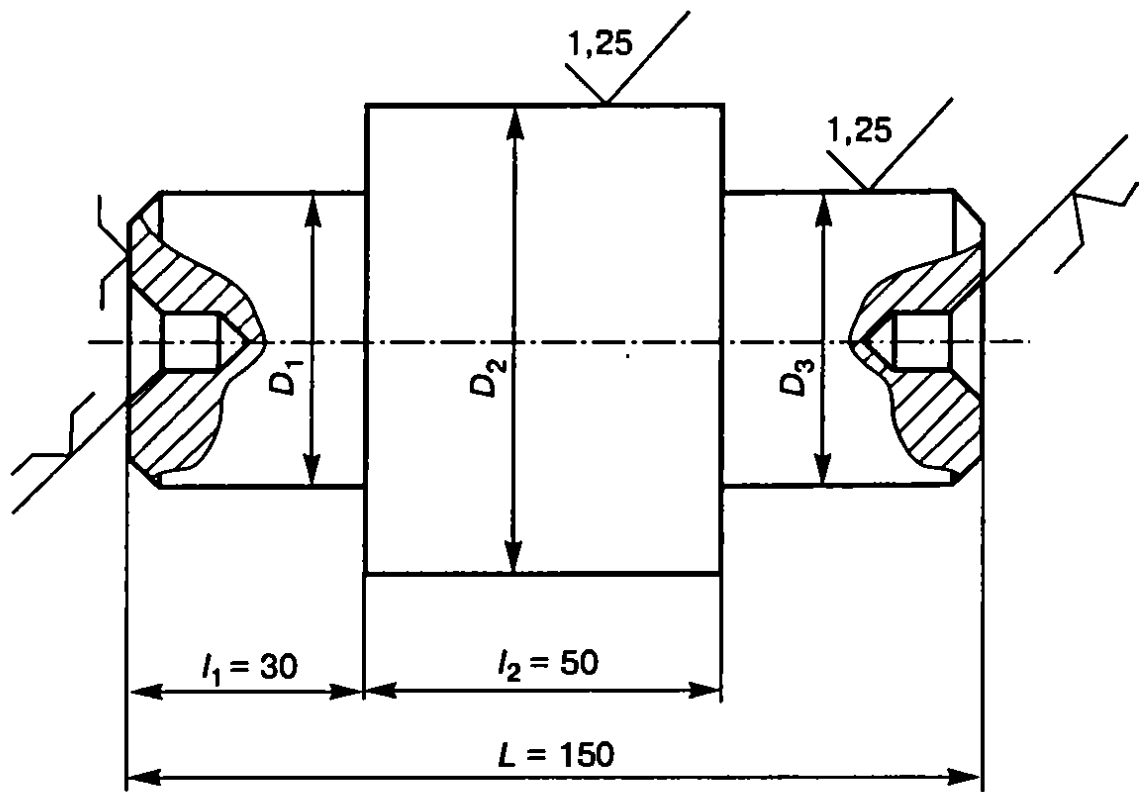


Рис. 5.1. Эскиз вала (к задаче 5.3)

Вся указанная обработка выполняется с установкой в центрах.

Заносим маршрут обработки в графу 1 табл. 5.2. Данные для заполнения граф 2, 3 для штампованной заготовки взяты из [22] или по прил. 22, 26, 27; для механической обработки — из [22] или по прил. 19—27. Данные графы 8 для заготовки и механической обработки взяты из [23] или по прил. 2.

Расчет отклонений расположения поверхностей штампованной заготовки при обработке в центрах производят по формуле (см. [22] или прил. 4—13):

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{\Delta_{\Sigma k}^2 + \Delta_y^2} = \sqrt{24^2 + 500^2} \approx 500 \text{ мкм},$$

где $\Delta_{\Sigma k}$ — общее отклонение оси от прямолинейности;

Δ_y — смещение оси в результате погрешности центрования.

Общее отклонение оси от прямолинейности

$$\Delta_{\Sigma k} = 2\Delta_k l_k = 2 \cdot 0,15 \cdot 80 = 24 \text{ мкм}.$$

Здесь l_k — размер от сечения, для которого определяется кривизна, до ближайшего наружного торца — равен для рассматриваемого случая $l_k = l_1 + l_2 = 80$ мм; Δ_k — удельная кривизна в микрометрах на 1 мм длины (в маршруте предусмотрена правка заготовки на прессе, после которой $\Delta_k = 0,15$ мкм/мм (см. [22] или прил. 4—13)); средний диаметр, который необходимо знать для выбора величины Δ_k , определяется как

$$D_{\text{ср}} = \frac{D_1 l_1 + D_2 l_2 + \dots + D_n l_n}{L} = \frac{25 \cdot 30 + 55 \cdot 50 + 25 \cdot 70}{150} = 35 \text{ мм}.$$

Таблица 5.2

Результаты расчета припусков на обработку и предельных размеров по технологическим переходам (к задаче 5.3)

Маршрут обработки	Элементы припуска, мкм				Расчетный		Допуск на промежуточные размеры, мкм	Принятые (округленные) размеры заготовок по переходам, мм		Предельный припуск, мкм	
	Rz	h	Δ_{Σ}	ϵ_i	припуск 2Z, мкм	минимальный размер, мм		наибольший	наименьший	2Z _{max}	2Z _{min}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Штамповка	160	200	500	—	—	57,122	2000	59,0	57,0	—	—
Точение:											
черновое	50	50	30	0	1720	55,402	400	55,80	55,40	3,2	1,6
чистовое	25	25	1,2	0	260	55,142	120	55,27	55,15	0,53	0,25
Шлифование:											
предварительное	10	20	0	0	102	55,040	60	55,10	55,04	0,17	0,11
окончательное	—	—	—	—	60	54,980	20	55,00	54,98	0,10	0,06

Смещение оси заготовки в результате погрешности центрования

$$\Delta_y = 0,25\sqrt{T^2 + 1} = 0,25\sqrt{1,8^2 + 1} = 0,5 \text{ мм},$$

где $T = 1,8$ мм — допуск на диаметральный размер базы заготовки, использованной при центровании [8].

Величину остаточных пространственных отклонений черного обтачивания определяют по уравнению

$$\Delta_r = K_y \Delta_\Sigma = 0,06 \cdot 500 = 30 \text{ мкм},$$

где K_y — коэффициент уточнения, равный 0,06 (см. [22] или прил. 14).

Величину остаточных пространственных отклонений чистового обтачивания рассчитывают по уравнению

$$\Delta_r = K_y \Delta_\Sigma = 0,04 \cdot 30 = 1,2 \text{ мкм}.$$

Здесь коэффициент уточнения K_y принимается равным 0,04 (см. [22] или прил. 14).

Расчетные величины отклонений расположения поверхностей заносим в графу 4 табл. 5.2.

Минимальные припуски на диаметральные размеры для каждого перехода рассчитываются по уравнению (5.2):

- | | |
|-------------------------------|---|
| а) черновое обтачивание | $2Z_{i \min} = 2(160 + 200 + 500) =$
$= 1720 \text{ мкм};$ |
| б) чистовое обтачивание | $2Z_{i \min} = 2(50 + 50 + 30) = 260 \text{ мкм};$ |
| в) предварительное шлифование | $2Z_{i \min} = 2(25 + 25 + 1,2) = 102 \text{ мкм};$ |
| г) чистовое шлифование | $2Z_{i \min} = 2(10 + 20) = 60 \text{ мкм}.$ |

Расчетные значения припусков заносим в графу 6 табл. 5.2.

Расчет наименьших размеров по технологическим переходам начинаем с наименьшего (наибольшего) размера детали по конструкторскому чертежу и производим по зависимости $d_{i+1} = d_i + Z_{i \min}$ в такой последовательности:

- | | |
|-------------------------------|---------------------------------------|
| а) предварительное шлифование | $54,980 + 0,060 = 55,040 \text{ мм};$ |
| б) чистовое обтачивание | $55,040 + 0,102 = 55,142 \text{ мм};$ |
| в) черновое обтачивание | $55,142 + 0,260 = 55,402 \text{ мм};$ |
| г) заготовка | $55,402 + 1,720 = 57,122 \text{ мм}.$ |

Наименьшие расчетные размеры заносим в графу 7 табл. 5.2, наименьшие предельные размеры (округленные) — в графу 10 табл. 5.2.

Наибольшие предельные размеры по переходам рассчитываем по зависимости $d_{i \max} = d_{i \min} + T_{d_i}$ в такой последовательности:

- | | |
|-------------------------------|--------------------------------------|
| а) окончательное шлифование | $54,980 + 0,020 = 55 \text{ мм};$ |
| б) предварительное шлифование | $55,040 + 0,60 = 55,100 \text{ мм};$ |
| в) чистовое обтачивание | $55,15 + 0,120 = 55,270 \text{ мм};$ |
| г) черновое обтачивание | $55,40 + 0,400 = 55,800 \text{ мм};$ |
| д) заготовка | $57,0 + 2,0 = 59 \text{ мм}.$ |

Результаты расчетов заносим в графу 9 табл. 5.2.

Фактические минимальные и максимальные припуски по переходам рассчитываем в такой последовательности.

Максимальные припуски:
 $55,100 - 55,0 = 0,100$ мм;
 $55,270 - 55,100 = 0,170$ мм;
 $55,80 - 55,270 = 0,530$ мм;
 $59,0 - 55,80 = 3,2$ мм.

Минимальные припуски:
 $55,040 - 54,980 = 0,06$ мм;
 $55,150 - 55,040 = 0,11$ мм;
 $55,40 - 55,15 = 0,25$ мм;
 $57,00 - 55,40 = 1,6$ мм.

Результаты расчетов заносим в графы 11 и 12 табл. 5.2.

Определяем общие припуски: общий наибольший припуск

$$Z_{o \max} = \sum Z_{\max} = 0,1 + 0,17 + 0,53 + 3,2 = 4 \text{ мм};$$

общий наименьший припуск

$$Z_{o \min} = \sum Z_{\min} = 0,6 + 0,11 + 0,25 + 1,6 = 2,02 \text{ мм}.$$

Правильность расчетов проверяем по уравнению (5.9):

$$Z_{o \max} - Z_{o \min} = 4 - 2,02 = T_{\text{заг}} - T_{\text{дет}} = 2,0 - 0,02 = 1,98 \text{ мм}.$$

Задача 5.4. Четырехступенчатый вал изготавливается из штампованной заготовки класса точности 5T по ГОСТ 7505—89, выполняемой на молотах. Условия выполнения операции и маршрут обработки элементарных поверхностей для вариантов 1—12 такой же, как в задаче 5.3 (табл. 5.2, графа 1). Для вариантов 13—24 маршрут обработки поверхности тот же, что и для вариантов 1—12, но перед предварительным шлифованием предусматривается термообработка заготовки в печах. Рассчитать припуски и промежуточные размеры по переходам. Данные к задаче приведены в табл. 5.3.

Таблица 5.3

Данные к задачам 5.4 и 5.5

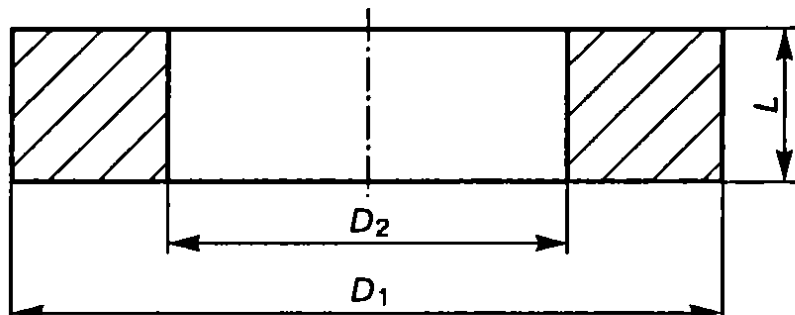
Ва- риант	Диаметры шеек заготовки, мм			L, мм	Длина ступеней заготовки, мм			Масса заго- товки G, кг
	D ₁ , D ₄	D ₂	D ₃		l ₁	l ₂	l ₃	
1; 13	30	50	40n6	220	45	55	85	2,0
2; 14	45	65	55g6	260	55	65	95	4,7
3; 15	20	40	30h6	180	40	50	60	1,0
4; 16	50	75	60f7	350	70	120	80	8,2
5; 17	25	45	35k6	200	40	50	70	1,5
6; 18	60	80	70m6	300	80	120	50	9,1
7; 19	40	60	50d8	280	50	70	90	4,1
8; 20	70	90	80u7	350	75	125	90	13,8
9; 21	35	55	45j6	240	50	60	90	2,9
10; 22	55	75	65s6	300	65	85	85	7,5
11; 23	50	60	50f7	260	40	65	60	3,8
12; 24	20	35	30h6	200	50	60	60	1,6

Задача 5.5. Четырехступенчатый вал изготавливается из стальной штампованной заготовки класса точности 5Т по ГОСТ 7505—89, выполняемой на молотах (см. табл. 5.3). Шейка диаметром D_3 имеет параметр шероховатости $Ra = 2,5$ мкм. Маршрут обработки такой же, как в задаче 5.3. Определить припуски на заготовку по таблицам ГОСТ 7505—89 и расчетно-аналитическим методом. Рассчитать экономию материала за счет применения расчетно-аналитического метода определения припусков при годовой программе выпуска 20 тыс. штук.

Задача 5.6. Диск с центральным отверстием (табл. 5.4) изготавливают из углеродистой стали. Заготовка-поковка класса точности Т4 по ГОСТ 7505—89 производится на горизонтально-ковочной машине (ГКМ). Поверхности отверстия могут обрабатываться за два или один установ.

Таблица 5.4

Данные к задаче 5.6



Вариант	Размеры диска, мм			Шероховатость поверхности D_2 Ra , мкм	Масса заготовки G , кг
	D_1	D_2	L		
1	180	80H8	32	2,5	5,1
2	150	60H8	20	1,25	2,1
3	220	100H8	25	2,5	5,8
4	100	40H7	15	1,25	0,77
5	350	150H8	25	2,5	6,1
6	190	100H8	20	2,5	3,1
7	280	200H7	25	1,25	5,7
8	220	200H8	30	2,5	1,5
9	260	180H7	35	1,25	7,4
10	190	140H8	25	2,5	2,4
11	290	170H7	20	1,25	6,6
12	220	140H8	40	2,5	3,7

При обработке за два установка последовательность следующая:

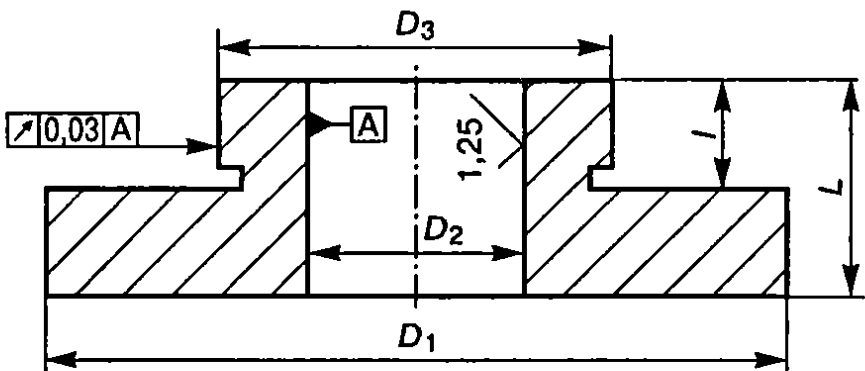
- 1) черновое растачивание отверстия с базированием по наружной необработанной поверхности D_1 в патроне;
- 2) черновое обтачивание наружной поверхности D_1 с базированием по обработанному отверстию D_2 на оправку;
- 3) окончательная обработка отверстия с базированием по поверхности D_1 .

Во втором случае окончательная обработка отверстия производится с базированием по необработанной наружной поверхности D_1 в патроне. Требуется рассчитать припуск на поверхность D_2 и определить, какой из вариантов обработки наиболее эффективен (с точки зрения экономии металла). Данные к задаче приведены в табл. 5.4.

Задача 5.7. Чугунную втулку изготавливают центробежным литьем на машинах с вертикальной осью вращения. Отливка 10-го класса точности размеров по ГОСТ 26645—85. Черновую и получистовую обработку поверхности D_2 производят на токарном станке с установкой в трехкулачковом патроне. Чистовая обработка осуществляется шлифованием. Как изменится величина припуска при шлифовании при наличии или отсутствии перед этой операцией закалки ТВЧ и насколько? Данные к задаче приведены в табл. 5.5.

Таблица 5.5

Данные к задаче 5.7



Вариант	Размеры втулок, мм				
	D_1	D_2	D_3	L	l
1	115	40H7	70	30	15
2	110	30H8	60	60	40
3	200	70H7	90	110	60
4	120	80H8	100	40	20
5	120	50H7	80	70	40

Вариант	Размеры втулок, мм				
	D_1	D_2	D_3	L	I
6	160	60H8	120	40	20
7	200	90H7	140	60	40
8	180	100H8	130	80	55
9	190	110H7	140	50	35
10	180	95H8	120	45	25
11	120	50H7	80	70	40
12	150	80H8	110	60	35

5.3. Составление технологических маршрутов обработки типовых деталей

При проектировании маршрута обработки заготовки проводятся следующие виды работ.

1. Анализ чертежа детали и качественная оценка ее технологичности.

2. Выбор исходной заготовки (см. гл. 3).

3. Выбор технологических баз и схем установки заготовок. При этом руководствуются основными принципами базирования.

4. Определение методов и маршрутов обработки отдельных поверхностей (см. параграф 5.1) и комплексов поверхностей с одинаковыми требованиями по точности и качеству, которые целесообразно обрабатывать с одного станова.

5. Выбор оборудования. С учетом заданного типа производства, габаритных размеров заготовки и выбранных методов обработки определяют соответствующие типы и модели станков [23]. Для единичного производства обычно используют универсальные станки, для серийного — универсальные станки с ЧПУ и полуавтоматы, для массового — полуавтоматы и автоматы.

6. Разработка маршрута обработки заготовки в целом, включая необходимые термические, контрольные, слесарные, моечные и другие вспомогательные операции. При разработке рациональной последовательности операций учитывают необходимость получения на первых операциях технологических баз, разделения операций на черновые, чистовые и отделочные, завершения технологического процесса обработкой наиболее ответственных поверхностей детали. Разработанный вариант маршрута должен быть представ-

лен в виде маршрутной карты, оформленной в соответствии с ГОСТ 1118—82 (форма 1 и 1а).

Методика проектирования маршрутных технологических процессов подробно изложена в учебной и справочной литературе [19, 22].

Задача 5.8. Разработать для варианта 1 (табл. 5.6) маршрут обработки ступенчатого вала-шестерни.

Таблица 5.6

Исходные данные к задачам 5.8 и 5.9

Вариант	Наименование детали	Номер чертежа (см. прил. 1)	Тип производства
1	Вал-шестерня	ТМ1	Крупносерийное
2			Мелкосерийное
3	Фланец кулака	ТМ2	Массовое
4			Серийное
5	Серьга	ТМ3	Мелкосерийное
6			Крупносерийное
7	Крестовина	ТМ4	Массовое
8			Серийное
9	Шестерня	ТМ5	Массовое
10			Серийное
11	Корпус	ТМ6	Мелкосерийное
12			Массовое
13	Шестерня коническая	ТМ7	Массовое
14			Серийное
15	Фланец	ТМ8	Мелкосерийное
16			Крупносерийное
17	Корпус	ТМ9	Серийное
18			Массовое
19	Крышка	ТМ10	Мелкосерийное
20			Крупносерийное

Решение. Анализ чертежа показывает, что наиболее высокие требования по точности и качеству предъявляются к опорным шейкам, прилегающим к ним торцам и зубчатой поверхности вала-шестерни. Конструкция детали в основном отработана на технологичность, обладает высокой жесткостью, обеспечивает свободный доступ инструмента к обрабатываемым поверхностям, что позволяет использовать при обработке многоинструментальные наладки и высокопроизводительные режимы резания. Опорные шейки вала-шестерни обрабатывают на шлифовальных

станках (с наклоном шлифовального круга), обеспечивающих высокую точность расположения торцов к поверхностям опорных шеек и снижение трудоемкости операций за счет одновременной обработки этих поверхностей. Заданные чертежом точность размеров поверхностей, их относительного расположения и параметры качества поверхностных слоев могут быть достаточно экономично обеспечены традиционными методами обработки.

Вместе с тем предусмотренная чертежом форма шпоночного паза нетехнологична, так как требует обработки малопродуктивным методом — многопроходным фрезерованием концевой фрезой. Очевидно, что без ущерба для прочности вала форму этого паза целесообразно было бы заменить либо на сегментную, либо на полуоткрытую и применить более производительные дисковые фрезы. Недостаточно технологичной делают конструкцию также различные радиусы переходных поверхностей от опорных шеек к торцам ($R2^{+1}$ и $R1,6_{\max}$).

Учитывая конфигурацию, размеры детали и крупносерийный характер производства, в качестве исходной заготовки берем штампованную заготовку класса точности Т4 по ГОСТ 7505—89. Технологические базы выбираем исходя из основных принципов базирования. При обработке валов, как правило, в качестве баз используют ось вала и один из торцов. На первой операции эти базы обрабатываются при установке исходной заготовки в самоцентрирующиеся призмы (двойная направляющая база) с упором в торце $\varnothing 60$ мм (опорная база). Общая ось двух центровых отверстий, сделанных на этой операции, является постоянной базой для выполнения большинства последующих операций обработки заготовки. Опорные базы в направлении линейных размеров выбираем с учетом характера их простановки на чертеже и возможности совмещения технологических и измерительных баз. Так, на операции фрезерования шпоночного паза в качестве опорной базы целесообразно использовать торец $\varnothing 48$ мм.

Объем обработки каждой из поверхностей определим по [23] исходя из предъявляемых к ней требований по точности и качеству. Так, общий план обработки наружных поверхностей вращения заготовки может быть принят следующим: черновое обтачивание всех поверхностей, чистовое обтачивание и однократное шлифование после термообработки шеек $\varnothing 48h7$ мм и $\varnothing 40f7$ мм и прилегающих к ним торцов.

Для предохранения поверхности под резьбу М36 от цементации и последующей закалки до $HRC\ 60...64$ возможны два пути:

1. Провести омеднение защищаемой поверхности слоем меди $0,02...0,04$ мм. В этом случае цементация и закалка производятся одновременно и обычно выполняются после чистовой обработки.

2. Оставить на поверхности увеличенный защитный припуск, превышающий глубину цементации, который удалить после цементации перед закалкой.

Для условий крупносерийного производства первый путь более предпочтителен, так как исключает повторное возвращение заготовки в механический цех для удаления промежуточного припуска и повторный нагрев заготовки для закалки. Требования к зубчатым поверхностям детали (7-я степень точности и шероховатость $Ra = 1,25$ мкм) могут быть выпол-

нены зубофрезерованием и шевингованием; однако, учитывая потерю точности и ухудшение шероховатости после термической обработки, целесообразно введение операции зубохонингования.

Тип производства и конфигурация детали определяют выбор оборудования, которое должно обеспечить высокопроизводительную обработку и автоматическое обеспечение заданной точности путем настройки. В наибольшей степени при заданных условиях этим требованиям удовлетворяют фрезерно-центровальные, гидрокопировальные, шпоночно-фрезерные, зубофрезерные, зубошевинговальные и торцекруглошлифовальные полуавтоматы.

В качестве контрольных в технологический процесс включены операции предварительного контроля перед термической обработкой и окончательного контроля в конце технологического процесса. После операции зубофрезерования, связанной с использованием маслянистых смазывающе-охлаждающих жидкостей, предусмотрена моечная операция.

Разработанный маршрут обработки вала-шестерни представлен в табл. 6.2.

Задача 5.9. Разработать маршрутный технологический процесс обработки по вариантам 2–20 (см. табл. 5.6).

5.4. Размерно-точностный анализ технологических процессов

Цели размерно-точностного анализа:

- выявление схемы взаимосвязей между размерами заготовки, готовой детали, технологическими операционными размерами и допусками на обработку;
- выявление и расчет технологических размерных цепей;
- оценка точности принятого варианта технологического процесса изготовления детали.

Порядок размерного анализа процесса механической обработки:

1. Для детали (рис. 5.2) вычерчивают совмещенный эскиз исходной заготовки и готовой детали (рис. 5.3), на котором отражают также промежуточные состояния заготовки. Все поверхности заготовки и детали нумеруют по порядку, слева направо, и через них проводят вертикальные линии. Между этими линиями указывают размеры исходной заготовки B , готовой детали A , допуски Z_n (индекс n указывает на номер поверхностей, к которым они относятся), а также технологические размеры S , получаемые в результате выполнения каждого технологического перехода. Размеры S указывают в виде направленных стрелок, при этом точка ставится на линии, соответствующей поверхности, которая используется в качестве технологической или настроечной базы.

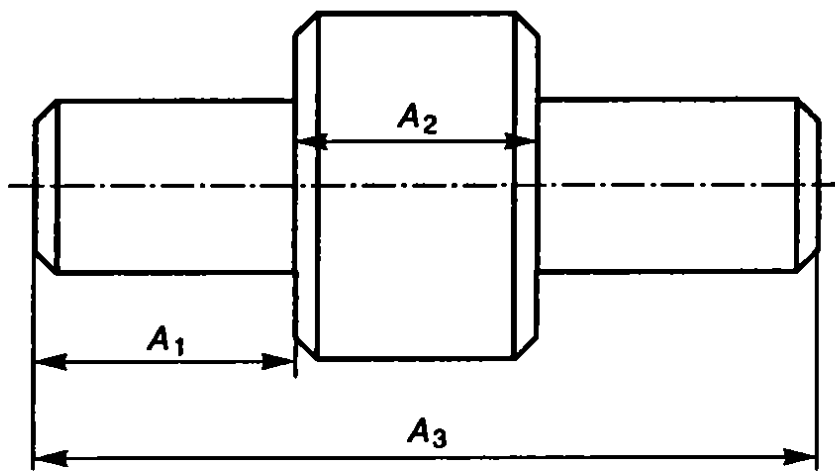


Рис. 5.2. Эскиз детали

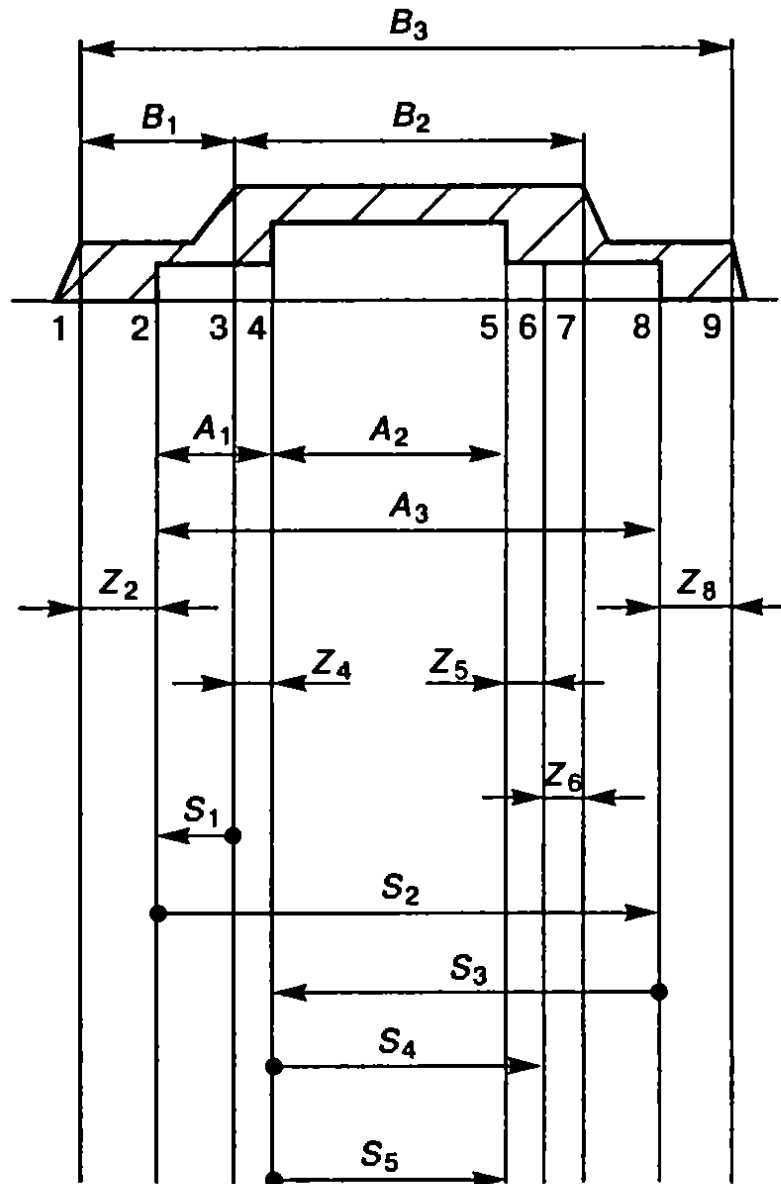


Рис. 5.3. Размерная схема технологического процесса изготовления ступенчатого валика

На рис. 5.3 представлена размерная схема технологического процесса изготовления ступенчатого валика из штампованной заготовки за три операции. На первой операции («фрезерно-центро-

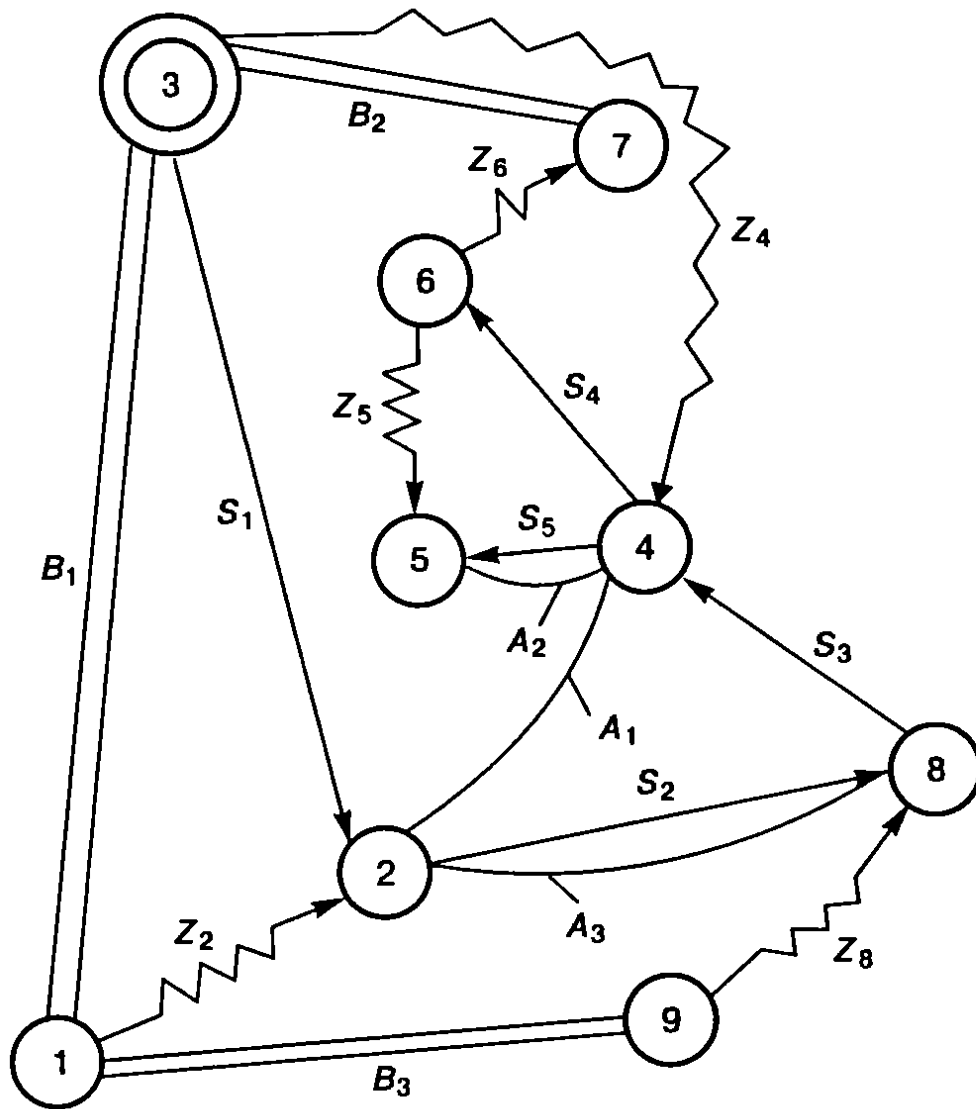


Рис. 5.4. Совмещенный граф размерных связей технологического процесса изготовления ступенчатого валика, изображенного на рис. 5.2

вальная») выполняются размеры S_1 и S_2 , на второй операции («токарная 1») — размер S_3 . На третьей операции («токарная 2») выдерживаются размеры S_4 и S_5 .

2. Выявление размерных цепей начинают с последней операции, т.е. двигаясь по размерной схеме снизу вверх. Для упрощения процесса выявления размерных цепей рекомендуется построить граф размерных связей (рис. 5.4). Вначале строят граф технологических размеров, где кружочками с цифрами внутри обозначаются обрабатываемые поверхности (в виде двойного кружочка обозначается поверхность заготовки, от которой начинается обработка).

Данный граф дополняют графом размеров заготовки (размеры заготовки изображают при этом двойными линиями) и получают совмещенный граф, на котором в виде дуг изображают размеры готовой детали и в виде ломаных линий — припуски на обработку (стрелка на таких линиях указывает, к какой поверхности отно-

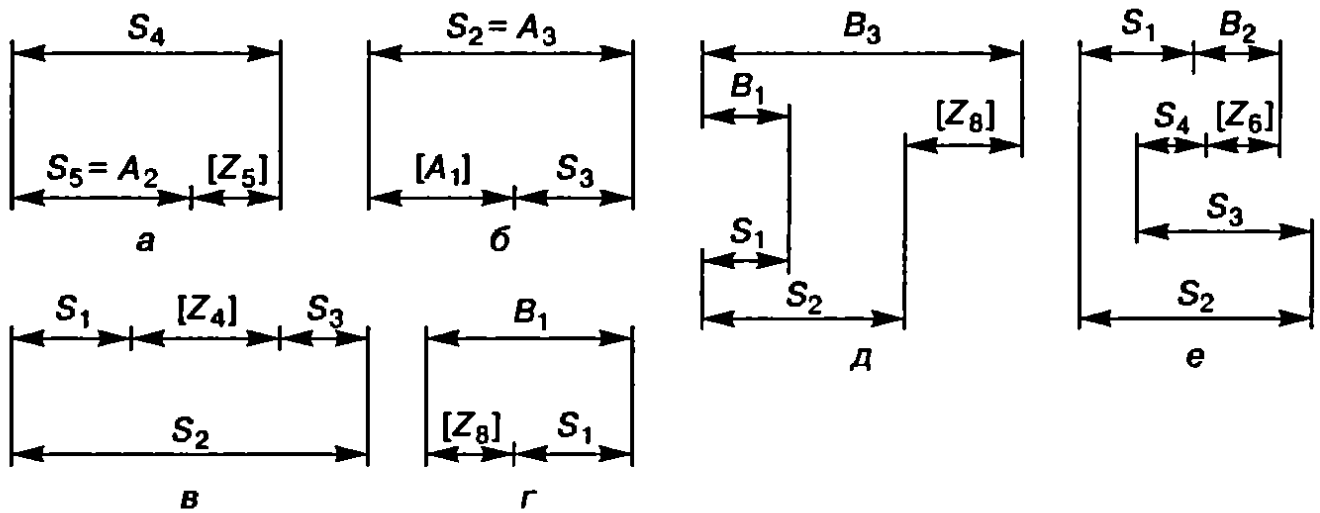


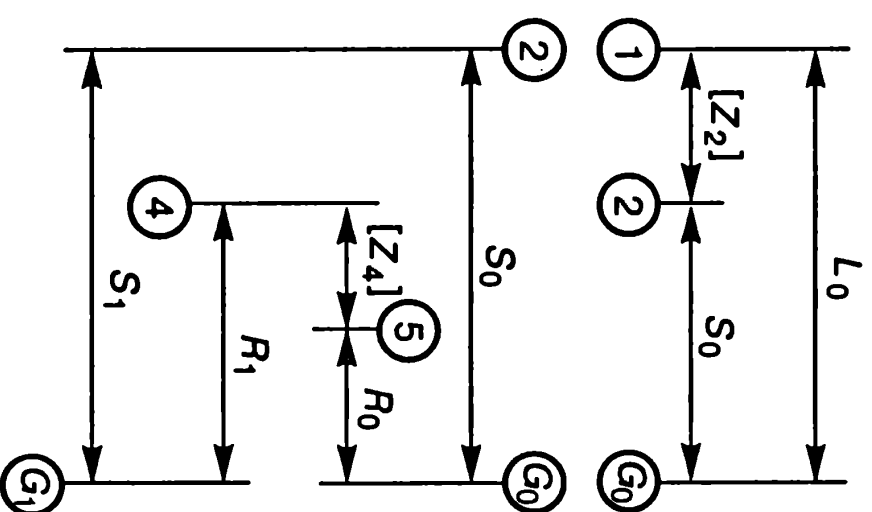
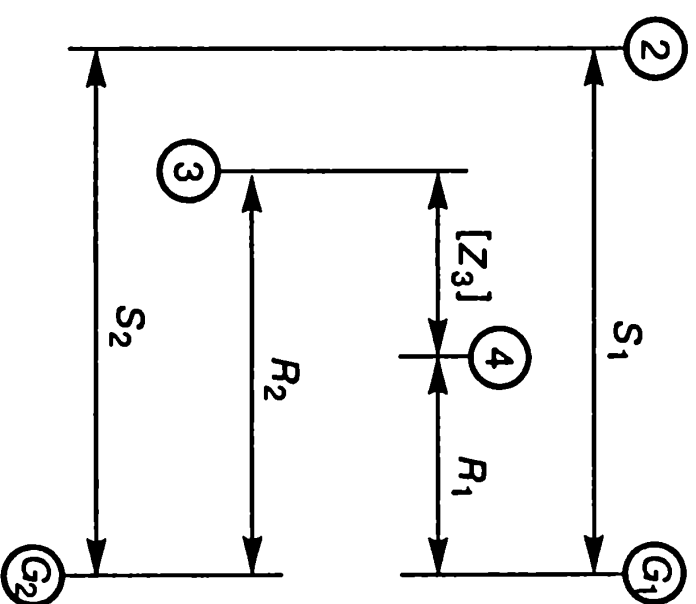
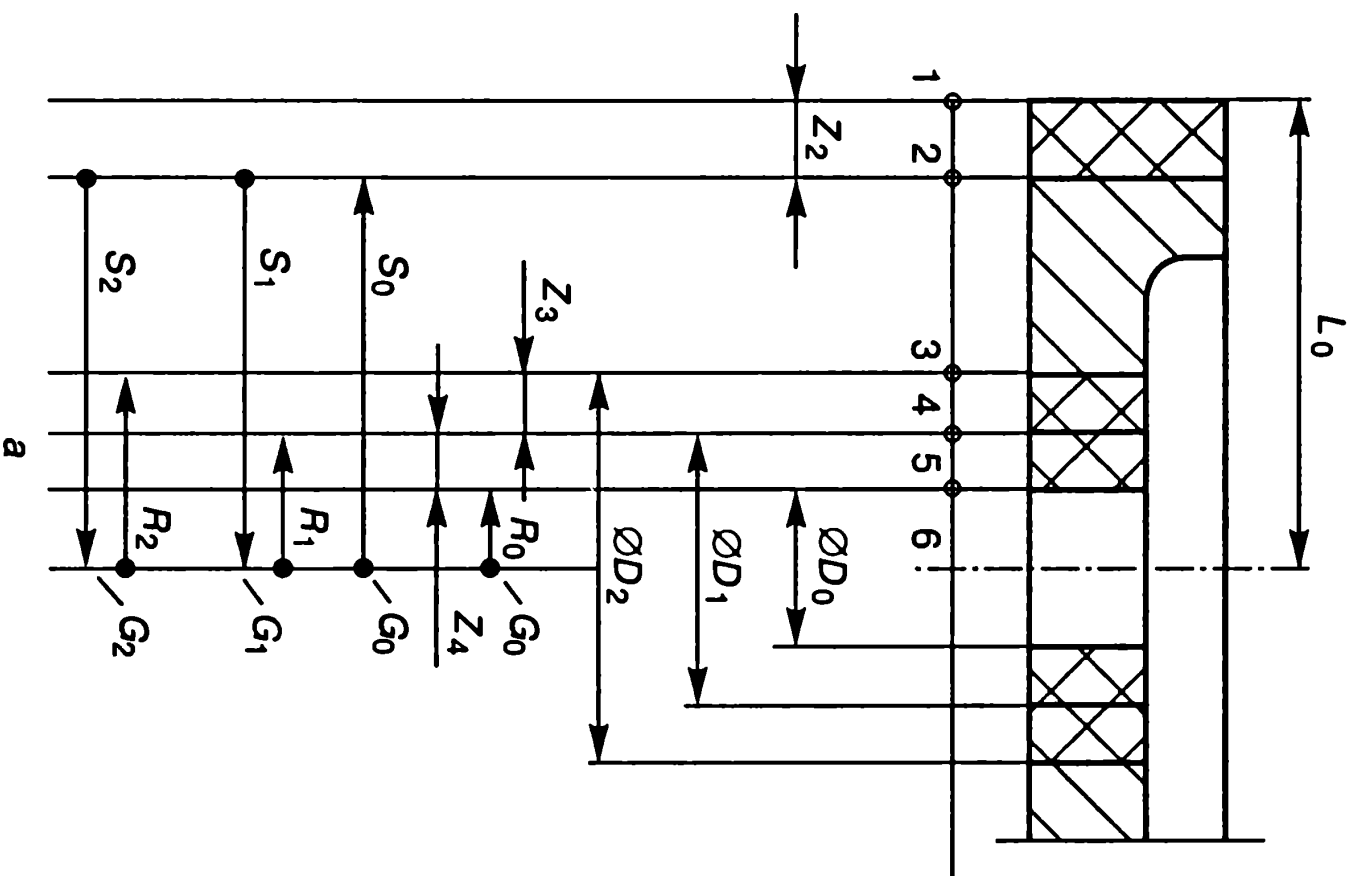
Рис. 5.5. Размерные цепи, выявленные с помощью графа размерных связей: а-в — для определения технологических размеров S_4 , S_3 и S_1 соответственно; г-е — для определения размеров заготовки B_1 , B_3 и B_2 соответственно

сится припуск). Важно строить совмещенный граф так, чтобы его ребра (линии) не пересекались.

Любой замкнутый контур совмещенного графа образует размерную цепь. Замыкающим звеном (которое обычно заключают в квадратные скобки) у такой цепи является либо размер детали, либо припуск на обработку (рис. 5.5). Размерные цепи рекомендуется строить таким образом, чтобы припуски не входили в них в качестве составляющих звеньев. Любая технологическая размерная цепь имеет одно замыкающее звено и два (или более) составляющих звена.

Особенности размерного анализа технологических процессов механической обработки заготовок для корпусных деталей: при построении размерной схемы таких процессов следует учитывать, что размеры, определяющие положение основных отверстий корпусной детали, обрабатываемых на нескольких операциях, имеют одинаковые номинальные значения, но выполняются с различной точностью. В этой связи на размерной схеме линия, определяющая положение оси основного отверстия, выполняется прерывистой. На рис. 5.6 изображена размерная схема обработки заготовки корпусной детали, выполняемой за три операции. На первой операции («фрезерная») выполняется размер S_0 , на второй («расточная 1») — размер S_1 , на третьей («расточная 2») — размер S_2 .

В результате решения размерных цепей выясняется, может ли принятый вариант технологического процесса изготовления детали обеспечить ее точность в соответствии с чертежом. При этом важно, чтобы точность выполнения технологических размеров S не превышала среднеэкономическую точность принятых методов обработки. В противном случае следует пересмотреть рассматриваемый вариант технологического процесса изготовления детали.



6

Рис. 5.6. Размерная схема (а) и технологические размерные цепи (б) процесса механической обработки заготовки корпусной детали ($R = D/2$)

Задача 5.10. Составить граф размерных связей по схеме, приведенной на рис. 5.6.

Задача 5.11. Для вала, изготавливаемого из стали 45, в соответствии с исходными данными (табл. 5.7) разработать маршрутный технологический процесс механической обработки и назначить припуски на обработку табличным способом с использованием прил. 28—40. Назначить и определить линейные размеры заготовки (получаемой горячей штамповкой на прессах в закрытых штампах) исходя из размерного анализа принятого процесса обработки.

Таблица 5.7

Исходные данные к задаче 5.11

Вариант	Размеры, мм			Шероховатость, мкм		
	A_1	A_2	A_3	$Rz_1 (Ra_1)$	$Rz_2 (Ra_2)$	$Rz_3 (Ra_3)$
1	$30_{-0,13}$	$60_{\pm 0,15}$	$100_{-0,87}$	30	15	15
2	$40_{-0,16}$	$70_{-0,3}$	$130_{-0,54}$	15	15	15
3	$40_{\pm 0,8}$	$80_{\pm 0,15}$	$140_{-0,54}$	15	15	(1,6)
4	$60_{-0,12}$	$90_{-0,35}$	$150_{-0,63}$	15	(1,6)	(1,6)
5	$60_{\pm 0,06}$	$100_{-0,35}$	$160_{-1,0}$	(1,6)	(1,6)	(1,6)

Задача 5.12. Для вала (рис. 5.7) разработать маршрутный технологический процесс механической обработки и назначить припуски на обработку табличным способом с использованием прил. 28—40. Провести размерный анализ принятого процесса обработки, выявить с помощью графа размерные цепи.

Задача 5.13. Для втулки, изготавливаемой из стали 35, в соответствии с исходными данными (табл. 5.8) разработать маршрутный

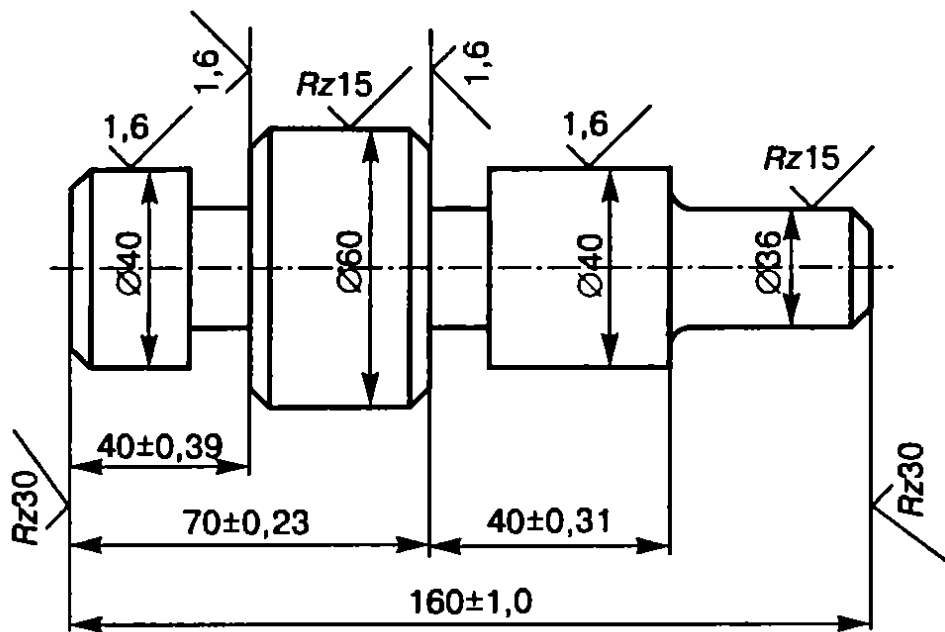


Рис. 5.7. Эскиз вала (к задаче 5.12)

Таблица 5.8

Исходные данные к задаче 5.13

Вариант	Размеры, мм			Шероховатость, мкм			
	A_1	A_2	A_3	Rz_1	Rz_2 (Ra_2)	Rz_3 (Ra_3)	Rz_4 (Ra_4)
1	$20_{-0,21}$	$40^{+0,25}$	$50_{-0,62}$	15	15	15	15
2	$20_{-0,21}$	$50 \pm 0,08$	$60_{-0,74}$	15	15	(1,6)	15
2	$40_{-0,16}$	$60^{+0,3}$	$80_{-0,46}$	15	(1,6)	(1,6)	15
4	$40_{-0,16}$	$80 \pm 0,15$	$100_{-0,54}$	15	(1,6)	(0,8)	(1,6)
5	$60_{-0,12}$	$100^{+0,22}$	$120_{-0,54}$	15	(0,8)	(0,8)	(1,6)

технологический процесс обработки при условии, что заготовкой втулки является штамповка, получаемая на горизонтально-ковочных машинах. Назначить припуски на обработку, провести размерный анализ процесса обработки. С помощью графов выявить размерные цепи.

Задача 5.14. Для корпуса, изготавливаемого из чугуна СЧ 20 (рис. 5.8), разработать маршрутный технологический процесс обработки заготовки. Провести размерный анализ, построить графы размерных связей и выявить с их помощью размерные цепи.

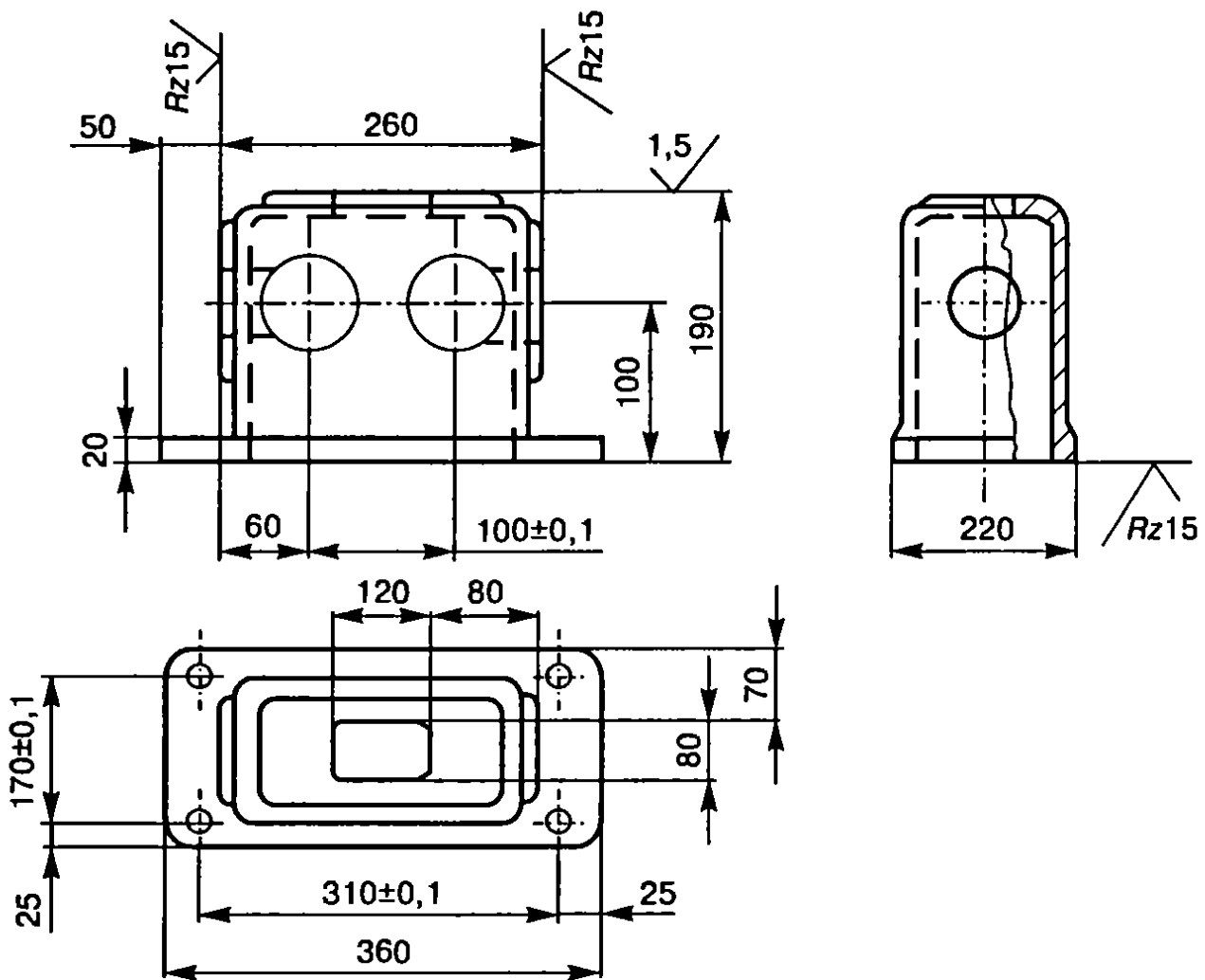


Рис. 5.8. Эскиз корпусной детали (к задаче 5.14)

5.5. Расчет технологических размерных цепей

Технологические размерные цепи рассчитывают чаще всего *методом полной взаимозаменяемости*. Замыкающим звеном в технологической размерной цепи является то, которое получается последним как результат выполнения всех остальных.

Особенности расчета размерных цепей, у которых замыкающим звеном является припуск на обработку:

1. Табличным способом или расчетом находят минимальную величину припуска Z_{\min} .

2. Определяют значение наименьшего предельного размера увеличивающего звена $S_{g \min}$ или наибольшего предельного размера уменьшающего звена $S_{l \max}$:

$$Z_{\min} = \sum_1^{n_g} S_{g \min} - \sum_1^{n_l} S_{l \max}, \quad (5.11)$$

где n_g, n_l — соответственно число увеличивающих и уменьшающих звеньев.

3. Для данного звена устанавливают допуск, назначают предельные отклонения (верхнее Es_S и нижнее Ei_S) и определяют его номинальный размер:

$$S_g = S_{g \min} - Ei_S \quad (5.12)$$

или

$$S_l = S_{l \max} - Es_S. \quad (5.13)$$

4. Рассчитывают номинальный размер припуска Z и его наибольшее значение Z_{\max} :

$$Z = \sum_1^{n_g} S_g - \sum_1^{n_l} S_l; \quad (5.14)$$

$$Z_{\max} = \sum_1^{n_g} S_{g \max} - \sum_1^{n_l} S_{l \min}. \quad (5.15)$$

5. Находят верхнее Es_Z и нижнее Ei_Z предельные отклонения припуска:

$$Es_Z = Z_{\max} - Z; \quad (5.16)$$

$$Ei_Z = Z_{\min} - Z. \quad (5.17)$$

6. Проверяют правильность расчетов по уравнениям

$$Es_Z = \sum_1^{n_g} Es_{S_g} - \sum_1^{n_l} Ei_{S_l}; \quad (5.18)$$

$$Ei_Z = \sum_1^{n_g} Ei_{S_g} - \sum_1^{n_l} Es_{S_l}. \quad (5.19)$$

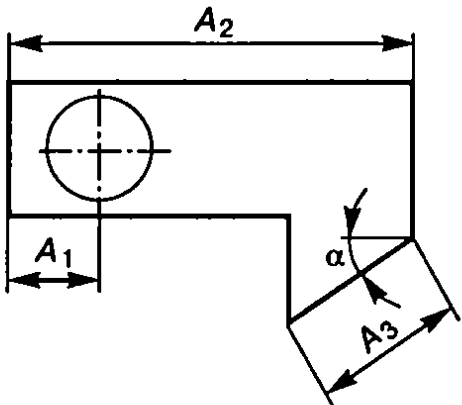
Ниже рассмотрим следующие задачи по построению, расчету и анализу технологических размерных цепей:

- определение параметров (номинального размера, допуска, верхнего и нижнего отклонений) замыкающего звена (*обратная задача*, см. задачу 5.15);
- нахождение параметров одного из составляющих звеньев (*прямая задача*, см. задачи 5.16—5.21).

Задача 5.15. Определить методом полной взаимозаменяемости, с какими отклонениями будет выполнен размер A_Δ от уступа до оси отверстия (табл. 5.9).

Таблица 5.9

Исходные данные к задаче 5.15



The diagram shows a stepped shaft with a hole. Dimension A_1 is the distance from the hole's axis to the start of the first step. Dimension A_2 is the total length of the shaft. Dimension A_3 is the length of the second step, which is inclined at an angle α to the horizontal.

Вариант	Размеры, мм			α , град.
	A_1	A_2	A_3	
1	$12 \pm 0,09$	$82_{-0,12}$	$42 \pm 0,08$	50
2	$10 \pm 0,11$	$62_{-0,19}$	$32 \pm 0,05$	40
3	$8_{-0,09}$	$52 \pm 0,15$	$32_{-0,1}$	30
4	$6 \pm 0,11$	$42_{-0,1}$	$20_{-0,13}$	20
5	$6_{-0,22}$	$42 \pm 0,05$	$20^{+0,13}$	20
6	$6_{-0,22}$	$42 \pm 0,05$	$20^{+0,13}$	0

Задача 5.16. Определить, с какими отклонениями при обработке заготовки должен быть выполнен размер A (рис. 5.9).

Задача 5.17. Установить допуск и подобрать отклонения на операционный размер 120 мм (см. рис. 5.9) в соответствии с ГОСТ 25347—82, если размер 30 мм задан с отклонениями $\pm 0,065$.

Решение. Составим схему размерной цепи (рис. 5.10). В данном случае

$$T_{A_\Delta} \neq T_{A_1} + T_{A_2};$$

$$0,13 \neq T_{A_1} + 0,14.$$

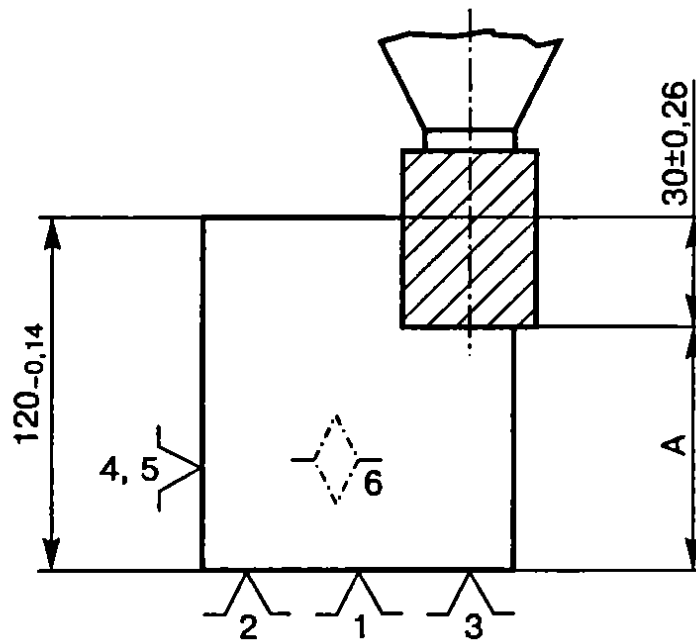


Рис. 5.9. Схема механической обработки заготовки (к задачам 5.16 и 5.17)

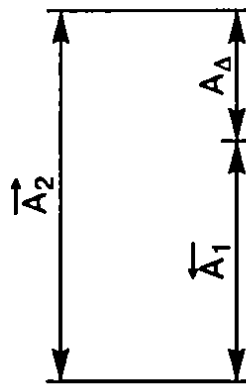


Рис. 5.10. Схема размерной цепи (к задаче 5.17):
 A_1 — уменьшающий размер; A_2 — увеличивающий размер

Необходимо по заданному допуску и отклонениям замыкающего звена A_Δ определить допуски, верхние и нижние отклонения составляющих звеньев A_1 и A_2 .

Допуски на составляющие размеры (особенно при небольшом числе звеньев в размерной цепи) обычно назначают методом подбора, используя значения, приведенные в ГОСТ 25346—89 и ГОСТ 25347—82. Средняя точность по качеству составляющих звеньев может быть определена по уравнению

$$a_c = \frac{130}{i_{A_1} + i_{A_2}} = \frac{130}{2,17 + 2,17} = 29,95.$$

Значения единиц допуска i_{A_i} для размеров $A_1 = 90$ мм и $A_2 = 120$ мм, а также среднюю точность по качеству находим по табл. 1.1 и 1.2. Принимаем ближайшее меньшее табличное значение $a_c = 25$, которому соответствует точность 8-го качества (см. прил. 2). В таком случае

$$T_{A_1} = T_{A_2} = 0,054 \text{ мм},$$

$$T_{A_\Delta} = T_{A_1} + T_{A_2} = 0,054 + 0,054 = 0,108 \text{ мм} < 0,13 \text{ мм},$$

т.е. заданная точность замыкающего звена обеспечивается с некоторым запасом;

$$k = \frac{T_{A_{\Delta}^{\text{зад}}}}{T_{A_{\Delta}^{\text{факт}}}} = \frac{0,13}{0,108},$$

где $T_{A_{\Delta}^{\text{зад}}}$, $T_{A_{\Delta}^{\text{факт}}}$ — соответственно заданное и фактически обеспечиваемое значения допуска замыкающего звена.

При назначении допусков на составляющие звенья следует стремиться к тому, чтобы $k = 1$.

Вполне приемлем вариант, когда допуск на составляющие звенья выполняются с точностью по разным квалитетам, учитывая трудность выполнения того или иного размера при обработке. В данном случае можно принять $T_{A_1} = 0,087$ мм (точность по 9-му квалитету) и $T_{A_2} = 0,035$ мм (точность по 7-му квалитету).

Тогда

$$T_{A_{\Delta}^{\text{факт}}} = T_{A_1} + T_{A_2} = 0,087 + 0,036 = 0,122 \text{ мм};$$

$$k = 0,13/0,122 = 1,07.$$

Поскольку на операционный размер предстоит подобрать отклонения в соответствии с ГОСТ 25346—89 и ГОСТ 25347—82, допуск на него определим из уравнения

$$0,13 = T_{A_1} + 0,035; \quad T_{A_1} = 0,095 \text{ мм}.$$

Очевидно, что $A_2 = 120_{-0,035}$ мм и координата середины поля допуска на этот размер $Es_{A_2} = -0,0175$. Определим координату середины поля допуска на размер A_1 :

$$Es_{A_{\Delta}} = -Es_{A_1} + Es_{A_2},$$

$$0 = -Es_{A_1} + (-0,0175), \quad Es_{A_1} = -0,0175.$$

Тогда верхнее и нижнее отклонения на размер A_1

$$Es_{A_1} = -0,0175 + \frac{1}{2}0,095 = 0,03 \text{ мм};$$

$$Ei_{A_1} = -0,0175 - \frac{1}{2}0,095 = -0,065 \text{ мм}.$$

Наиболее подходящими отклонениями (по ГОСТ 25346—89 и ГОСТ 25347—82) на размер $A_1 = 90$ мм будут $Es_{A_1} = 0$ и $Ei_{A_1} = -0,054$ мм (8-й квалитет). В таком случае фактическое значение координаты середины поля допуска замыкающего звена

$$Es_{A_{\Delta}^{\text{факт}}} = -Es_{A_1} + Es_{A_2} = -(-0,027) + (-0,0175) = 0,0095 \text{ мм}.$$

Верхние и нижние отклонения на размер $A_{\Delta} = 30$ мм

$$Es_{A_{\Delta}\text{факт}} = 0,0095 + \frac{1}{2}(0,054 + 0,035) = 0,054 \text{ мм};$$

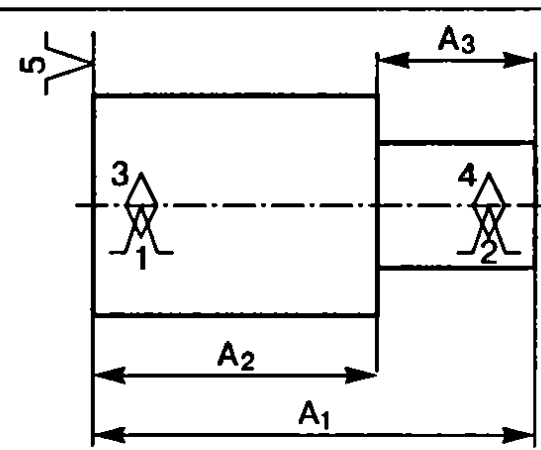
$$Ei_{A_{\Delta}\text{факт}} = 0,0095 - \frac{1}{2}(0,054 + 0,035) = -0,035 \text{ мм},$$

т.е. находятся внутри заданного поля допуска на размер $A_{\Delta} = 30$ мм.

Задача 5.18. Установить методом полной взаимозаменяемости допуск и подобрать отклонения на операционный размер A_2 (табл. 5.10) в соответствии с ГОСТ 25347—82.

Таблица 5.10

Исходные данные к задаче 5.18



Вариант	Размеры, мм	
	A_1	A_3
1	$150_{-0,16}$	$52_{-0,3}$
2	$150_{-0,16}$	$52 \pm 0,15$
3	$150_{-0,16}$	$52^{+0,3}$
4	$150 \pm 0,08$	$52_{-0,3}$
5	$150 \pm 0,08$	$52 \pm 0,15$
6	$150 \pm 0,08$	$52^{+0,3}$
7	$150^{+0,16}$	$52_{-0,3}$
8	$150^{+0,16}$	$52 \pm 0,15$
9	$150^{+0,16}$	$52^{+0,3}$

Задача 5.19. Установить методом полной взаимозаменяемости и подобрать отклонения на операционный размер A_2 (табл. 5.11) в соответствии с ГОСТ 25347—82.

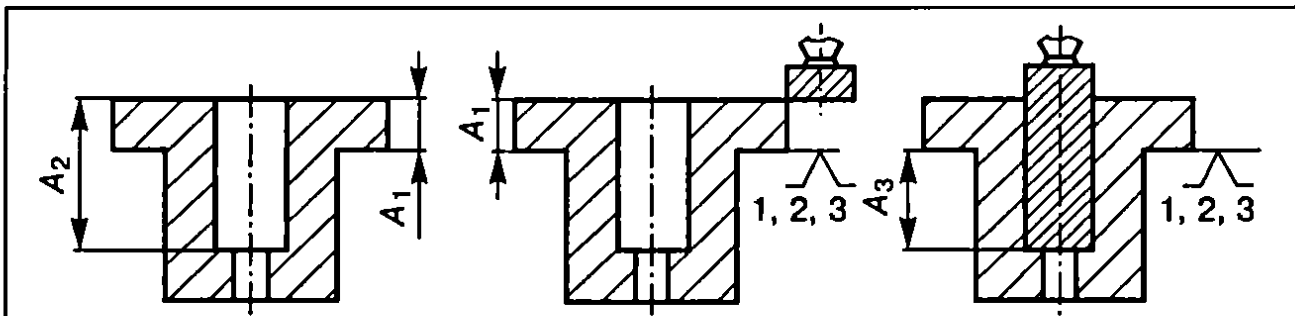
Исходные данные к задаче 5.19 (эскиз см. в табл. 5.10)

Вариант	Размеры, мм	
	A_1	A_3
1	$150_{-0,16}$	$52_{-0,12}$
2	$150_{-0,16}$	$52 \pm 0,06$
3	$150_{-0,16}$	$52^{+0,12}$
4	$150 \pm 0,08$	$52_{-0,12}$
5	$150 \pm 0,08$	$52 \pm 0,06$
6	$150 \pm 0,08$	$52^{+0,12}$
7	$150^{+0,16}$	$52_{-0,12}$
8	$150^{+0,16}$	$52 \pm 0,06$
9	$150^{+0,16}$	$52^{+0,12}$

Задача 5.20. Определить методом полной взаимозаменяемости допуск, верхнее и нижнее отклонения на операционный размер A_3 (табл. 5.12).

Таблица 5.12

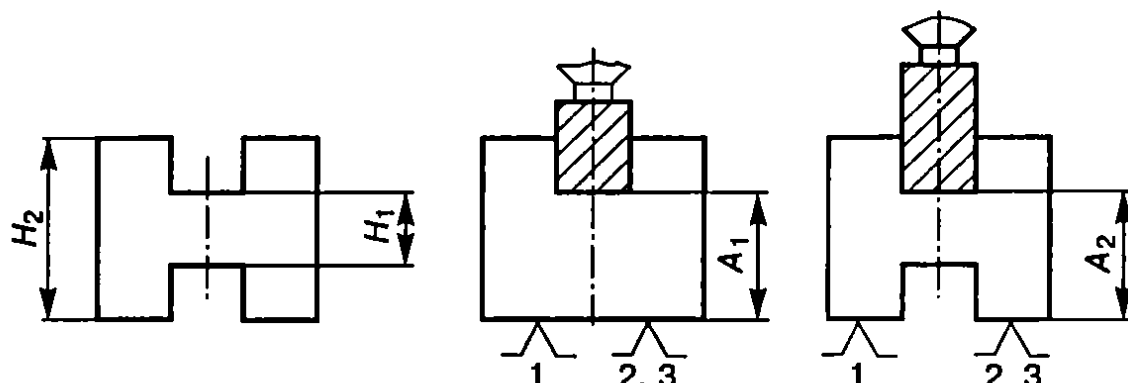
Исходные данные к задаче 5.20



Вариант	Размеры, мм	
	A_1	A_2
1	$22_{-0,11}$	$54^{+0,19}$
2	$22_{-0,11}$	$54 \pm 0,095$
3	$22_{-0,11}$	$54_{-0,19}$
4	$22 \pm 0,055$	$54^{+0,19}$
5	$22 \pm 0,055$	$54_{-0,19}$

Задача 5.21. Определить методами полной и неполной взаимозаменяемости допуски, верхние и нижние отклонения на операционные размеры A_1 и A_2 (табл. 5.13).

Исходные данные к задаче 5.21



Вариант	Размеры, мм	
	H_1	H_2
1	$20^{+0,13}$	$80_{-0,19}$
2	$20^{+0,13}$	$80 \pm 0,085$
3	$20^{+0,13}$	$80^{+0,19}$
4	$20 \pm 0,065$	$80_{-0,19}$
5	$20 \pm 0,065$	$80^{+0,19}$

Задача 5.22. Выявленные по результатам размерного анализа (см. задачу 5.12) размерные цепи решить методом полной взаимозаменяемости.

Глава 6. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ

6.1. Выбор последовательности переходов в операции и средств их технологического оснащения

Производительность технологических операций в значительной степени зависит от их структуры, которая определяется следующими параметрами:

- числом заготовок, одновременно устанавливаемых в приспособлении или на станке (одно- или многоместная обработка);
- числом инструментов, используемых при выполнении операции (одно- или многоинструментная обработка);
- последовательностью работы инструментов при выполнении операции (последовательность переходов).

Последовательное вступление инструментов в работу или последовательное расположение нескольких заготовок в приспособлении по направлению движения подачи характеризует структуру операции с *последовательной обработкой*. При параллельном расположении обрабатываемых заготовок в приспособлении (т.е. при их расположении перпендикулярно к направлению движения подачи) и при одновременной обработке нескольких поверхностей одной или нескольких заготовок формируется структура операции с *параллельной обработкой*. При многоместной обработке заготовок, расположенных в приспособлении в несколько рядов вдоль и поперек движения подачи, операция характеризуется как операция с *параллельно-последовательной обработкой*.

Экономическая эффективность технологических процессов обработки деталей в значительной степени зависит от того, насколько рационально построен общий план (маршрут) обработки. Под *технологическим маршрутом изготовления детали* понимается последовательность выполнения технологических операций (или уточнение последовательности по типовому или групповому процессу) с определением содержания операций, выбором оборудования и технологической оснастки для их выполнения. Технологические маршруты весьма разнообразны и зависят от многих

факторов: конфигурации детали, ее размеров, точности, наличия термической обработки, программы выпуска и др. Вместе с тем для качественного проектирования маршрута могут быть рекомендованы некоторые общие принципы, характерные для всех классов обрабатываемых деталей:

1. На первых (одной-двух) операциях обрабатывают поверхности, которые будут использоваться в качестве технологических баз на всех или большинстве операций технологического процесса (о принципах выбора черновых и чистовых баз см. параграф 4.2).

2. Используя чистовые базы, обрабатывают остальные поверхности в последовательности, обратной их степени точности, т.е. чем точнее должна быть обработана поверхность, тем позже ее обрабатывают.

3. Используя разработанные ранее маршруты обработки отдельных поверхностей (см. параграф 5.1), выявляют необходимость расчленения процессов изготовления детали на стадии обработки. *Стадия обработки* — это часть технологического процесса, включающая однородную по характеру и точности обработку различных поверхностей и детали в целом. При механической обработке такими стадиями являются черновая, чистовая, тонкая и отделочная (табл. 6.1).

Таблица 6.1

Выбор стадий обработки поверхностей в зависимости от требований по точности и шероховатости

Требуемые качества/Ra (Rz), мкм	Стадии обработки
12/(80)	1
10/(20)	1, 2
7/1,25	1, 2, 3
6/0,63	1, 2, 3, 4

Примечание. В числителе — качество, в знаменателе — шероховатость; цифрами обозначены стадии обработки: 1 — черновая, 2 — чистовая, 3 — тонкая, 4 — отделочная.

Целесообразность разделения технологического процесса на стадии обработки обусловлена необходимостью получения деталей заданной точности и рационального использования оборудования, так как это связано с числом и содержанием операций технологического процесса. На каждой стадии выполняют операции, обеспечивающие примерно одинаковую точность обработки. Таким образом, на первых стадиях совмещают окончательную обработку неточных поверхностей и предварительную обработку

точных поверхностей, а окончательную обработку точных поверхностей (тонкую и отделочную) проводят в конце технологического процесса. Такое разделение процесса по стадиям позволяет выделить *технологические комплексы поверхностей*, которые следует обрабатывать совместно, используя принцип единства баз, т.е. с одной установки. В такие комплексы обычно включают поверхности, связанные допусками на взаимное положение (биение, соосность, координатные размеры). Рационально также создавать технологические комплексы по экономическому принципу, добиваясь сокращения оперативного времени за счет последовательной и параллельной концентрации операций.

4. Вспомогательные поверхности (мелкие отверстия, фаски, галтели, пазы и др.) обычно обрабатывают на чистовой стадии. В самостоятельные операции выделяют обработку зубьев, шлицев, групп отверстий или пазов.

5. Предварительное содержание операций устанавливают объединением тех переходов на данной стадии обработки, которые могут быть выполнены на одном станке. На этом этапе проектирования устанавливают тип, размеры и модели оборудования [23] для выполнения основных операций технологического процесса в зависимости от типа, габаритных размеров детали и заданного масштаба выпуска. При выборе оборудования обычно ориентируются для единичного производства на универсальные станки, для серийного — на универсальные станки, станки с ЧПУ и полуавтоматы, для крупносерийного и массового — на полуавтоматы, автоматы и автоматические линии.

6. Операции механической обработки увязывают с операциями термической и химико-термической обработок. Промежуточная термическая обработка при необходимости применяется после черновой стадии и заключается в нормализации стальных деталей для улучшения их обрабатываемости на чистовых операциях, а также для старения отливок в целях снятия остаточных напряжений в металле заготовки.

Окончательную термическую обработку выполняют в виде объемной или поверхностной закалки. Если окончательная термическая обработка заключается в объемной закалке детали до твердости выше $HRC_{3, 40}$, то эту операцию выполняют после чистовой обработки до шлифования. При необходимости цементации с последующей закалкой отдельных поверхностей детали применяют защитное омеднение тех поверхностей, которые не подлежат цементации, или оставляют на них припуск, который снимают при дополнительной обработке после цементации, но до закалки.

ностного слоя могут быть достаточно экономично обеспечены традиционными методами обработки.

Вместе с тем предусмотренная чертежом форма шпоночного паза не технологична, так как требует обработки малопродуктивным методом — многопроходным фрезерованием концевой фрезой. Очевидно, что без ущерба для прочности вала форму этого паза целесообразно было бы заменить либо на сегментную, либо на полуоткрытую и применить более производительные дисковые фрезы. Недостаточно технологичной делают конструкцию также различные радиусы переходных поверхностей от опорных шеек к торцам 4 и 10 ($R2^{+1}$ и $R1,6\max$).

Учитывая конфигурацию, размеры вала и крупносерийный характер производства, в качестве исходной принимаем штампованную заготовку нормальной точности [23]. Технологические базы выбираем исходя из основных принципов базирования [23]. При обработке валов, как правило, в качестве баз используют ось вала и один из торцов. На первой операции эти базы реализуются при установке исходной заготовки в самоцентрирующиеся призмы (двойная направляющая база) с упором в торце 10 (опорная база). Общая ось двух центровых отверстий, обработанных на этой операции, является постоянной базой для выполнения большинства последующих операций обработки заготовки. Опорные базы в направлении линейных размеров выбираем с учетом характера их простановки на чертеже и возможности совмещения технологических и измерительных баз. Так, на операциях обработки торца 4 в качестве опорной базы целесообразно использовать торец 10, так как от него задаются операционные размеры, а при фрезеровании шпоночного паза 3 — торец 4.

Объем обработки каждой из поверхностей вала-шестерни определим по [22] исходя из предъявляемых к ней требований по точности и качеству. Так, общий план обработки наружных поверхностей вращения заготовки может быть принят следующим: черновое обтачивание всех поверхностей, чистовое обтачивание и однократное шлифование после термообработки шеек 11, 2 и торцов 10, 4. Требования к зубьям детали (7-я степень точности и шероховатость $Ra = 1,25$ мкм) могут быть выполнены зубофрезерованием и шевингованием, однако, учитывая потерю точности и ухудшение шероховатости поверхностей после термической обработки, целесообразно введение операции зубошингования.

Тип производства и конфигурация детали определяют выбор оборудования, которое должно обеспечить высокопроизводительную обработку и автоматическое получение заданной точности путем настройки. В наибольшей степени при заданных условиях этим требованиям удовлетворяют фрезерно-центровальные, гидрокопировальные, шпоночно-фрезерные, зубофрезерные, зубошевинговальные и торцекруглошлифовальные полуавтоматы.

Разработанный маршрут обработки вала-шестерни представлен в табл. 6.2.

Технологический маршрут обработки вала-шестерни (к задаче 6.1)

Номер операции	Наименование и краткое содержание операции	Технологическая база	Оборудование
005	Фрезерно-центровальная: фрезеровать торцы 1 и 13 (см. рис. 6.1), зацентровать с двух сторон	Ось и торец исходной заготовки	Фрезерно-центровальный полуавтомат МР73М
010	Токарно-копировальная: точить поверхности 11, 12, 5, фаски, подрезать торец 10	Ось и торец 1	Токарный копировальный полуавтомат 1Н713
015	Токарно-копировальная: точить поверхность 2, фаски, подрезать торцы 4 и 7, прорезать канавку 8	Ось и торец 10	Токарный копировальный полуавтомат 1Н713
020	Токарно-копировальная: точить под шлифование поверхность 11 и подрезать торец 10	Ось и торец 4	Токарный копировальный полуавтомат 1Н713

Номер операции	Наименование и краткое содержание операции	Технологическая база	Оборудование
025	Токарно-копировальная: точить под шлифование поверхность 2 и подрезать торец 4	Ось и торец 10	Токарный копировальный полуавтомат 1Н713
030	Шпоночно-фрезерная: фрезеровать шпоночный паз 3	Поверхности 2, 11 и торец 4	Шпоночно-фрезерный 6Д91
035	Зубофрезерная: фрезеровать зубья 6	Ось вала	Зубофрезерный полуавтомат 5В312
040	Зубошевинговальная: шевинговать зубья 6	То же	Зубошевинговальный 5702
045	Контрольная	То же	—
050	Термическая: калить и отпустить до HRC_3 40...45	То же	—
055	Зубохонинговальная: хонинговать зубья 6	То же	Зубохонинговальный 5А913
060	Круглошлифовальная: шлифовать одновременно поверхности 10 и 11, выдерживая $R1,6_{\max}$	Ось и торец 4	Торцекруглошлифовальный 3Т161А
065	Круглошлифовальная: шлифовать одновременно поверхности 2 и 4, выдерживая $R2$	Ось и торец 10	Торцекруглошлифовальный 3Т161А
070	Контрольная	—	—

Задача 6.2. Вал-шестерню (прил. 1, черт. ТМ1) изготавливают из закаленной до HRC_3 35...45 стали 30ХГТ. Разработать маршруты обработки заготовки вала-шестерни соответственно для условий единичного, серийного и массового производства.

Задача 6.3. Шестерню (прил. 1, черт. ТМ7) изготавливают из стали 40Х, закаленной до HRC_3 42...48. Разработать маршруты обработки заготовки шестерни соответственно для условий единичного, серийного и массового производства.

Задача 6.4. Фланец кулачка (прил. 1, черт. ТМ2) изготавливают из улучшенной стали 45 или алюминиевого сплава АЛ4. Разрабо-

тать маршруты обработки заготовки фланца кулачка соответственно для условий единичного, серийного и массового производства.

Задача 6.5. Серьгу (прил. 1, черт. ТМ3) изготавливают из стали 45, закаленной до HRC_3 , 37...42. Разработать маршруты обработки заготовки серьги соответственно для условий единичного, серийного и массового производства.

Задача 6.6. Корпус (прил. 1, черт. ТМ6) изготавливают из серого чугуна СЧ 18. Разработать маршруты обработки заготовки корпуса соответственно для условий единичного, серийного и массового производства.

6.2. Расчет режимов обработки

Методика назначения режимов резания для различных методов обработки подробно изложена в справочной литературе [22 и др.]. При этом наиболее выгодными считаются такие режимы обработки, которые обеспечивают наименьшую себестоимость механической обработки при удовлетворении всех требований к качеству продукции и производительности обработки.

В общем случае необходимо соблюдать определенную последовательность назначения режимов резания $t \rightarrow S \rightarrow V \rightarrow n$, которая включает следующие этапы:

1. Выбор глубины резания t (мм) по условию удаления припуска под обработку за один рабочий ход, но в зависимости от требований по точности и шероховатости, предъявляемых к обработанной поверхности; припуск разделяют по стадиям обработки: предварительная, окончательная и отделочная.

Определение глубины резания за один рабочий ход:

а) при обработке поверхностей тел вращения

$$t = 0,5 / (D_i - D_{i-1}); \quad (6.1)$$

б) при односторонней обработке плоских поверхностей

$$t = H_i - H_{i-1}, \quad (6.2)$$

где D_i, H_i — соответственно диаметр и линейный размер после обработки;

D_{i-1}, H_{i-1} — соответственно диаметр и линейный размер до обработки.

2. Выбор подачи на один оборот S_o (мм/об) или подачи на один зуб (для многозубных инструментов) S_z (мм/зуб) с учетом стадии

обработки (предварительная, чистовая или отделочная) и нагрузочно-прочностных характеристик технологической системы.

Подачу при черновой обработке выбирают максимально возможную, учитывая следующие ограничения: прочность механизмов привода и подачи станка; прочность инструмента; прочность заготовки; жесткость и прочность технологической системы. Мощность станка, как правило, не ограничивает подачу: при недостатке мощности в большинстве случаев следует снижать не подачу, а скорость.

При чистовой обработке подачу выбирают в зависимости от требований к точности и шероховатости поверхностей.

3. Определение скорости резания V (м/мин) с учетом выбранных t , S , свойств обрабатываемого и режущего материалов, геометрии и стойкости инструмента по эмпирическим зависимостям, имеющим общий вид

$$V = \frac{C_v}{T^m t^x S^y} k_v, \quad (6.3)$$

где C_v , m , x , y — коэффициенты, учитывающие вид обработки;

T — период стойкости инструмента, мин [23];

k_v — коэффициент, учитывающий конкретные условия обработки [23].

Наиболее выгодные периоды стойкости принимаются по нормативам с учетом сложности изготовления и наладки инструментов.

4. Определение частоты вращения n_p (мин⁻¹) либо числа двойных ходов заготовки или инструмента

$$n_p = \frac{1000V}{\pi D}. \quad (6.4)$$

По паспортным данным станка определяют n , близкую к расчетной n_p . При отсутствии этих данных ряд частот вращения можно определить по зависимости

$$n_{пр} = n_{\min} \varphi^{i-1}, \quad (6.5)$$

где $n_{пр}$ — принимаемая (ближайшая меньшая) частота вращения;

n_{\min} — минимальная частота вращения для данного станка;

φ — знаменатель ряда геометрической прогрессии, условно принимаемый равным 1,26;

i — номер ступени, на которой обеспечивается равенство (6.5).

После назначения частоты вращения шпинделя определяют минутную подачу $S_m = S_o n_{пр}$ (мм/мин).

6.3. Нормирование затрат труда на выполнение операции

Одним из основных требований при проектировании технологических операций является требование минимума затрат труда на ее выполнение. Критерием оценки трудоемкости является норма штучно-калькуляционного ($T_{ш.к}$) или штучного ($T_{шт}$ — для массового производства) времени, мин:

$$T_{ш.к} = T_{шт} + \frac{T_{п.з}}{n_3}, \quad (6.6)$$

$$T_{шт} = T_o + T_b + T_{обс} + T_p, \quad (6.7)$$

где $T_{п.з}$ — подготовительно-заключительное время, мин, на партию запуска заготовок в производство n_3 , шт.;

T_o — основное (технологическое) время;

T_b — вспомогательное время;

$T_{обс}$ — время обслуживания рабочего места;

T_p — время перерывов в работе.

Основное время обработки T_o определяется расчетом после установления режимов резания по уравнению

$$T_o = \frac{L_p i}{S_m}, \quad (6.8)$$

где L_p — расчетная длина рабочего хода инструмента, мм;

i — число рабочих ходов в переходе;

S_m — минутная подача инструмента (или заготовки) в направлении подачи, мм/мин.

Трансформация уравнения (6.8) для различных видов обработки приведена в [11].

Расчетная длина рабочего хода, мм:

$$L_p = L_o + l_{вр} + l_{сх}, \quad (6.9)$$

где L_o — длина обрабатываемой поверхности (в направлении подачи);

$l_{вр}$, $l_{сх}$ — длина врезания и схода инструмента [15].

Основное время T_o на выполнение операции зависит от схемы ее построения [22]. Так, при последовательном выполнении переходов в *одноместных* операциях основное время является суммой времени выполнения всех переходов:

$$T_o = \sum_1^n T_{oi}, \quad i = 1 \dots n, \quad (6.10)$$

где n — количество переходов.

При параллельной схеме обработки основное время выполнения операции определяется длительностью наиболее продолжительного (лимитирующего) перехода $T_{o.l}$, т.е.

$$T_o = T_{o.l}. \quad (6.11)$$

При параллельно-последовательной схеме основное время состоит из суммы последовательно выполняемых в позициях лимитирующих переходов:

$$T_o = \sum_1^n T_{o.li}. \quad (6.12)$$

Для *многоместных* схем обработки основное время сокращается в среднем в N раз (N — число одновременно обрабатываемых заготовок), см. [22].

Вспомогательное время T_v операций, типовых по структуре и технологической оснащённости, выполняемых на универсальных станках в серийном производстве, определяют из выражения

$$T_v = T_{yc} + T_{пер} + T_{изм}, \quad (6.13)$$

где T_{yc} — время установки и снятия заготовки;

$T_{пер}$ — время, связанное с выполнением перехода (или операции);

$T_{изм}$ — время на измерения.

Элементы вспомогательного времени определяются по [12—14], а при обработке на станках с ЧПУ — по [22] или [13]. В этих же источниках приведены данные для определения остальных составляющих штучно-калькуляционного времени ($T_{обс}$, $T_{п}$, $T_{п.з}$).

Основное (машинное, технологическое) время приближенно может быть определено по зависимостям вида $T_o = KDL$, приведенным в табл. 6.3, где K — коэффициент, отражающий средний уровень режимов при данном виде обработки; D и L — размеры обрабатываемых поверхностей.

Таблица 6.3

**Зависимости для приближенного определения
основного (машинного) времени**

Содержание операции	$T_o \cdot 10^{-3}$, мин
Чистовое точение на токарно-копировальном станке	$0,19DL$
Чистовое точение на токарно-винторезном станке	$0,17DL$
Зенкерование на вертикально-сверлильном станке	$0,21dl$
Протягивание	$0,4l'$

Содержание операции	$T_o \cdot 10^{-3}$, мин
Фрезерование паза на горизонтально-фрезерном станке	$7l'$
Фрезерование паза на вертикально-фрезерном станке	$7,2l'$
Шлифование на круглошлифовальном станке	$3,62D$
Шлифование на круглошлифовальном станке с ЧПУ	$2,7D$
Шлифование отверстия на внутришлифовальном станке	$0,583dl$
Шлифование зубьев на зубошлифовальном станке	$3,87DL$
Фрезерование плоскости на вертикально-фрезерном станке	$0,482L'$
Сверление отверстия на радиально-сверлильном станке	$0,21dl$
Сверление отверстия на радиально-сверлильном станке с ЧПУ	$0,16dl$
Фрезерование плоскости на вертикально-фрезерном станке с ЧПУ	$2,86l'$
Фрезерование паза на шпоночно-фрезерном станке	$5,52l'$
Тонкое растачивание отверстия на алмазно-расточном станке	$0,2dl$
Примечание. D и L , d и l — соответственно диаметр и длина наружных и внутренних поверхностей тел вращения; l' и L' — длина плоских поверхностей.	

Таблица 6.4

Значения коэффициента φ_k

Типы станков	φ_k
Токарные	2,0
Токарно-копировальные	1,5
Токарные с ЧПУ	1,2
Вертикально-сверлильные	1,5
Вертикально-сверлильные с ЧПУ	1,2
Радиально-сверлильные	1,6
Расточные	3,0
Внутришлифовальные	1,7
Круглошлифовальные	1,7
Круглошлифовальные с ЧПУ	1,3
Фрезерные	1,75
Фрезерные с ЧПУ	1,25
Протяжные	1,2

Варианты заданий к задаче 6.7

Вариант	Номер чертежа (см. прил. 1)	Операция	Модель станка	Содержание операции	Партия запуска, шт.
1	ТМ1	Токарно-копировальная	1Н713	Чистовое точение	120
2	ТМ1	Токарная с ЧПУ	16Н20Ф3	Чистовое точение	120
3	ТМ2	Вертикально-сверлильная	2Н150	Зенкерование отв. $\varnothing 45^{+0,17}$	150
4	ТМ2	Горизонтально-протяжная	7Б55	Протягивание шлицев	150
5	ТМ3	Горизонтально-фрезерная	6Р80	Фрезерование паза 32Н12	40
6	ТМ4	Круглошлифовальная	3М150	Шлифование шипов $\varnothing 60f7$	200
7	ТМ5	Внутришлифовальная	3К228А	Шлифование отв. $\varnothing 190^{+0,045}$	100
8	ТМ5	Зубошлифовальная	5А841	Шлифование зубьев	100
9	ТМ6	Вертикально-фрезерная	6Р10	Фрезерование основания	25
10	ТМ6	Алмазно-расточная	2705П	Растачивание отв. $\varnothing 24H7$	100
11	ТМ7	Вертикально-фрезерная	6Р10	Фрезерование шпоночного паза 10Р9	80
12	ТМ7	Токарно-копировальная	1Н713	Чистовое точение цилиндрических поверхностей	250
13	ТМ8	Вертикально-фрезерная	6Р10	Фрезерование паза $B = 30$	50
14	ТМ9	Алмазно-расточная	2705П	Растачивание отв. $\varnothing 110H7$	100
15	ТМ10	Вертикально-сверлильная	2Н118	Сверление и развертывание отв. $\varnothing 10H8$	40

Штучно-калькуляционное время $T_{ш.к}$ определяется по зависимости $T_{ш.к} = \varphi_k T_o$. Значения φ_k выбираются по табл. 6.4.

Задача 6.7. Рассчитать режимы резания и штучно-калькуляционное (штучное) время выполнения операций по вариантам и условиям (табл. 6.5).

6.4. Оптимизация режимов обработки резанием

Оптимизация технологических процессов и режимов резания, в частности, основывается на построении *математических моделей*. Для установления математической модели выделяются технические ограничения, которые в наибольшей степени определяют описываемый процесс, и оценочная функция (критерий оптимальности).

Выбор тех или иных технических ограничений зависит от вида обработки и определяется конкретными условиями технологического, конструкционного и организационно-производственного характера. Однако можно выделить ряд наиболее важных технических ограничений, которые составляют основу математических моделей процесса резания при точении, фрезеровании, сверлении и других методах обработки. Такими ограничениями являются:

- режущие возможности инструмента, определяемые его стойкостью;
- мощность электродвигателя привода главного движения;
- наименьшая и наибольшая скорости резания (частота вращения шпинделя) и подача, допускаемые кинематикой станка;
- прочность и жесткость режущего инструмента;
- точность обработки;
- шероховатость обработанной поверхности.

В качестве оценочной функции при оптимизации по двум параметрам (n , S) обычно используют *минимальную себестоимость*

$$F_{\min} = \frac{c}{nS}, \quad (6.14)$$

где c — коэффициент, не зависящий от режимов резания n и S .

Из этого выражения видно, что функция F_{\min} будет наименьшей, когда произведение nS будет максимальным.

Технические ограничения строятся на основе известных зависимостей. Так, техническое ограничение по стойкости инструмента для точения будет получено из выражений для скорости резания

$$V = \frac{C_v}{T^{m_t} S^y} k_v, \quad V = \frac{\pi D n}{1000}, \quad (6.15)$$

где T — период стойкости инструмента, мин;
 m — показатель относительной стойкости;
 t — глубина резания, мм;
 C_v, x, y — коэффициенты, характеризующие вид обработки;
 k_v — общий поправочный коэффициент;
 D — диаметр заготовки, мм.

После несложных преобразований получим техническое ограничение в следующем виде:

$$n S^y \leq \frac{318 C_v k_v}{D T^{m_t} x}. \quad (6.16)$$

Аналогично определяют и другие технические ограничения. Для выбора оптимальных значений режимов резания с использованием методов линейного программирования все технические ограничения и оценочная функция приводятся к линейному виду логарифмированием. Так, выражение (6.16) после логарифмирования будет иметь вид

$$\ln n + y \ln S = \ln \frac{318 C_v k_v}{D T^{m_t} x}. \quad (6.17)$$

Введем обозначения

$$x_1 = \ln n; \quad x_2 = \ln(100S); \quad b_1 = \ln \left(\frac{318 C_v k_v}{D T^{m_t} x} 100^y \right) \quad (6.18)$$

(в обозначении x_2 подача S умножается на 100, чтобы избежать получения отрицательных значений логарифмов).

Отсюда получим первое техническое ограничение в линейном виде

$$x_1 + y x_2 \leq b_1. \quad (6.19)$$

Для оценочной функции с учетом ее вида [см. уравнение (6.14)] после логарифмирования будем иметь

$$F_o = (x_1 + x_2)_{\max}. \quad (6.20)$$

Приведение всех технических ограничений к линейному виду и представление их в виде системы неравенств в совокупности с оценочной функцией дают математическую модель процесса резания металлов. Определение оптимальных режимов резания с помощью построенной математической модели может выполняться аналитическим или графическим методом.

Задача 6.8. Построить математическую модель процесса резания и определить оптимальные режимы резания для точения поверхности заготовки типа вал диаметром $\varnothing 100$ мм и длиной $L = 700$ мм, материал — сталь 45, требуемая шероховатость $R_z = 40$ мкм, глубина резания $t = 2,5$ мм.

Решение. Учитывая размеры заготовки для обработки, выбирают токарно-винторезный станок с ЧПУ 16К20Ф3. Точение производят проходным резцом с режущей пластиной Т15К6 с охлаждением. Размеры державки резца принимаются $B = 12$ мм, $H = 16$ мм, вылет резца $L_{в.р} = 50$ мм. Выделим наиболее важные ограничения.

Ограничение 1. *Режущие возможности инструмента*, определяемые периодом стойкости.

Согласно зависимости (6.16) находим значения периода стойкости инструмента и коэффициентов, входящих в уравнение для v [23]:

$$T = 60 \text{ мин}; \quad C_v = 350; \quad x = 0,15; \quad y = 0,35; \quad m = 0,2.$$

Значение уточняющего (поправочного) коэффициента

$$k_v = k_m k_n k_{\phi_1} k_r k_q k_o = 1,44.$$

Тогда

$$nS^{0,35} \leq \frac{318 \cdot 350 \cdot 1,44}{100 \cdot 60^{0,2} \cdot 2,5^{0,15}}, \quad \text{или} \quad nS^{0,35} \leq 613,95.$$

Приведем полученное неравенство к линейному виду логарифмированием и после обозначения получим

$$x_1 + 0,35x_2 \leq b_1,$$

где $b_1 = \ln(613,95 \cdot 100^{0,35}) = 8,03$.

Ограничение 2. *Мощность электродвигателя привода главного движения станка.*

Это ограничение выражается условием

$$N_{эф} \leq N\eta,$$

где N — мощность электродвигателя главного привода станка, кВт;

η — КПД кинематической цепи от электродвигателя к инструменту.

Эффективная мощность, кВт, затрачиваемая на процесс резания,

$$N_{\text{эф}} = \frac{P_z V}{102 \cdot 60},$$

где P_z — сила резания, которая согласно [23] определяется как

$$P_z = C_{P_z} t^{x_{P_z}} S^{y_{P_z}} V^{n_{P_z}} k_p.$$

Для второго технического ограничения получим

$$n^{n_{P_z} + 1} S^{y_{P_z}} \leq \frac{6120 (10^3)^{n_{P_z} + 1} N \eta}{C_{P_z} t^{x_{P_z}} D^{n_{P_z} + 1} \pi^{n_{P_z} + 1} k_p}.$$

Значения коэффициентов для рассматриваемого примера [23]:

$$C_{P_z} = 300; \quad x_{P_z} = 1,0; \quad y_{P_z} = 0,75; \quad n_{P_z} = -0,15.$$

Значение уточняющего коэффициента для силы резания

$$k_p = k_{mp} k_{фp} k_{\gamma p} k_{\lambda p} k_{rp} = 1,05.$$

Для станка 16К20Ф3 мощность электродвигателя $N = 10$ кВт, $\eta = 0,85$. Тогда

$$n^{0,85} S^{0,75} \leq \frac{6120 (10^3)^{0,85} \cdot 10 \cdot 0,85}{300 \cdot 2 \cdot 5^{1,0} \cdot 100^{0,85} \cdot \pi^{0,85} \cdot 1,05} = 177,1.$$

После приведения к линейному виду и введения обозначений получим

$$0,85x_1 + 0,75x_2 \leq b_2,$$

где $b_2 = \ln(177,1 \cdot 100^{0,75}) = 8,63$.

Ограничение 3. *Наименьшая допустимая скорость резания, определяемая кинематикой станка.*

Для частоты вращения шпинделя станка n это ограничение имеет вид $n \geq n_{\text{ст.мин}}$. Для станка 16К20Ф3 частота вращения $n_{\text{ст.мин}} = 200$ мин⁻¹. Тогда

$$x_1 \geq b_3,$$

где $b_3 = \ln 12,5 = 2,52$.

Ограничение 4. *Наибольшая допустимая скорость резания, определяемая кинематикой станка.*

Для частоты вращения шпинделя станка это ограничение имеет вид $n \leq n_{\text{ст.мах}}$. Для станка 16К20Ф3 частота вращения $n_{\text{ст.мах}} = 2000$ мин⁻¹. Тогда

$$x_1 \leq b_4,$$

где $b_4 = \ln 2000 = 7,6$.

При аналогичных преобразованиях были получены в линейном виде последующие ограничения: ограничение 5 — по наименьшей подаче; ограничение 6 — по наибольшей подаче; ограничение 7 — по прочности режущего инструмента; ограничение 8 — по жесткости режущего инструмента; ограничение 9 — по жесткости заготовки; ограничение 10 — по требуемой шероховатости поверхности.

Ограничения 5—10 совместно с рассмотренными выше ограничениями 1—4 образуют математическую модель процесса резания в аналитическом виде. Кроме технических ограничений, представляемых в виде системы неравенств, в состав модели входит оценочная функция f_0 :

$$\left\{ \begin{array}{l} x_1 + 0,35x_2 \leq 8,03; \\ 0,85x_1 + 0,75x_2 \leq 8,63; \\ x_1 \geq 2,52; \\ x_1 \leq 7,6; \\ x_2 \geq 1,61; \\ x_2 \leq 5,63; \\ -0,15x_1 + 0,75x_2 \leq 1,81; \\ -0,15x_1 + 0,75x_2 \leq 2,84; \\ -0,3x_1 + 0,6x_2 \leq 3,34; \\ x_2 \leq 4,09; \\ f_0 = (x_1 + x_2)_{\max} \end{array} \right.$$

Оптимальные значения $x_{1\text{опт}}$ и $x_{2\text{опт}}$ могут определяться численными методами линейного программирования с применением ЭВМ. В рассматриваемом примере задача будет решена графическим методом. В этом случае каждое техническое ограничение представлено граничной прямой, которая определяет полуплоскость, где возможно существование решений системы неравенств. Граничные прямые, пересекаясь, образуют многоугольник решений $ABCD$ (рис. 6.2), внутри которого любая точка удовлетворяет всем без исключения неравенствам. Для определения оптимальных значений $x_{1\text{опт}}$ и $x_{2\text{опт}}$ под углом 45° к осям x_1 и x_2 строится вектор максимизации M для оценочной функции $f_0 = x_1 + x_2$, которая изображается прямой (штриховая линия), перпендикулярной этому вектору. В точке D , где прямая оценочной функции коснется многоугольника решений, функция принимает минимальное значение $f_{0\text{ мин}}$, а в точке B — максимальное $f_{0\text{ макс}}$. Координаты этой точки являются оптимальными значениями $x_{1\text{опт}} = 6,5$ и $x_{2\text{опт}} = 3,8$.

Числовые значения оптимального режима резания вычисляются по следующим зависимостям:

$$n_{\text{опт}} = e^{x_{1\text{опт}}} = e^{6,5} = 665 \text{ мин}^{-1};$$

$$S_{\text{опт}} = \frac{1}{100} e^{x_{2\text{опт}}} = \frac{1}{100} e^{3,8} = 0,447 \text{ мм/об.}$$

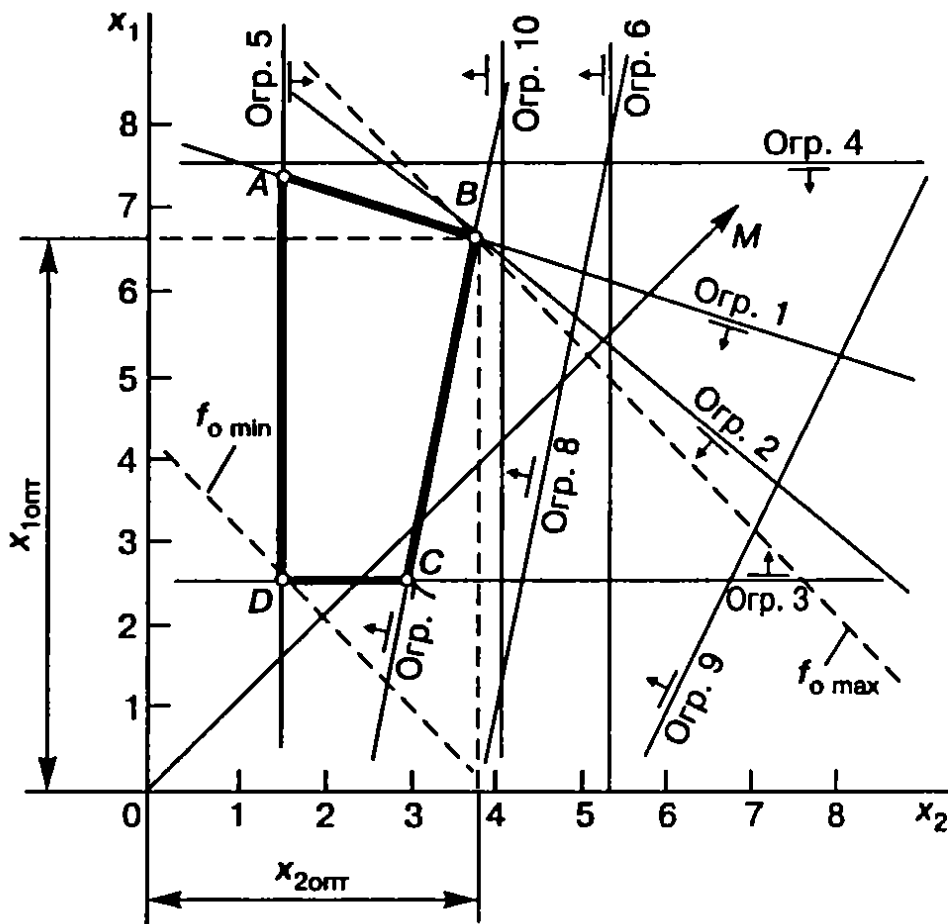


Рис. 6.2. Графическое построение математической модели определения оптимальных режимов резания (к задаче 6.8)

Задача 6.9. Построить математическую модель процесса резания и определить оптимальные режимы (n , S) для точения заготовки типа вал диаметром D и длиной L с учетом вида и материала заготовки, требуемой точности, шероховатости поверхности Rz и глубины резания t (табл. 6.6).

Таблица 6.6

Исходные данные к задаче 6.9

Вариант	Материал заготовки	Вид заготовки	t , мм	D , мм	L , мм	Rz , мкм	Квалитет
1	Латунь ЛС59-1	Прокат	2	30	220	20	10
2	Алюминиевый сплав АЛ9	То же	3	42	200	20	10
3	Сталь 30ХГСА	То же	3,5	56	300	20	10
4	Бронза БраЖ9-4	То же	2,5	64	360	20	10
5	Сталь 45	Поковка	3	92	420	40	10
6	Сталь 30ХГСА	То же	3	90	300	40	10
7	Сталь 12Х18Н9Т	То же	3	96	500	40	12
8	Сталь 20	Прокат	2,5	120	560	40	12
9	Сталь 45	То же	4	140	700	60	12
10	Сталь 40Х	То же	2	160	820	60	12

Задача 6.10. Построить математическую модель процесса резания и определить оптимальные режимы (n , S) для сверления в заготовке типа плита отверстия диаметром d и длиной L по 12-му качеству точности (табл. 6.7).

Таблица 6.7

Исходные данные к задаче 6.10

Вариант	Материал заготовки	d , мм	L , мм
1	Сталь 45	6	16
2	Чугун СЧ 20	8	20
3	Чугун ВЧ 45	16	24
4	Сталь 12Х18Н9Т	24	32
5	Алюминиевый сплав АЛ9	30	40
6	То же	36	56
7	Сталь 20	40	80
8	Чугун СЧ 20	42	100
9	Чугун ВЧ 45	48	120
10	Сталь 40Х	40	120

Задача 6.11. Построить математическую модель процесса резания и определить оптимальные режимы (n , S) для фрезерования торцевой фрезой на вертикально-фрезерном станке плоскости заготовки типа плита шириной B и длиной L с учетом вида материала заготовки, требуемой шероховатости и качества (табл. 6.8).

Таблица 6.8

Исходные данные к задаче 6.11

Вариант	Материал заготовки	B , мм	L , мм	Глубина фрезерования t , мм	Rz , мкм	Качество
1	Сталь 45	60	120	3	10	10
2	Чугун СЧ 20	66	100	5	20	10
3	Чугун ВЧ 45	88	300	5	40	10
4	Сталь 12Х18Н9Т	100	200	5	40	10
5	То же	150	200	10	40	12
6	Алюминиевый сплав АЛ9	180	500	25	60	12
7	Чугун СЧ 20	276	600	10	40	12
8	Сталь 20	300	600	15	60	12
9	Ст3	400	800	12	60	12

6.5. Расчет технологической себестоимости

Технологической себестоимостью детали называется та часть ее полной себестоимости, элементы которой существенно изменяются для различных вариантов технологического процесса. К таким изменяющимся элементам относятся:

$C_{\text{заг}}$ — стоимость исходной заготовки;

Z_o и $Z_{\text{в.р}}$ — заработная плата соответственно станочника (основного рабочего) и наладчика (вспомогательного рабочего);

A_o — амортизационные отчисления от оборудования;

$A_{\text{т.о}}$ — амортизационные отчисления от технологического оснащения;

P_o — затраты на ремонт и обслуживание оборудования;

I — затраты на инструмент;

L_o — затраты на силовую электроэнергию;

$\Pi_{\text{л}}$ — затраты на амортизацию и содержание производственных площадей;

$\Pi_{\text{пр}}$ — затраты на подготовку и эксплуатацию управляющих программ (для станков с ЧПУ).

Расчет стоимости исходной заготовки приведен в параграфе 3.2.

Сумма остальных элементов представляет собой технологическую себестоимость обработки. Учитывая, что сравнению обычно подвергаются отдельные операции (или группы операций), для оценки вариантов целесообразно сравнивать *технологическую себестоимость выполнения операции*

$$C_{\text{оп}} = Z_o + Z_{\text{в.р}} + A_o + A_{\text{т.о}} + P_o + I + L_o + \Pi_{\text{л}} + \Pi_{\text{пр}}. \quad (6.21)$$

Для каждой сравниваемой операции элементы, входящие в структуру $C_{\text{оп}}$, могут быть определены прямым калькулированием и нормативным методом с использованием нормативов по статьям себестоимости, отнесенным к одной минуте или одному часу работы оборудования.

Метод прямого калькулирования является более трудоемким, но и более точным методом расчета себестоимости. Сравнение вариантов на основе минимума технологической себестоимости производится, если сравниваемые варианты не требуют для своего выполнения существенных капитальных вложений. В противном случае оценку вариантов следует вести на основе *минимума приведенных затрат*

$$W_i = C_i + E_n K_i, \quad (6.22)$$

где C_i — технологическая себестоимость изготовления детали (или выполнения операции);

E_n — нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений ($E_n = 0,12$);

K_i — удельные капитальные вложения, отнесенные к единице продукции.

Расчет капитальных вложений может быть выполнен по [23].

Методика расчета технологической себестоимости, изложенная ниже, основана на нормативной базе конца 1980-х годов [20]. С целью приведения затрат по элементам себестоимости к современному уровню в учебных технологических расчетах рекомендуется умножать изменяющийся элемент затрат на соответствующий *масштабно-ценовой коэффициент* $K_{цi}$, средние значения которого, полученные на основе экспертных оценок по состоянию на 01.01.2003 г., приведены в табл. 6.9. Целесообразно вычисление этих коэффициентов на основе современных цен и нормативов.

Таблица 6.9

Масштабно-ценовые коэффициенты

Индекс i	Элемент себестоимости	Изменяемый элемент затрат	$K_{цi}$
1	Заработная плата	$H_{o.ч}$ и $H_{н.г}$	$K_{ц1} = 8$
2	Амортизационные отчисления	Φ и $\Phi_{т.о}$	$K_{ц2} = 8$ (станки с ЧПУ) $K_{ц2} = 15$ (прочие)
3	Затраты на ремонт и обслуживание оборудования	H_m и $H_э$	$K_{ц3} = 10$
4	Затраты на режущий инструмент	$\Phi_{и}$	$K_{ц4} = 10$
5	Затраты на электроэнергию	$Ц_э$	$K_{ц5} = 40$
6	Затраты на производственную площадь	H_p	$K_{ц6} = 8$
7	Затраты на управляющие программы	χ	$K_{ц7} = 8$
8	Средние затраты на содержание и эксплуатацию оборудования	H_o	$K_{ц8} = 10$

Заработная плата станочника с учетом всех видов доплат и начислений

$$Z_o = \frac{1}{60} K_{ц1} H_{o.ч} t_{ш.к} K_m, \quad (6.23)$$

где $H_{o.ч}$ — норматив часовой заработной платы станочника соответствующего разряда, руб./ч, определяемый по [23] или прил. 41;

- $t_{ш.к}$ — штучно-калькуляционное время на операцию, мин;
 K_m — коэффициент, учитывающий оплату основного рабочего при многостаночном обслуживании, который определяют в зависимости от числа обслуживаемых станков по следующим данным:

Число обслуживаемых станков	1	2	3	4	5	6	7	8
K_m	1	0,65	0,48	0,39	0,35	0,32	0,3	0,29

Зарботная плата наладчика с учетом всех видов доплат и начислений

$$Z_{в.р} = \frac{K_{ц1} N_{н.г} t_{ш.к} m}{60 k_{о.н} F_d}, \quad (6.24)$$

где $N_{н.г}$ — норматив годовой заработной платы наладчика соответствующего разряда, руб./год, определяемый по [23] или прил. 41;

m — число смен работы станка (принимается обычно $m = 2$);

$k_{о.н}$ — число станков, обслуживаемых наладчиком в смену;

F_d — действительный годовой фонд времени работы оборудования, ч (при двухсменном режиме работы для станков с ручным управлением $F_d = 4015$ ч, для станков с ЧПУ — 3890 ч).

Амортизационные отчисления от стоимости оборудования

$$A_o = \frac{K_{ц2} \Phi N_a t_{ш.к}}{100 \cdot 60 F_d}, \quad (6.25)$$

где Φ — стоимость оборудования, руб.;

N_a — общая норма амортизационных отчислений, % (см. [23]).

С учетом затрат на трансформирование и монтаж станка стоимость оборудования

$$\Phi = 1,122Ц,$$

где $Ц$ — оптовая цена оборудования.

Оптовые цены на стандартное оборудование определяются по [15, 20] или прил. 48, а нормы амортизации — по [23] или прил. 42.

Амортизационные отчисления от стоимости технологического оснащения, приходящиеся на одну деталь при расчетном сроке службы оснастки 2 года, определяются как

$$A_{т.о} = \frac{K_{ц2} \Phi_{т.о}}{2N_r}, \quad (6.26)$$

где $\Phi_{т.о}$ — стоимость технологического оснащения, руб., может быть определена ориентировочно по прил. 45;

N_r — годовая программа выпуска деталей.

Затраты на ремонт и обслуживание оборудования

$$P_o = \frac{K_{ц3} (H_m K_m + H_э K_э) t_{ш.к}}{60 F_d K_T}, \quad (6.27)$$

где $H_m, H_э$ — нормативы годовых затрат на ремонт соответственно механической и электрической частей оборудования, руб./год, определяемые по [23] или прил. 43;

$K_m, K_э$ — категория сложности ремонта соответственно механической и электрической частей оборудования (прил. 48);

K_T — коэффициент, зависящий от класса точности оборудования (для оборудования нормальной точности $K_T = 1,0$).

Затраты на инструмент, отнесенные к одной детали,

$$И = \frac{1,4 K_{ц4} \Phi_{и} t_{ш.к} \eta_m}{T_{сл.и}}, \quad (6.28)$$

где 1,4 — коэффициент, учитывающий затраты на переточку инструмента;

$\Phi_{и}$ — цена единицы инструмента, руб. (см. [16]);

η_m — коэффициент машинного времени, определяемый как отношение $t_{маш}/t_{ш.к}$ по [20];

$T_{сл.и}$ — срок службы инструмента до полного износа, мин (см. [20]).

Затраты на силовую электроэнергию

$$L_o = \frac{K_{ц5} C_э N_э \eta_{з.о} t_{ш.к}}{60}, \quad (6.29)$$

где $C_э$ — цена электроэнергии (принимается равной 0,012 руб. за 1 кВт·ч);

$N_э$ — установленная мощность электродвигателей станка, кВт;

$\eta_{з.о}$ — общий коэффициент загрузки электродвигателей, определяемый по [23] или прил. 44.

Затраты на содержание и амортизацию производственных площадей

$$P_{\text{л}} = \frac{K_{\text{ц6}} N_{\text{п}} P_{\text{у}} K_{\text{с.у}} t_{\text{ш.к}}}{60 F_{\text{д}}}, \quad (6.30)$$

где $N_{\text{п}}$ — норматив издержек, приходящихся на 1 м² производственной площади, руб./м² (при двухсменной работе принимается равным 10 руб./м²);

$P_{\text{у}}$ — удельная площадь, приходящаяся на станок и равная габаритной площади станка [20], умноженной на коэффициент, учитывающий добавочную площадь, определяемый по [23] или прил. 46;

$K_{\text{с.у}}$ — коэффициент, учитывающий площадь для систем управления станков с ЧПУ (принимается равным 1,5—2,0).

Затраты на подготовку и эксплуатацию управляющих программ

$$P_{\text{пр}} = \frac{K_{\text{ц7}} \chi K_{\text{в}}}{N_{\text{г}} T_{\text{д}}}, \quad (6.31)$$

где χ — стоимость программы, руб., определяемая по [23] или прил. 47;

$K_{\text{в}}$ — коэффициент, учитывающий потребность в восстановлении программносителя;

$T_{\text{д}}$ — срок выпуска данной детали, год.

Принимая $K_{\text{в}} = 1,1$ и $T_{\text{д}} = 3$ года, получим

$$P_{\text{пр}} = \frac{0,37 K_{\text{ц7}} \chi}{N_{\text{г}}}. \quad (6.32)$$

Нормативным методом технологическая себестоимость может быть рассчитана по методике, изложенной в [23], или с использованием таблиц, содержащих усредненные величины элементов структуры себестоимости для станков различных моделей [20].

При определении *технологической себестоимости* нормативным методом заработную плату станочника и наладчика рассчитывают по уравнениям (6.23) и (6.24), а расходы, связанные с содержанием и эксплуатацией оборудования, — по удельным затратам на 1 машиночас работы оборудования:

$$C_{\text{оп}} = Z_{\text{о}} + Z_{\text{в.р}} + \frac{K_{\text{ц8}} N_{\text{о}} K_{\text{м.ч}} t_{\text{ш.к}}}{60}, \text{ руб./ч}, \quad (6.33)$$

где $N_{\text{о}}$ — средние затраты (руб./ч) на содержание и эксплуатацию оборудования, имеющего коэффициент машиночаса $K_{\text{м.ч}} = 1,0$.

Эти затраты при двухсменном режиме работы можно принять равными 0,312; 0,356; 0,405 и 0,432 руб./ч соответственно для условий мелко-, средне-, крупносерийного и массового производства. Коэффициенты машиночаса определяем по прил. 48.

При расчете приведенных затрат *капитальные вложения в оборудование*, отнесенные к одной детали, определяются по уравнению

$$K_o = \frac{K_{ц2} \Phi t_{ш.к.}}{60 F_d} \quad (6.34)$$

Задача 6.12. В существующих на участке условиях производства возможны два варианта обработки наружных поверхностей шпинделя: 1 — на универсальном токарно-винторезном станке; 2 — на токарном станке с ЧПУ. При исходных данных (табл. 6.10) определить более экономичный вариант для двух случаев: 1) оба станка имеются на участке; 2) необходимо приобретение станков. Режим работы — двухсменный, годовая программа выпуска шпинделей — 120 шт.

Таблица 6.10

Исходные данные к задаче 6.12

Вариант	1	2
Модель станка	16K20	16K20Ф3
Штучно-калькуляционное время $t_{ш.к.}$, мин	120	58,4
Разряд станочника	5	3
Разряд наладчика	—	5
Количество станков, шт., обслуживаемых в смену:		
станочником	1	2
наладчиком	—	7
Действительный годовой фонд времени работы станка F_d , ч	4015	3890
Оптовая цена станка C , руб.	5450	24400
Масса станка, кг	2835	4000
Размеры станка в плане, мм	2505×1190	3360×1710
Площадь в плане, м ²	3,0	5,75
Установленная мощность электродвигателей $N_э$, кВт	11,0	10,0
Категория ремонтной сложности:		
механической части K_M	11,0	14
электрической части $K_э$	8,5	26

Решение. 1. При наличии на участке сравниваемых станков выбор варианта производим по технологической себестоимости обработки [уравнение (6.21)]. Для расчета элементов себестоимости необходимы дополнительные данные, которые определяем по [15, 20, 23] или прил. 48 и сводим в таблицу.

Расчет элементов технологической себестоимости удобно вести в форме таблицы (табл. 6.11).

Таблица 6.11

**Расчет элементов технологической себестоимости, руб.
(к задаче 6.12)**

Элемент	Уравнение для расчета	Модель станка	
		16К20	16К20Ф3
Заработная плата станочника	(6.23)	$\frac{8 \cdot 2 \cdot 120 \cdot 1}{60} = 32$	$\frac{8 \cdot 1,61 \cdot 58,4 \cdot 0,65}{60} = 8,16$
Заработная плата наладчика	(6.24)	—	$\frac{8 \cdot 3311 \cdot 58,4 \cdot 2}{60 \cdot 7 \cdot 3890} = 1,88$
Отчисления на амортизацию оборудования	(6.25)	$\frac{15 \cdot 1,122 \cdot 5450 \cdot 11,6 \cdot 120}{100 \cdot 60 \cdot 4015} = 5,3$	$\frac{8 \cdot 1,122 \cdot 24400 \cdot 11,6 \cdot 58,4}{100 \cdot 60 \cdot 3890} = 6,3$
Затраты на ремонт и обслуживание оборудования	(6.27)	$\frac{10(30,8 \cdot 11 + 7,3 \cdot 8,5) \cdot 120}{60 \cdot 4015} = 4,78$	$\frac{10(30,8 \cdot 14 + 7,3 \cdot 26) \cdot 58,4}{60 \cdot 3890} = 1,55$
Затраты на электроэнергию	(6.29)	$\frac{40 \cdot 0,012 \cdot 11 \cdot 0,26 \cdot 120}{60} = 2,74$	$\frac{40 \cdot 0,012 \cdot 10 \cdot 0,21 \cdot 58,4}{60 \cdot 3890} = 0,98$
Затраты на амортизацию и содержание здания	(6.30)	$\frac{8 \cdot 10 \cdot 3 \cdot 3,5 \cdot 120}{60 \cdot 4015} = 0,42$	$\frac{8 \cdot 10 \cdot 5,75 \cdot 3 \cdot 58,4}{60 \cdot 3890} = 0,35$
Затраты на управляющие программы	(6.32)	—	$\frac{8 \cdot 0,37 \cdot 18,6}{120} = 0,45$
Технологическая себестоимость	Сумма всех затрат	45,24	19,67

Примечание. Затраты на технологическое оснащение и инструмент одинаковы для обоих вариантов, поэтому их из расчета исключаем.

Расчет себестоимости нормативным методом ведем по уравнению (6.33). Для станка 16К20 коэффициент машиночаса $K_{м.ч} = 1,0$ [23], для станка 16К20Ф3 принимаем $K_{м.ч} = 4,5$. При двухсменном режиме работы в условиях мелкосерийного производства $H_0 = 0,312$ руб./ч [23]. Тогда

$$C_{оп1} = 32 + \frac{10 \cdot 0,312 \cdot 1 \cdot 120}{60} = 38,24 \text{ руб.},$$

$$C_{оп2} = 8,16 + 1,88 + \frac{10 \cdot 0,312 \cdot 4,5 \cdot 58,4}{60} = 23,71 \text{ руб.}$$

2. В случае необходимости приобретения станков в связи со значительной разницей по капитальным вложениям сравниваемые варианты оцениваем по приведенным затратам [см. уравнения (6.22) и (6.34)]:

$$K_{o1} = \frac{15 \cdot 1,122 \cdot 5450 \cdot 120}{60 \cdot 4015} = 45,69 \text{ руб.},$$

$$K_{o2} = \frac{8 \cdot 1,122 \cdot 24400 \cdot 58,4}{60 \cdot 3890} = 54,8 \text{ руб.},$$

$$W_1 = 45,24 + 0,12 \cdot 45,69 = 50,72 \text{ руб.},$$

$$W_2 = 19,67 + 0,12 \cdot 54,8 = 26,25 \text{ руб.}$$

Результаты расчетов показывают экономическую целесообразность обработки шпинделя на станке с ЧПУ при обоих условиях, поставленных в задаче.

Задача 6.13. Токарная обработка наружных поверхностей деталей производится на различных станках. Определить более экономичный вариант при двухсменном режиме работы. Исходные данные представлены в табл. 6.12.

Таблица 6.12

Исходные данные к задаче 6.13

Вариант задания	1		2		3		
	1	2	1	2	1	2	
Модель станка	16Б16А	16Б16Ф3	1Г340	1К282	1Н713	1Б290П-6К	
Штучно-калькуляционное время обработки, мин	14,0	8,0	8,4	2,2	3,6	0,9	
Разряд станочника	5	3	3	2	3	2	
Разряд наладчика	—	5	4	5	4	5	
Число станков, шт., обслуживаемых в смену:	станочником	1	2	1	2	2	3
	наладчиком	—	6	8	3	5	5
Действительный годовой фонд времени работы станка, ч	4015	3890	4015	4015	4015	4015	
Годовая программа выпуска деталей, шт.	1000	1000	5000	5000	30 000	30 000	

Задача 6.14. По действующему технологическому процессу контур и отверстия плоской заготовки обрабатывают по разметке соответственно на вертикально-фрезерном и радиально-сверлильном станках. Определить целесообразность обработки этих поверхностей на станках с ЧПУ. Исходные данные представлены в табл. 6.13. Режим работы — двухсменный. Годовая программа выпуска деталей — 200 шт.

Таблица 6.13

Исходные данные к задаче 6.14

Вариант обработки	1			2
	Разметочная плита	6P11	2M55	ЛФ260МФЗ
Штучно-калькуляцион- ное время обработки, мин	15	20	15	15
Разряд станочника	6	6	4	3
Разряд наладчика	—	—	—	6
Число станков, шт., об- служиваемых в смену:	станочником	—	1	2
	наладчиком	—	—	4
Действительный годо- вой фонд времени рабо- ты станка, ч	—	4015	4015	3890

Задача 6.15. Обработка отверстий во фланце производится на радиально-сверлильном станке с использованием кондуктора. Определить целесообразность обработки отверстия на сверлильном станке с ЧПУ. Исходные данные представлены в табл. 6.14. Годовая программа выпуска деталей — 1500 шт.

Задача 6.16. В условиях крупносерийного производства возможны два варианта обработки заготовки шестерни до зубообработки. Первый вариант предусматривает последовательную дифференцированную обработку отверстия зенкерованием и протягиванием, а наружных поверхностей — многорезцовым точением на одношпиндельном токарном полуавтомате. При втором варианте обработка всех поверхностей может быть выполнена на вертикальном токарном многшпиндельном полуавтомате. Режим работы — двухсменный. Годовая программа выпуска деталей — 12 000 шт. Исходные данные представлены в табл. 6.15. Опреде-

Исходные данные к задаче 6.15

Вариант обработки	1	2
Модель станка	2М55	2Р135Ф2-1
Штучно-калькуляционное время обработки, мин	21	13
Разряд станочника	4	3
Разряд наладчика	—	5
Количество станков, шт., обслуживаемых в смену:		
станочником	1	2
наладчиком	—	7
Действительный годовой фонд времени работы станка, ч	4015	3890
Стоимость кондуктора, руб.	120	—

Таблица 6.15

Исходные данные к задаче 6.16

Вариант обработки	1		2	
	2Н150	7656	1Н713	1Б284
Модель станка	2Н150	7656	1Н713	1Б284
Штучно-калькуляционное время обработки, мин	2,2	0,6	2,1	2,5
Разряд станочника	2	2	2	2
Разряд наладчика	4	4	4	5
Число станков, шт., обслуживаемых в смену:				
станочником	1	1	2	2
наладчиком	8	10	5	3
Действительный годовой фонд времени оборудования, ч	4015	4015	4015	4015

лить нормативным методом: технологическую себестоимость обработки, приведенные затраты по вариантам обработки, годовой экономический эффект при реализации оптимального варианта.

Глава 7. ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ

7.1. Статистические методы оценки качества изделий

В производстве при анализе и контроле качества изделий инженер-технолог наиболее часто решает следующие задачи:

- определение показателей качества на основе статистической обработки выборок с оценкой достоверности полученных значений методом доверительных интервалов (см. задачи 7.1, 7.2);
- сравнение показателей качества с заданными значениями или между собой с помощью проверки статистических гипотез (см. задачи 7.3—7.8);
- определение закона распределения показателей качества с проверкой соответствия опытного распределения с теоретическим, а также выполнение анализа точности обработки методом кривых распределения (см. задачи 7.9—7.11);
- обеспечение изготовления изделий без брака (определение процента вероятного брака, а также числа изделий, требующих доработки), при этом необходимо доказать гипотезу распределения показателя качества по нормальному закону (см. задачи 7.12—7.15);
- корректировка технологических процессов в ходе производства с помощью выборочного контроля показателей качества, выполнение анализа точности обработки с использованием контрольных карт средних арифметических значений, размахов и средних квадратических отклонений (см. задачи 7.16—7.19).

Задача 7.1. Определить среднее значение параметра шероховатости Ra и среднее квадратическое отклонение σ_{Ra} (для каждой из мгновенных выборок, а также для всех выборок) по результатам измерений шлифованных поверхностей валов (табл. 7.1). Задав-шись доверительной вероятностью $(1 - \alpha)$, определить доверительные интервалы для величин Ra и σ_{Ra} .

Значение параметра шероховатости Ra , мкм, шлифованных поверхностей валов (к задаче 7.1)

Номер детали в выборке	Номер выборки				
	1	2	3	4	5
1	0,75	0,68	0,79	0,63	0,60
2	0,78	0,72	0,70	0,63	0,65
3	0,76	0,64	0,62	0,80	0,70
4	0,60	0,70	0,65	0,82	0,75
5	0,61	0,81	0,74	0,72	0,80

Задача 7.2. Определить среднее квадратическое отклонение σ_{Ra} параметра шероховатости Ra методом размахов по данным задачи 7.1.

Задача 7.3. На токарном полуавтомате изготавливают втулки. Из партии втулок взята выборка объемом $n = 20$ и измерены их наружные диаметры. По результатам измерений подсчитаны средний диаметр $\bar{d} = 60,12$ мм и среднее квадратическое отклонение $\sigma = 0,32$ мм. Полуавтомат настроен на размер $d_0 = 60$ мм. Проверить правильность настройки станка.

Задача 7.4. Погрешность закрепления ϵ_3 в пневматическом приспособлении характеризуется средним квадратическим отклонением $\sigma = 0,224$ мкм. Приспособление было усовершенствовано для стабилизации силы закрепления. Погрешности закрепления на новом приспособлении следующие: 0,6; 0,5; 0,4; 0,5; 0,3 мкм.

Можно ли считать усовершенствование эффективным?

Задача 7.5. На двух станках изготавливают втулки. Результаты измерений 10 деталей, изготовленных на первом станке, и 8 деталей, изготовленных на втором станке, следующие:

$d_1 = 30,02; 30,12; 30,24; 30,16; 30,20; 30,08; 30,16; 29,98; 30,00; 29,96$ мм;

$d_2 = 30,02; 30,04; 30,06; 30,08; 30,05; 30,24; 29,98; 30,10$ мм.

Проверить предположение о том, что станки обладают различной точностью.

Задача 7.6. По результатам измерения диаметров пяти валов, обработанных на токарном полуавтомате, сразу после настройки станка и через некоторый промежуток времени получены следующие

значения выборочных средних $\bar{d}_1 = 30,01$ мм и $\bar{d}_2 = 30,042$ мм дисперсий $\sigma_1^2 = 0,001$ мм² и $\sigma_2^2 = 0,004$ мм². Определить, изменился ли настроечный размер?

Решение. Проверяем гипотезу о равенстве выборочных дисперсий $H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$ с помощью критерия Фишера (прил. 51). Поскольку на принятом уровне значимости $\alpha = 0,05$

$$F = \sigma_2^2 / \sigma_1^2 = 0,004 / 0,001 = 4 < F_{\alpha}(f_2; f_1) = F_{0,05}(4; 4) = 6,39,$$

уровень точности станка не изменялся (гипотеза о равенстве дисперсий принимается).

Вычисляем средневзвешенную дисперсию

$$\sigma^2 = \frac{(n_1 - 1)\sigma_1^2 + (n_2 - 1)\sigma_2^2}{n_1 + n_2 - 2} = \frac{(5 - 1) \cdot 0,001 + (5 - 1) \cdot 0,004}{5 + 5 - 2} = 0,0025 \text{ мм}^2 \quad (7.1)$$

с $f = n_1 + n_2 - 2 = 5 + 5 - 2 = 8$ степенями свободы.

Среднее квадратическое отклонение

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} = \sqrt{0,0025} = 0,05 \text{ мм.}$$

Проверяем гипотезу о равенстве средних $H_0: \bar{d}_1 = \bar{d}_2$ с помощью критерия Стьюдента (прил. 49). Так как

$$t = \frac{|\bar{d}_1 - \bar{d}_2|}{\sigma \sqrt{1/n_1 + 1/n_2}} = \frac{|30,01 - 30,042|}{0,05 \cdot \sqrt{1/5 + 1/5}} = 1,01 < t_{1-\frac{\alpha}{2}; f} = t_{1-\frac{0,05}{2}; 8} = 2,31, \quad (7.2)$$

гипотеза о равенстве средних принимается. Следовательно, настроечный размер за данный промежуток времени не изменился.

Если выборочные дисперсии окажутся неоднородными, следует вычислить значение критерия

$$T = \frac{v_1 t_{1-\frac{\alpha}{2}; f_1}^2 + v_2 t_{1-\frac{\alpha}{2}; f_2}^2}{\sqrt{v_1 + v_2}}, \quad (7.3)$$

где $v_1 = \sigma_1^2 / n_1$ и $v_2 = \sigma_2^2 / n_2$.

Разницу между выборочными средними считать значимой (на уровне значимости α), если

$$|\bar{d}_1 - \bar{d}_2| > T.$$

Задача 7.7. По данным задачи 7.5 определить, существенно ли отличаются настроечные размеры станков?

Задача 7.8. Сравнить средние значения наибольшей высоты профиля шероховатости \bar{R}_{\max} шлифованных поверхностей валов на двух технологических режимах в зависимости от уровня значимости α , объема n мгновенных выборок и дисперсии σ^2 (табл. 7.2).

Таблица 7.2

Исходные данные к задаче 7.8

Ва- риант	Уровень значимости α	Объем выборки		Шероховатость, мкм		Дисперсия, мкм ²	
		n_1	n_2	R_{\max_1}	R_{\max_2}	σ_1^2	σ_2^2
1	0,01	5	10	12	9,6	0,8	4,2
2	0,05	5	10	12	9,6	0,8	4,2
3	0,05	8	8	12,5	10	1,2	3,4
4	0,05	12	12	12,5	10	1,2	3,4
5	0,01	20	8	16	14,2	1,2	2,8

Задача 7.9. По результатам измерений (табл. 7.3) линейных размеров валов от базового торца до уступа, обработанных на токарном полуавтомате, построить эмпирические гистограмму и полигон распределения. Проверить предположение о том, что распределение размеров подчиняется нормальному закону. Определить параметры такого распределения.

Таблица 7.3

Отклонения линейных размеров валов (к задачам 7.9, 7.11)

Номер строки	Выборка № 1				Выборка № 2			
	1	+0,04	+0,07	+0,01	-0,03	-0,06	-0,04	-0,03
2	+0,05	+0,05	+0,01	-0,02	-0,12	-0,06	+0,04	-0,05
3	+0,04	+0,03	-0,04	-0,05	+0,02	-0,05	-0,02	-0,06
4	+0,07	+0,02	-0,05	-0,05	+0,02	-0,01	-0,01	-0,09
5	-0,01	+0,01	-0,01	-0,06	-0,04	-0,04	-0,05	+0,05
6	-0,02	-0,05	+0,04	-0,07	-0,04	-0,02	-0,12	-0,07
7	+0,06	-0,09	-0,05	+0,06	-0,05	-0,04	-0,01	-0,10
8	-0,04	-0,04	-0,03	+0,02	-0,03	-0,07	-0,06	+0,02
9	-0,09	-0,06	-0,04	+0,02	-0,07	-0,09	-0,09	+0,13
10	-0,08	-0,05	0,00	-0,04	-0,01	-0,01	+0,02	+0,04

Номер строки	Выборка № 1				Выборка № 2			
	11	-0,09	-0,07	-0,04	+0,13	-0,09	+0,06	-0,01
12	-0,01	-0,11	+0,04	+0,04	+0,05	-0,05	+0,04	-0,05
13	-0,04	-0,09	-0,04	-0,09	+0,01	+0,04	-0,01	-0,03
14	-0,08	-0,10	-0,07	-0,09	+0,01	-0,02	-0,04	-0,03
15	-0,07	+0,04	-0,12	-0,08	-0,01	-0,12	-0,03	-0,08
16	-0,14	-0,01	-0,14	+0,03	-0,03	-0,06	-0,02	-0,02
17	-0,05	+0,03	-0,06	-0,04	-0,01	-0,15	+0,03	-0,01
18	-0,08	+0,07	-0,01	-0,03	-0,07	-0,05	+0,04	-0,01
19	-0,04	+0,05	-0,07	-0,08	-0,02	-0,07	+0,01	0,00
20	-0,05	-0,02	-0,13	-0,11	-0,03	+0,04	-0,01	+0,03
21	-0,04	+0,02	-0,03	-0,12	-0,08	-0,06	-0,04	-0,04
22	-0,03	+0,09	+0,05	-0,01	-0,08	+0,01	-0,02	-0,05
23	-0,06	-0,02	-0,01	-0,07	+0,08	-0,01	-0,03	-0,09
24	-0,07	+0,02	-0,08	+0,04	+0,01	-0,04	0,00	-0,05
25	-0,01	+0,04	-0,04	+0,07	+0,02	-0,06	+0,01	0,00

Задача 7.10. По результатам измерений (табл. 7.4) шлифованных шеек валов диаметром $\varnothing 80 f7 \begin{pmatrix} -0,03 \\ -0,06 \end{pmatrix}$ мм проверить предположение о том, что распределение размеров подчиняется закону Гаусса.

Задача 7.11. По данным задачи 7.9 определить, по какому качеству точности может быть выполнена токарная обработка валов, если номинальный размер от базового торца до уступа равен 28; 52 и 165 мм.

Задача 7.12. Определить, возможна ли на токарном полуавтомате обработка валов диаметром $\varnothing 40_{-0,25}$ мм с заданным отклонением, если выборочные среднее и среднее квадратическое отклонения, вычисленные по результатам измерений $n = 20$ деталей, составили $\bar{d} = 39,88$ мм и $\sigma = 0,025$ мм.

Задача 7.13. На револьверном станке обрабатывают партию валов 300 шт. диаметром $30_{-0,1}$ мм. По результатам измерения проб-

Частота m повторяемости измеренных размеров (к задаче 7.10)

Диаметр вала, мм	Варианты				
	1	2	3	4	5
80,057	1	2	3	4	3
80,052	2	1	2	3	3
80,050	5	5	7	9	7
80,047	12	14	12	10	8
80,043	30	28	16	24	30
80,040	33	28	23	31	28
80,038	20	22	30	23	16
80,034	9	10	12	8	10
80,031	7	7	6	5	8
80,029	0	1	4	2	2
80,024	1	2	3	1	3

ных валов величины среднего и среднего квадратического отклонений составляют $\bar{d} = 29,97$ мм и $\sigma = 0,019$ мм. Определить число годных и бракованных деталей.

Решение. Интервал рассеяния размеров обрабатываемых валов относительно выборочного среднего (в предположении, что их распределение подчиняется закону Гаусса)

$$\Delta d = \pm k\sigma = \pm 3 \cdot 0,019 = \pm 0,057 \text{ мм.}$$

Из расположения поля рассеяния фактических размеров валов по отношению к полю допуска очевидно, что часть размеров валов (область размеров F_2) будет выходить за допустимый наибольший размер (рис. 7.1).

Вся площадь под кривой распределения (полагаем, что она подчиняется закону Гаусса) равна 1, т.е. половина ее равна 0,5. Тогда

$$F_2 = 0,5 - F_1 = 0,5 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-\frac{z^2}{2}} dz = 0,5 - \Phi(z), \quad (7.4)$$

где $\Phi(z)$ — функция Лапласа (прил. 52).

Величина $z = \Delta / \sigma$ в рассматриваемом случае

$$z = \frac{\Delta}{\sigma} = \frac{d_{\text{нб}} - \bar{d}}{\sigma} = \frac{30 - 29,97}{0,019} = 1,58. \quad (7.5)$$

Тогда $\Phi(z) = \Phi(1,58) = 0,44$ и $F_2 = 0,5 - \Phi(1,58) = 0,5 - 0,44 = 0,06$, т.е. 6% деталей (16 шт.) будут бракованными, брак исправим.

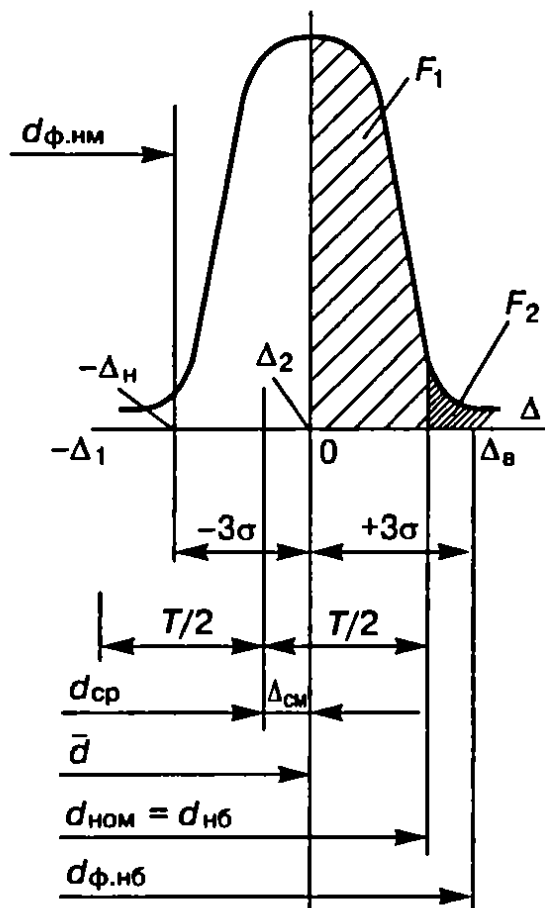


Рис. 7.1. Распределение размеров валов (к задачам 7.13 и 7.14)

Задача 7.14. Определить количество годных деталей исправного и неисправного брака при обработке на токарном полуавтомате партии валов 450 шт. диаметром $\text{Ø}40_{-0,16}$ мм, если среднее квадратическое отклонение σ и величина смещения $\Delta_{\text{см}} = \bar{d} - d_{\text{ср}}$ (см. рис. 7.1), вычисленные по результатам измерений пробных валов, имеют значения, указанные в табл. 7.5.

Таблица 7.5

Исходные данные к задаче 7.14

Вариант	Среднее квадратическое отклонение σ , мм	Величина смещения $\Delta_{\text{см}}$, мм
1	0,03	-0,02
2	0,03	+0,02
3	0,04	-0,02
4	0,04	0
5	0,04	+0,02

Задача 7.15. Определить количество годных деталей исправного и неисправного брака при растачивании отверстий диамет-

ром $\varnothing 130^{+0,1}$ мм в партии корпусных деталей 200 шт., если среднее квадратическое отклонение по результатам измерения пробных деталей составило $\sigma = 0,026$ мм и смещения кривой распределения размеров относительно середины поля допуска не происходит.

Задача 7.16. Рассчитать вероятный процент брака по эксцентриситету R между двумя шейками ступенчатого валика, если допуск на биение равен 0,08 мм, а среднее квадратическое отклонение эксцентриситета $\sigma_R = 0,0126$ мм.

Решение. Распределение таких положительных величин, как эксцентриситет, биение, разностенность, непараллельность, неперпендикулярность, овальность, конусообразность и некоторых других, характеризующихся их абсолютными значениями (т.е. без учета знака), подчиняется закону распределения эксцентриситета (закону Релея).

Распределение по закону Релея формируется, в частности, тогда, когда случайная величина R является радиус-вектором при двумерном гауссовом распределении, т.е. если она представляет собой геометрическую сумму двух случайных величин x и y :

$$R = \sqrt{x^2 + y^2},$$

каждая из которых подчиняется закону Гаусса с параметрами

$$\bar{x} = \bar{y} = \bar{R} = 0; \quad \sigma_x = \sigma_y = \sigma_0.$$

Закон распределения Релея однопараметрический, и уравнение его кривой распределения имеет вид

$$f(R) = \frac{R^2}{\sigma_0^2} e^{-\frac{R^2}{2\sigma_0^2}}. \quad (7.6)$$

При $R = 0$ также и $y = 0$, т.е. начало кривой распределения эксцентриситета совпадает с началом координат. Для восходящей ветви характерен крутой подъем. Нисходящая ветвь этой кривой асимптотически приближается к оси абсцисс.

Среднее арифметическое \bar{R} переменной случайной величины (эксцентриситета, разностенности и др.), ее среднее квадратическое отклонение σ_R и среднее квадратическое отклонение σ_0 значений координат x и y конца радиус-вектора R связаны между собой следующими соотношениями:

$$\sigma_0 = \sigma_R / 0,655; \quad \bar{R} = 1,92; \quad \sigma_R = 1,253\sigma_0. \quad (7.7)$$

Фактическое поле рассеяния значений переменной величины радиус-вектора R (эксцентриситета, разностенности, непараллельности и др.) находят из выражения

$$\omega = 5,252\sigma_R = 3,44\sigma_0. \quad (7.8)$$

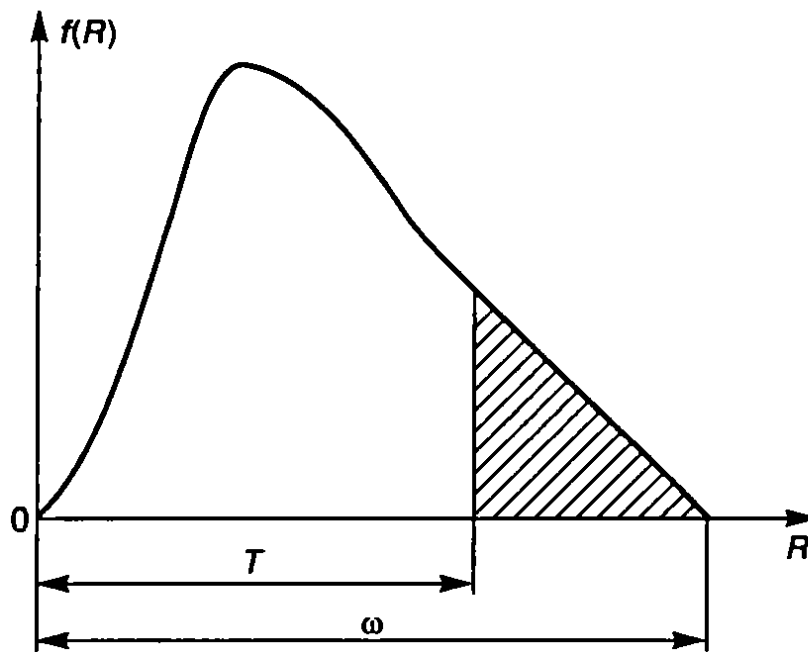


Рис. 7.2. Количество вероятного брака (заштрихованная площадь) при распределении размеров по закону Релея

Если $\omega > T$, т.е. фактическое поле рассеяния превосходит поле допуска, то возможно появление бракованных заготовок (рис. 7.2).

Площадь F , ограниченную кривой распределения, находят по интегральному закону распределения эксцентриситета

$$F = \frac{1}{\sigma_0^2} \int_0^R R e^{-\frac{R^2}{2\sigma_0^2}} dR, \quad (7.9)$$

который после обычной подстановки величин

$$t = x_0 / \sigma = R / \sigma_0 = 0,655R / \sigma_R$$

принимает нормированный вид

$$\Phi(t) = \int_0^t t e^{-\frac{t^2}{2}} dt \quad (7.10)$$

и табулируется аналогично функции Лапласа (см. прил. 50).

Фактическое поле рассеяния значений эксцентриситета в соответствии с условием задачи

$$\omega = 5,252\sigma_R = 5,252 \cdot 0,0126 = 0,0662 \text{ мм.}$$

Допуск на эксцентриситет, равный половине допуска на биение ($T_R = 0,04$ мм), меньше фактического поля рассеяния ($T_R < \omega$), поэтому вероятно возникновение брака. При $t = \frac{0,655T_R}{\sigma_R} = \frac{0,655 \cdot 0,04}{0,0126} = 2,08$ и в со-

ответствии с прил. 50 функция $\Phi(t) = 0,8851$, т.е. количество годных заготовок составляет 88,51%, а количество бракованных — 11,49%.

Задача 7.17. Рассчитать вероятный процент брака по эксцентриситету R между двумя шейками ступенчатого вала, если допуск на биение T_R , среднее квадратическое отклонение эксцентриситета σ_R , возможное смещение начала кривой распределения относительно оси симметрии одной из них $\Delta_{см}$ (табл. 7.6).

Таблица 7.6

Исходные данные к задаче 7.17

Вариант	Допуск на биение T_R , мм	Среднее квадратическое отклонение σ_R , мм	Величина смещения $\Delta_{см}$, мм
1	0,04	0,08	0,02
2	0,06	0,08	0,00
3	0,08	0,10	0,02
4	0,10	0,10	0,00
5	0,12	0,12	0,02

Задача 7.18. В процессе шлифования плоских деталей извлечено 24 выборки объемом $n = 4$ с интервалом в 20 мин. По результатам измерения параметра шероховатости $R_{таx}$ найдены его средние значения $\bar{R}_{таx}$ и фактические поля рассеяния (размах) ω (табл. 7.7). Построить контрольные карты средних арифметических

Таблица 7.7

Измерение средних значений параметра шероховатости $R_{таx}$ и фактических полей его рассеяния ω при шлифовании плоских заготовок (к задачам 7.18 и 7.19)

Номер выборки	$\bar{R}_{таx}$ мкм	ω , мкм	Номер выборки	$\bar{R}_{таx}$ мкм	ω , мкм	Номер выборки	$\bar{R}_{таx}$ мкм	ω , мкм
1	10,03	0,16	9	10,04	0,27	17	10,08	0,24
2	10,07	0,28	10	9,2	0,41	18	10,02	0,02
3	10,05	0,14	11	9,95	0,20	19	10,01	0,18
4	10,05	0,35	12	9,98	0,16	20	9,99	0,08
5	9,98	0,18	13	10,02	0,09	21	10,03	0,25
6	9,88	0,28	14	10,00	0,05	22	9,98	0,17
7	10,01	0,22	15	9,98	0,25	23	10,06	0,31
8	9,99	0,10	16	9,94	0,08	24	10,02	0,28

ких значений и размаха. Рассчитать границы регулирования, если рассматриваемый процесс шлифования характеризуется средним квадратическим отклонением $\sigma = 0,1$ мкм.

Задача 7.19. По данным задачи 7.18 определить моменты правки шлифовального круга, предполагая, что изменение высотного параметра шероховатости связано с износом рабочей поверхности шлифовального круга.

7.2. Расчет суммарной погрешности обработки

Все погрешности, определяющие точность обработки деталей машин на металлорежущих станках, могут быть разделены на три категории:

- 1) погрешности установки заготовок ϵ_y ;
- 2) погрешности настройки станка Δ_n ;
- 3) погрешности на стадии процесса обработки, которые вызываются:
 - а) размерным износом режущих инструментов — $\Delta_{и}$;
 - б) упругими деформациями технологической системы под влиянием силы резания — Δ_y ;
 - в) геометрическими неточностями станка — $\Sigma\Delta_{ст}$;
 - г) температурными деформациями технологической системы — $\Sigma\Delta_T$.

При обработке на станках с ЧПУ дополнительно возникают погрешности позиционирования элементов системы и отработки программ управления.

Расчет точности необходим в основном для операций чистовой обработки, выполняемых с допуском по 6—11-му квалитетам.

Суммарные погрешности обработки деталей на настроенных станках определяют по уравнениям:

для диаметральных размеров

$$\Delta_{\Sigma} = 2\sqrt{\Delta_y^2 + \Delta_n^2 + (1,73\Delta_{и})^2 + (1,73\Sigma\Delta_{ст})^2 + (1,73\Sigma\Delta_T)^2}; \quad (7.11)$$

для линейных размеров

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{\epsilon_y^2 + \Delta_y^2 + \Delta_n^2 + (1,73\Delta_{и})^2 + (1,73\Sigma\Delta_{ст})^2 + (1,73\Sigma\Delta_T)^2}. \quad (7.12)$$

Расчет погрешности диаметральных размеров при однорезцовом точении может быть выполнен по методике, изложенной в [22].

После определения суммарной погрешности Δ_{Σ} проверяется возможность обработки без брака:

$$\Delta_{\Sigma} \leq T_d, \quad (7.13)$$

где T_d — допуск на операционный размер.

В случае несоблюдения этого условия необходимо предложить конкретные мероприятия по снижению Δ_{Σ} .

Погрешность обработки на фрезерных станках рассчитывается с учетом погрешности установки ϵ_y , которая может быть определена по [22] или прил. 15—18.

При обработке плоскостей на фрезерных станках погрешность Δ_y , вызванная упругими деформациями технологической системы, зависит в основном от колебания величины припуска и податливости системы «шпиндель — стол». В связи с тем что подача при обработке осуществляется столом станка, податливость системы W не изменяется при изменении относительного положения заготовки и фрезы (т.е. $W = \text{const}$). В то же время податливость фрезерных оправок и заготовок при чистовой обработке сравнительно мала. Поэтому податливость технологической системы W при расчетах принимается постоянной и равной податливости системы «шпиндель — стол» $W_{ш-с}$, величину которой можно определить, например, по [22] или прил. 53.

Максимальное ($P_{z \max}$) и минимальное ($P_{z \min}$) касательные составляющие усилия фрезерования определяются по [23] при максимально и минимально возможных глубинах резания t , ширине B и принятых условиях фрезерования.

Суммарная погрешность $\Sigma \Delta_{\text{ст}}$, вызванная геометрическими неточностями станка, может быть определена по [22] или прил. 55. Погрешность $\Delta_{\text{из}}$, вызванная размерным износом фрез, найдена по [22] или прил. 56. В связи с прерывистым характером процесса резания при фрезеровании величина *относительного износа* больше, чем при точении; ее определяют по уравнению

$$u_{\text{о фр}} = \left(1 + \frac{100}{B}\right) u_{\text{о}}, \quad (7.14)$$

где B — ширина фрезерования, мм;

$u_{\text{о}}$ — относительный износ, мкм/км.

Для твердосплавных фрез $u_{\text{о}}$ выбирается по [22] или прил. 56; для быстрорежущих фрез $u_{\text{о}}$ принимают равным 15...20 мкм/км.

Длина пути резания $L_{т.фр}$, км, партии деталей:
при торцовом фрезеровании

$$L_{т.фр} = \frac{l_d B \cdot N}{S_{пр} \cdot 10^6}; \quad (7.15)$$

при цилиндрическом фрезеровании

$$L_{ц.фр} = \frac{\pi D_{фр} l_d N}{S_{пр} \cdot 10^6}, \quad (7.16)$$

где l_d, B — длина и ширина обрабатываемой поверхности, мм;
 N — число деталей в обрабатываемой партии, шт.;
 $S_{пр}$ — продольная подача инструмента или детали, мм/об;
 $D_{фр}$ — диаметр фрезы, мм.

Погрешности Δ_n и Δ_t определяются так же, как при обработке на токарных станках.

Методика расчета элементарных и суммарной погрешностей на станках с ЧПУ принципиально не отличается от методики расчета точности обработки на станках обычного типа. Однако суммарная погрешность состоит из большего числа элементарных погрешностей. К дополнительным погрешностям, как известно, можно отнести:

$\Delta_{п.с}$ — погрешность позиционирования суппорта; по величине она может быть принята равной двум дискретам привода подач по соответствующей координате;

$\Delta_{п.р}$ — погрешность позиционирования резцедержателя (инструментальной головки или блока); в современных станках с ЧПУ она не превышает 6...8 мкм;

$\Delta_{кор}$ — погрешность отработки коррекции (в случае работы с корректорами), численно равная двум дискретам привода подач по соответствующей координате.

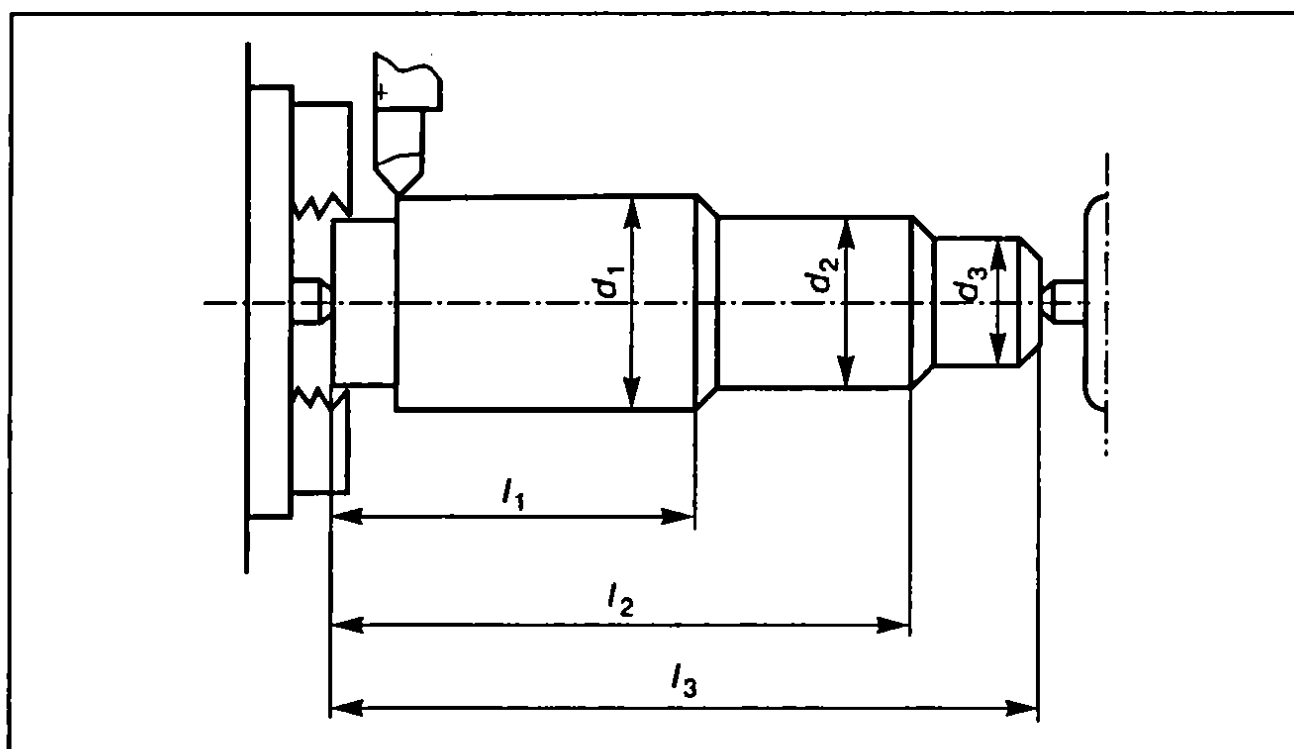
Вместе с тем при работе с корректором из расчета Δ_z можно исключить систематическую погрешность от размерного износа инструмента Δ_n (так как в программу можно ввести периодическую коррекцию положения инструмента), а из расчета погрешности размерной настройки Δ_n — составляющую $\Delta_{рег}$ (так как эта составляющая учитывается погрешностью коррекции $\Delta_{кор}$).

В связи с более жесткой конструкцией податливость станков с ЧПУ может быть принята в 2...4 раза меньшей, чем у аналогичных станков с ручным управлением, т.е. $W_{ст.чпу} = 0,33W_{ст.руч.упр}$.

Задача 7.20. Ступени d_1 , d_2 , d_3 вала (табл. 7.8) обрабатываются чистовым точением в центрах гидрокопировального станка модели 1Н713 с допуском $IT10$. Определить для варианта 1 суммарную погрешность обработки ступени d_2 . Заготовки вала из стали 45 на предшествующей операции обработаны черновым точением по $IT13$. Условия обработки: резец с пластиной из твердого сплава Т15К6 имеет параметры: $\varphi = 45^\circ$, $\varphi_1 = 10^\circ$; минимальный припуск — 0,5 мм на сторону, подача $S = 0,15$ мм/об; скорость резания $V = 130$ м/мин.

Таблица 7.8

Исходные данные к задачам 7.20 и 7.21



Ва- риант	Размеры, мм						Предел прочно- сти ма- териала детали σ_B , МПа	При- пуск на обра- ботку Z_{min} , мм	Число загото- вок в партии N , шт.
	d_1	d_2	d_3	l_1	l_2	l_3			
1	40	30	25	100	150	225	750	0,5	30
2	100	85	75	100	250	325	1100	1,0	15
3	120	90	65	120	300	450	750	1,0	10
4	80	75	50	150	280	400	750	0,8	20
5	60	50	45	80	180	250	1100	0,6	25
6	50	45	35	100	150	200	750	0,6	30

Решение. 1. Определим величину погрешности $\Delta_{и}$ (на радиус), вызванную размерным износом резца, по [22]:

$$\Delta_{и} = \frac{L+L_0}{1000} u_0 = \frac{4631+1000}{1000} \cdot 6 = 33,8 \text{ мкм.} \quad (7.17)$$

Здесь L — длина пути резания при обработке партии N деталей:

$$\begin{aligned} L &= \frac{\pi[d_1 l_1 + d_2(l_2 - l_1) + d_3(l_3 - l_2)]N}{1000S} = \\ &= \frac{\pi(40 \cdot 100 + 30 \cdot 50 + 25 \cdot 75) \cdot 30}{1000 \cdot 0,15} = 4631 \text{ м.} \end{aligned}$$

Дополнительный путь резания $L_0 = 1000$ м соответствует начальному износу вершины резца в период приработки. Для сплава Т15К6 относительный износ $u_0 = 6$ мкм/км (см. [22] или прил. 56).

2. Определим колебание отжатий системы Δ_y вследствие изменения силы P_y из-за непостоянных глубины резания и податливости системы при обработке. Согласно [22]

$$\Delta_y = W_{\max} P_{y \max} - W_{\min} P_{y \min}, \quad (7.18)$$

где W_{\max} , W_{\min} — наибольшая и наименьшая податливость системы, мкм/кН;

$P_{y \max}$, $P_{y \min}$ — наибольшее и наименьшее значения составляющей силы резания, совпадающей с направлением выдерживаемого размера, кН.

Для станка 1Н713 нормальной точности наибольшее и наименьшее допустимые перемещения продольного суппорта под нагрузкой 16 кН составляют соответственно 450 и 320 мкм ([22] или прил. 53). При установке вала в центрах минимальная податливость системы будет возможна при положении резца в конце обработки, т.е. у передней бабки станка. Исходя из этого можно принять $W_{\min} = 320/16 = 20$ мкм/кН. Приблизительно можно считать, что максимальную податливость система имеет при расположении резца посередине вала, когда его прогиб под действием усилия P_y достигает наибольшей величины. Поэтому

$$W_{\max} = W_{\text{ст. max}} + W_{\text{заг. max}},$$

где $W_{\text{ст. max}}$ — наибольшая податливость станка ($W_{\text{ст. max}} = (320 + 450)/(2 \cdot 16) = 24$ мкм/кН);

$W_{\text{заг. max}}$ — наибольшая податливость заготовки.

Вал в центрах можно представить как балку на двух опорах, нагруженную сосредоточенной силой, а наибольший прогиб в середине вала

$$u_{д \max} = \frac{P_y l_d^3}{48EJ}, \quad (7.19)$$

где l_d — длина вала;

E — модуль упругости материала;

$J = 0,05d_{\text{пр}}^4$ — момент инерции поперечного сечения вала ($d_{\text{пр}}$ — приведенный диаметр вала).

Для гладких валов $d_{\text{пр}} = d_{\text{вала}}$; для ступенчатых валов с односторонним уменьшением диаметров ступеней

$$d_{\text{пр}} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i l_i}{\sum_{i=1}^n l_i}; \quad (7.20)$$

для валов с двусторонним уменьшением диаметров ступеней

$$d_{\text{пр}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n d_i^2 l_i}{\sum_{i=1}^n l_i}}. \quad (7.21)$$

Имея в виду, что $W = y/P_y$, после соответствующих преобразований получим выражения для величины максимальной податливости заготовки. При установке заготовки с поджатием задним центром

$$W_{\text{заг.мах}} = \frac{2}{d_{\text{пр}}} \left(\frac{l_{\text{д}}}{d_{\text{пр}}} \right)^3; \quad (7.22)$$

при консольной установке детали в патроне

$$W_{\text{заг.мах}} = \frac{32}{d_{\text{пр}}} \left(\frac{l_{\text{д}}}{d_{\text{пр}}} \right)^3. \quad (7.23)$$

Приведенный диаметр обрабатываемой заготовки

$$d_{\text{пр}} = \frac{40 \cdot 100 + 30 \cdot 50 + 25 \cdot 75}{225} = 32,8 \text{ мм},$$

а величина наибольшей податливости заготовки

$$W_{\text{заг.мах}} = \frac{2}{32,8} \left(\frac{225}{32,8} \right)^3 = 20 \text{ мкм/кН}.$$

Тогда максимальная податливость технологической системы

$$W_{\text{мах}} = 24 + 20 = 44 \text{ мкм/кН}.$$

Наибольшая $P_{y \text{ мах}}$ и наименьшая $P_{y \text{ мин}}$ нормальные составляющие усилия резания определяются по формуле

$$P_y = C_p f^x S^y V^n.$$

Значения коэффициента C_p и показателей степени даны в прил. 54. Исходя из условий задачи, на предшествующей операции (черновом точении) заготовка обработана с допуском по IT13, т.е. возможно колебание припуска на величину $\frac{1}{2}(T_{IT13} - T_{IT10})$, что для диаметра 32,8 мм составит $\frac{1}{2}(0,39 - 0,1) = 0,15$ мм, а колебание глубины резания:

$$t_{\min} = 0,5 \text{ мм}; \quad t_{\max} = 0,5 + 0,15 = 0,65 \text{ мм.}$$

Тогда

$$P_{y \max} = 2,43 \cdot 0,65^{0,9} \cdot 0,15^{0,6} \cdot 130^{-0,3} = 0,123 \text{ кН};$$

$$P_{y \min} = 2,43 \cdot 0,5^{0,9} \cdot 0,15^{0,6} \cdot 130^{-0,3} = 0,097 \text{ кН.}$$

Колебание обрабатываемого размера вследствие упругих деформаций

$$\Delta_y = 44 \cdot 0,123 - 20 \cdot 0,097 = 3,5 \text{ мкм.}$$

3. Определим погрешность $\Sigma \Delta_{\text{ст}}$, вызванную геометрическими неточностями станка. Согласно [22] или прил. 55

$$\Sigma \Delta_{\text{ст}} = \frac{Cl}{L},$$

где C — допустимое отклонение от параллельности оси шпинделя относительно направляющих станины в плоскости выдерживаемого размера на длине L ;

l — длина обрабатываемой поверхности.

Для токарных станков нормальной точности при наибольшем диаметре обрабатываемой поверхности до 250 мм допустимое отклонение $C = 20$ мкм на длине $L = 300$ мм (прил. 55). При длине обработки $l = 50$ мм

$$\Sigma \Delta_{\text{ст}} = \frac{20 \cdot 50}{300} = 3,3 \text{ мкм.}$$

4. В предположении, что настройка резца на выполняемый размер производится по эталону с контролем положения резца с помощью металлического щупа, определим погрешность настройки в соответствии с [22]:

$$\Delta_H = \sqrt{(K_p \Delta_p)^2 + \left(K_n \frac{\Delta_{\text{изм}}}{2}\right)^2}, \quad (7.24)$$

где Δ_p — погрешность регулирования положения резца;

$\Delta_{\text{изм}}$ — погрешность измерения размера детали;

$K_p = 1,73$ и $K_n = 1,0$ — коэффициенты, учитывающие отклонения величин Δ_p и $\Delta_{\text{изм}}$ от нормального закона распределения.

Для заданных условий обработки [22] $\Delta_p = 10$ мкм и $\Delta_{изм} = 15$ мкм при измерении $d_2 = 30 \pm 10$ мм. Тогда погрешность настройки

$$\Delta_n = \sqrt{(1,73 \cdot 10)^2 + \left(\frac{1}{2} \cdot 15\right)^2} = 19 \text{ мкм.}$$

5. Определим температурные деформации технологической системы, приняв их равными 15% от суммы остальных погрешностей [22]:

$$\sum \Delta_T = 0,15(33,8 + 3,5 + 3,3 + 19) = 9 \text{ мкм.}$$

6. Определим суммарную погрешность обработки по уравнению (7.11):

$$\Delta_{\Sigma} = 2\sqrt{3,5^2 + 19^2 + (1,73 \cdot 33,8)^2 + (1,73 \cdot 3,3)^2 + (1,73 \cdot 9)^2} = 127 \text{ мкм;}$$

она превышает заданную величину допуска для $d = 30$ мм ($T_d = 84$ мкм).

В случае когда чистовое точение является операцией, предшествующей дальнейшему шлифованию поверхности $\varnothing 30$ мм, превышением поля рассеяния в сравнении с полем допуска операционного размера чистового точения можно пренебречь, так как это превышение вызовет только колебание припуска на шлифование в пределах $\pm 0,011$ мм, т.е. $\pm 3\%$. Если же операция чистового точения является окончательной, обязательно требуется выполнение условия работы без брака, т.е. обеспечение справедливости неравенства

$$\Delta_{\Sigma} \leq ITd_2.$$

Анализ элементарных погрешностей показывает, что наиболее действенным мероприятием для уменьшения суммарной погрешности размера d_2 является снижение погрешности от размерного износа резца $\Delta_{из}$. Этого можно достигнуть:

1) применением более износостойкого твердого сплава (например, вместо Т15К6 применить сплав Т30К4, имеющий почти в 2 раза меньший относительный износ) или соответствующим снижением режимов резания при использовании сплава Т15К6;

2) уменьшением размера партии деталей, обрабатываемых за межнастроечный период (сокращение длины пути резания);

3) использованием автоподналадчиков, позволяющих периодически или непрерывно корректировать положение вершины резца при его износе.

Задача 7.21. Определить суммарную погрешность обработки ступени d_2 вала (см. табл. 7.8) для вариантов 2—6 после чистового точения на гидрокопировальном станке при установке в центрах. Остальные исходные данные принять по условиям задачи 7.20.

Задача 7.22. После какого числа обработанных заготовок необходимо заменить зенкер с пластинками из твердого сплава Т5К10 вследствие его износа при обработке отверстий $d_{\text{отв}} = 40H10$, длиной $l = 60$ мм в заготовках из легированной стали ($\sigma_B = 1100$ МПа)? Допустимый износ зенкера не должен превышать $0,4T_d$; подача при зенкероании $S = 0,8$ мм/об.

Решение. Погрешность обработки, вызванную износом инструмента, определим по уравнению [22]:

$$\Delta_{\text{и}} = u_{\text{н}} + u_{\text{о}} \frac{\pi d_{\text{отв}} l N}{10^6 S}, \quad (7.25)$$

где $u_{\text{н}}$ — начальный износ, мкм/км;
 $u_{\text{о}}$ — относительный износ, мкм/км;
 $d_{\text{отв}}, l$ — диаметр и длина обработки соответственно, мм;
 N — число обработанных поверхностей, шт.;
 S — подача инструмента, мм/об.

Принимая для упрощения $u_{\text{н}} = u_{\text{о}}$, получим

$$\Delta_{\text{и}} = u_{\text{о}} \left(1 + \frac{\pi d_{\text{отв}} l N}{10^6 S} \right).$$

Согласно [22] для заданных условий $u_{\text{о}} = 12$ мкм/км, $u_{\text{н}} = u_{\text{о}} = 12$ мкм/км.

Учитывая, что $IT10 = 0,1$ мм, а допустимый износ не должен превышать $0,4$ его величины, получим, что допустимый износ каждого из противоположных зубьев зенкера не должен превышать $\Delta_{\text{и}} = 0,1 \cdot 0,4/2 = 0,02$ мм. Из уравнения для $\Delta_{\text{и}}$ получим

$$N = \frac{(\Delta_{\text{и}} - u_{\text{о}}) S \cdot 10^6}{u_{\text{о}} \pi d_{\text{отв}} l} = \frac{(0,02 - 0,012) \cdot 0,8 \cdot 10^6}{0,012 \pi \cdot 40 \cdot 60} = 70,6, \quad (7.26)$$

т.е. замену зенкера необходимо производить после обработки 70 заготовок.

Задача 7.23. Определить величину конусности гладкого вала диаметром d и длиной l , вызванную размерным износом резца при чистовом точении с подачей S (табл. 7.9).

Задача 7.24. Определить величину конусности цилиндрической втулки, вызванную размерным износом резца при чистовом растачивании с подачей S отверстия диаметром d , длиной l (табл. 7.10).

Задача 7.25. Определить разницу значений диаметров первой и последней заготовок в партии, вызванную размерным износом резца при чистовом точении с подачей S гладких валов диаметром d и длиной l из углеродистой стали (табл. 7.11).

Исходные данные к задаче 7.23

Вариант	1	2	3	4	5
d , мм	50	80	100	120	150
l , мм	500	700	850	1000	1400
S , мм/об	0,1	0,15	0,15	0,2	0,2
Материал детали	Легированная сталь		Углеродистая сталь		Серый чугун
Материал инструмента	T15K6	T30K4	T30K4	T15K6	BK6

Таблица 7.10

Исходные данные к задаче 7.24

Вариант	1	2	3	4	5
d , мм	60	100	150	200	300
l , мм	200	300	400	500	700
S , мм/об	0,1	0,1	0,15	0,2	0,2
Материал детали	Легированная сталь		Закаленный чугун		Серый чугун
Материал инструмента	T15K6	T30K4	BK8	BK3	BK8

Таблица 7.11

Исходные данные к задаче 7.25

Вариант	1	2	3	4	5
d , мм	40	50	60	75	85
l , мм	200	300	350	400	500
S , мм/об	0,075	0,1	0,125	0,15	0,2
Материал инструмента	T15K6	T30K4	T15K6	T30K4	T30K4
Величина партии N , шт.	25	20	15	10	8

Задача 7.26. Через какое число обработанных заготовок следует производить поднастройку резца вследствие его износа при растачивании с подачей S отверстий диаметром d и длиной l в партии втулок из углеродистой стали, если допуск на диаметр отверстия ITd , а допустимый износ резца составляет $0,3ITd$ (табл. 7.12)?

Исходные данные к задаче 7.26

Вариант	1	2	3	4	5
d , мм	60	100	150	200	300
l , мм	200	300	400	500	700
ITd	H8	H9	H10	H7	H9
S , мм/об	0,075	0,075	0,15	0,075	0,15
Материал инструмента	T30K4	T30K4	T15K6	T30K4	T15K6

Задача 7.27. Через какое число обработанных заготовок необходимо производить смену разверток вследствие их износа при развертывании отверстий (диаметром d на длине l) в чугунных корпусах при допуске на отверстие H7 и допустимом износе развертки $0,5ITd$ (табл. 7.13)? Относительный износ для развертки принять равным $u_0 = 5$ мкм/км.

Таблица 7.13

Исходные данные к задаче 7.27

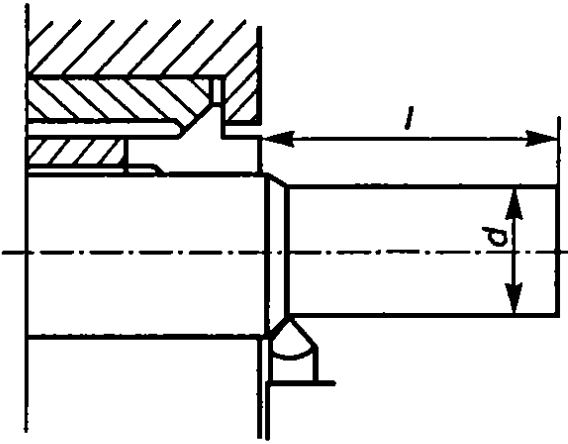
Вариант	1	2	3	4	5
d , мм	20	40	60	80	100
l , мм	30	60	80	80	100
S , мм/об	0,6	0,8	1,0	1,2	1,5
Число отверстий в корпусе	12	10	8	8	8

Задача 7.28. Определить погрешность Δ_y , возникающую в результате упругих деформаций технологической системы при чистовом точении партии гладких валов и консольной их установке в цанге или патроне (табл. 7.14). Точение производится твердосплавными резцами с $\varphi = 45^\circ$, $\varphi_1 = 10^\circ$ при $V = 100$ м/мин, $S = 0,20$ мм/об.

Задача 7.29. По данным задачи 7.28 определить погрешность обработки, вызванную геометрической неточностью станков $\Sigma\Delta_{ст}$.

Задача 7.30. Определить суммарную погрешность размера h при чистовом торцовом фрезеровании партии заготовок для варианта 1 (табл. 7.15).

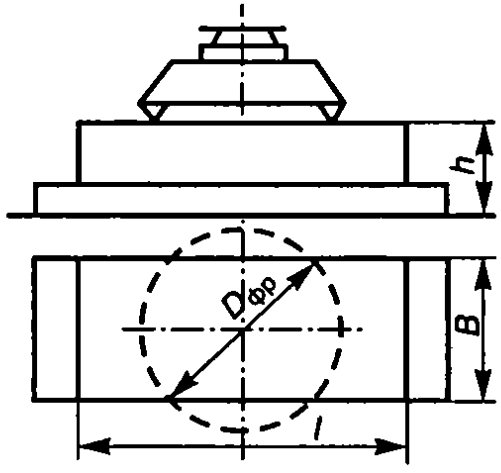
Исходные данные к задаче 7.28 и 7.29



Вариант	1	2	3	4	5
Предел прочности материала заготовки σ_B , МПа	750	1100	750	1100	1100
d , мм	20	25	30	35	35
l , мм	60	75	90	100	100
Тип станка	Токарный многошпиндельный горизонтальный автомат			Токарно-револьверный автомат	
Глубина резания t , мм	$0,15^{+0,15}$	$0,15^{+0,15}$	$0,2^{+0,15}$	$0,2^{+0,15}$	$0,2^{+0,15}$

Таблица 7.15

Исходные данные к задачам 7.30 и 7.31



Вариант	1	2	3	4	5	6
Высота h , мм	$45h10$	$32h11$	$55h11$	$100h11$	$150h11$	$200h11$
Ширина B , мм	100	100	150	150	200	250
Длина l , мм	300	250	250	300	350	450

Вариант	1	2	3	4	5	6
Материал детали	Сталь углеродистая, $\sigma_b = 750$ МПа		Чугун серый, HB 190	Чугун ковкий HB 315		Чугун серый HB 190
Размер партии N , шт.	40	50	35	35	30	20
$D_{фр}$, мм	150	160	200	250		320
Число зубьев фрезы z	12	10	12	14		18
Материал режущей части фрезы	T15K6		ВК8	ВК6		ВК8
Тип станка	6P12		Консольно-фрезерный			
Ширина стола станка, мм	320		200	250	320	400

Заготовки, предварительно обработанные по размеру с точностью $h13$, устанавливаются на опорные пластины приспособления с пневматическим зажимом. Глубина резания $t_{min} = 1,2$ мм, $S_z = 0,05$ мм/зуб и $V = 120$ м/мин. Настройку фрезы производят с контролем положения металлическим щупом.

Решение. 1. Определим погрешность установки заготовки ϵ_y . Для заданных условий по [22] или прил. 15–18 погрешность $\epsilon_y = 40$ мкм.

2. Рассчитаем погрешность настройки фрезы на размер h согласно [22]:

$$\Delta_H = \sqrt{(K_p \Delta_p)^2 + (K_{изм} \Delta_{изм})^2} = \sqrt{(1,73 \cdot 10)^2 + (1 \cdot 20)^2} = 26,5 \text{ мкм},$$

где Δ_p — погрешность регулирования фрезы по эталону с контролем металлическим щупом (принимается равной 10 мкм);

$\Delta_{изм}$ — допускаемая предельная погрешность измерения размера $45h10$ (см. [22] или прил. 57);

$K_p, K_{изм}$ — коэффициенты, учитывающие отклонения закона распределения величин Δ_p и $\Delta_{изм}$ от нормального.

3. Найдем размерный износ инструмента при торцовом фрезеровании, приняв во внимание уравнение (7.14):

$$\Delta_H = \left(1 + \frac{100}{B}\right) u_0 \frac{l_d}{10^6 S_z z} = \left(1 + \frac{100}{100}\right) \cdot 6 \cdot \frac{300}{10^6 \cdot 0,05 \cdot 12} = 24 \text{ мкм}, \quad (7.27)$$

где $S_{пр} = S_z z$ — продольная подача стола станка, мм/об;

u_0 — относительный износ при точении, мкм/км (см. [22] или прил. 56).

4. Определим погрешность Δ_y . Поле рассеяния размера $45h10$ под действием упругих деформаций зависит от колебания осевой составляющей силы резания P_x при изменении величины снимаемого припуска и податливости системы «шпиндель — стол». В соответствии с [22] для станка 6P12 (ширина стола 320 мм) податливость технологической системы может быть определена как

$$W = \frac{y}{P_x} = \frac{360}{8} = 45 \text{ мкм/кН.} \quad (7.28)$$

Приняв $P_x / P_z = 0,5$ согласно [23], определим

$$P_x = 0,5P_z = 0,5 \frac{C_p t^x S_z^y B_z^u}{D^q n^w}. \quad (7.29)$$

Учитывая, что $n = 1000V/(\pi D_{\text{фр}}) = 1000 \cdot 120/(\pi \cdot 150) = 255 \text{ мин}^{-1}$, и приняв коэффициенты и показатели степени по [23] или прил. 54, определяем $P_{x \text{ max}}$ и $P_{x \text{ min}}$:

$$P_{x \text{ min}} = \frac{8,25 \cdot 1,2^{1,0} \cdot 0,05^{0,75} \cdot 100^{1,1} \cdot 1,2}{150^{1,3} \cdot 255^{0,2}} = 0,46 \text{ кН.}$$

Так как показатель при t равен 1,0, то

$$P_{x \text{ max}} = \frac{t_{\text{max}}}{t_{\text{min}}} P_{x \text{ min}} = \frac{1,6}{1,2} \cdot 0,46 = 0,61 \text{ кН.} \quad (7.30)$$

Тогда

$$\Delta_y = W(P_{x \text{ max}} - P_{x \text{ min}}) = 45(0,61 - 0,46) = 6,8 \text{ мкм.}$$

5. Погрешность, вызванная геометрическими неточностями фрезерного станка нормальной точности, представляет собой отклонение от параллельности верхней поверхности основания на длине 300 мм и согласно [22] $\Sigma\Delta_{\text{ст}} = 25 \text{ мкм}$.

6. Погрешность $\Sigma\Delta_{\text{т}}$ от температурных деформаций системы принимаем в размере 10% от суммы остальных погрешностей:

$$\Sigma\Delta_{\text{т}} = 0,1(40 + 26,5 + 24 + 6,8 + 25) = 12,1 \text{ мкм.}$$

7. Суммарная погрешность согласно формуле (7.12):

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{40^2 + 6^2 + 26,5^2 + (1,73 \cdot 24)^2 + (1,73 \cdot 25)^2 + (1,73 \cdot 12,1)^2} = 72,1 \text{ мкм.}$$

Заданная точность обеспечивается, так как

$$IT10_{45} = 100 \text{ мкм} > \Delta_{\Sigma} = 72,1 \text{ мкм.}$$

Задача 7.31. На консольно-фрезерном станке производится чистовое торцовое фрезерование партии N заготовок (см. табл. 7.15). Заготовки, предварительно обработанные с точностью $h13$, устанавливаются на опорные пластины приспособления с пневматическим зажимом. Для условий обработки, соответствующих вари-

антам 2...6, определить суммарную погрешность размера h после выполнения операции при $V = 150$ м/мин и $S_z = 0,04$ мм/зуб. Настройка фрезы также производится по габариту с контролем положения металлическим щупом.

Задача 7.32. По условиям задачи 7.20 определить суммарную погрешность обработки ступени d_2 (см. табл. 7.8) при чистовом точении на станке с ЧПУ 1713Ф3.

Решение. 1. Определим погрешность Δ_n , которая может быть принята равной нулю, так как размерный износ компенсируется по программе коррекцией положения резца.

2. Рассчитаем погрешность Δ_y , вызванную упругими деформациями технологической системы. Расчет аналогичен расчету этой погрешности при обработке на гидрокопировальном станке (см. решение задачи 7.20) с учетом того, что податливость $W_{1713Ф3} = 0,33W_{1Н713}$:

$$W_{\max} = W_{\text{ст.}\max} + W_{\text{заг.}\max} = 0,33 \cdot 24 + 20 = 28 \text{ мкм/кН},$$

$$W_{\min} = 0,33 \cdot 20 = 7 \text{ мкм/кН}.$$

Приняв по результатам решения задачи 7.20 значения $P_{y \max} = 0,144$ кН и $P_{y \min} = 0,095$ кН, определяем

$$\Delta_y = 28 \cdot 0,144 - 7 \cdot 0,095 = 3,7 \text{ мкм}.$$

3. Погрешность, вызванную геометрическими неточностями станка, принимаем по результатам решения задачи 7.20: $\Sigma\Delta_{\text{ст}} = 3,3$ мкм.

4. Найдем погрешность настройки. С учетом того, что погрешность регулирования $\Delta_{\text{рег}} = 0$, можно принять, что Δ_n равна половине погрешности измерения диаметра $30h10$, т.е.

$$\Delta_n = 0,5\Delta_{\text{изм}} = 0,5 \cdot 15 = 7,5 \text{ мкм}.$$

5. Погрешность, вызываемую температурными деформациями, принимаем по результатам решения задачи 7.20: $\Sigma\Delta_{\text{т}} = 9$ мкм.

6. Для станка 1713Ф3 величина дискреты перемещений по оси X равна 5 мкм. В связи с этим принимаем:

погрешность позиционирования суппорта $\Delta_{\text{п.с}} = 10$ мкм;

погрешность позиционирования резцедержателя $\Delta_{\text{п.р}} = 7$ мкм;

погрешность отработки коррекции $\Delta_{\text{кор}} = 10$ мкм.

7. Определим суммарную погрешность, приняв $K_7 = K_8 = K_9 = 1$, так как погрешности $\Delta_{\text{п.с}}$, $\Delta_{\text{п.р}}$ и $\Delta_{\text{кор}}$ являются случайными величинами:

$$\begin{aligned} \Delta_{\Sigma} &= 2\sqrt{(K_2\Delta_y)^2 + (K_3\Delta_n)^2 + (K_5\Sigma\Delta_{\text{ст}})^2 + (K_6\Sigma\Delta_{\text{т}})^2 + (K_7\Delta_{\text{п.с}})^2 + (K_8\Delta_{\text{п.р}})^2 + (K_9\Delta_{\text{кор}})^2} = \\ &= 2\sqrt{3,7^2 + 7,5^2 + (1,73 \cdot 3,3)^2 + (1,73 \cdot 9)^2 + (1 \cdot 10)^2 + (1 \cdot 7)^2 + (1 \cdot 10)^2} = 50 \text{ мкм}. \end{aligned}$$

Таким образом, в основном за счет компенсации размерного износа резца путем коррекции его положения на станке 1713Ф3 по сравнению со станком 1Н713 обеспечивается суммарная погрешность обработки в 2,5 раза меньше.

Задача 7.33. По данным задачи 7.21 определить суммарную погрешность обработки ступени d_2 вала после чистового точения на станке с ЧПУ.

7.3. Обеспечение качества поверхности деталей машин

Наружный слой детали, имеющий макро- и микроотклонения от идеальной геометрической формы и измененные физико-химические свойства по сравнению со свойствами основного материала, называют *поверхностным слоем*. Он формируется при изготовлении и эксплуатации и по глубине может составлять от десятых долей микрометра до нескольких миллиметров. Поверхностный слой характеризуется геометрическими характеристиками и физико-химическими свойствами [4, 22].

Под геометрическими характеристиками понимают *макроотклонения, волнистость, шероховатость и субшероховатость* [4]. В данном параграфе из геометрических характеристик будет уделено внимание некоторым параметрам шероховатости по ГОСТ 2789—73.

Что касается физико-химических свойств поверхностного слоя, то для прикладных задач в настоящее время используют ряд параметров, оценивающих состояние металла и размеры различных зон. Это связано с преобладающим влиянием этой части поверхностного слоя на эксплуатационные показатели деталей машин, а также с тем, что суммарная толщина зон 1, 2 и 3, как правило, на несколько порядков меньше зоны 4 (рис. 7.3).

Параметры шероховатости поверхности для различных условий обработки можно определять по эмпирическим зависимостям, достоверность которых ограничивается областью факторного пространства, исследованного в процессе эксперимента.

Так, при чистовой обработке среднеуглеродистых сталей точением резцами марки Т15К6 среднее арифметическое отклонение профиля Ra можно определить по следующей формуле [22]:

$$Ra = 0,85 \frac{t^{0,31} S^{0,58} \varphi^{0,4} \varphi_1^{0,4}}{V^{0,06} r^{0,66} HB^{0,05}}, \text{ мкм}, \quad (7.31)$$

- где t — глубина резания, мм;
 S — подача, мм/об;
 φ, φ_1 — главный и вспомогательный углы в плане, град.;
 V — скорость резания, м/мин;
 r — радиус при вершине резца, мм;
 HB — твердость по Бринеллю.

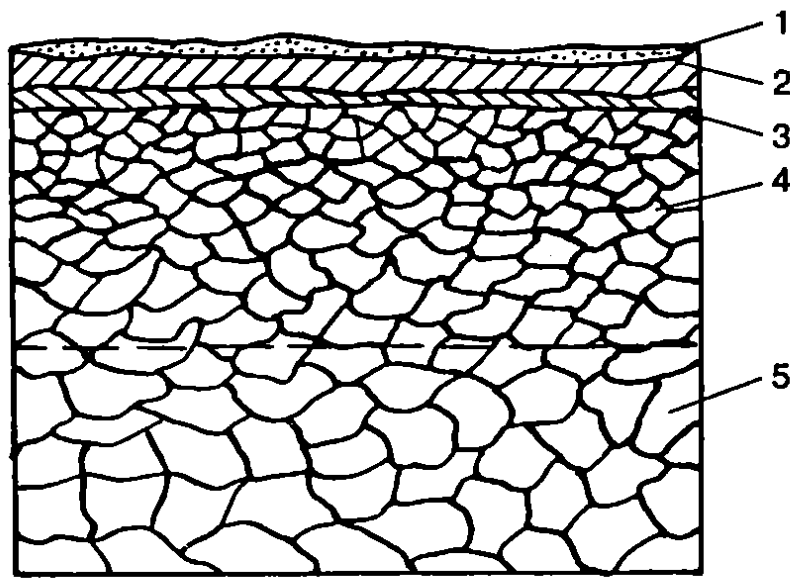


Рис. 7.3. Схема поверхностного слоя детали:
 1 — адсорбированная зона; 2 — зона оксидов; 3 — границная зона;
 4 — зона металла с измененной твердостью, структурой,
 фазовым и химическим составом; 5 — основной металл

При алмазном точении резцами из композита 01 закаленных сталей [4]

$$Ra = 0,16 \frac{Ra_{\text{пр}}^{0,037} S^{0,59} (90 + \gamma)^{0,66}}{V^{0,19} \rho_{\text{кр}}^{0,29} r^{0,09}}, \text{ мкм}, \quad (7.32)$$

где $Ra_{\text{пр}}$ — предварительная шероховатость, мкм;

γ — передний угол резца, град.;

$\rho_{\text{кр}}$ — радиус скругления главной режущей кромки, мм.

Приведенные зависимости позволяют прогнозировать ожидаемую шероховатость поверхности и определять элементы режима обработки и геометрические параметры инструментов по заданным значениям шероховатости.

Задача 7.34. Определить ожидаемую шероховатость поверхности при точении среднеуглеродистой стали твердостью $HB = 180$ резцом из Т15К6 с геометрическими параметрами: $\varphi = 60^\circ$, $\varphi_1 = 30^\circ$, $r = 0,8$ мм и режимами резания: $t = 1,2$ мм, $S = 0,12$ мм/об, $V = 80$ м/мин.

Решение. Подставляя исходные данные в зависимость (7.31), получим

$$Ra = 0,85 \frac{1,2^{0,31} \cdot 0,12^{0,58} \cdot 60^{0,4} \cdot 30^{0,4}}{80^{0,06} \cdot 0,8^{0,66} \cdot 180^{0,05}} \approx 3,65 \text{ мкм.}$$

Задача 7.35. Определить ожидаемую шероховатость поверхности при точении среднеуглеродистой стали резцом Т15К6 (табл. 7.16).

Исходные данные к задаче 7.35

Ва- риант	t , мм	S , мм/об	V , м/мин	φ , град.	φ_1 , град.	r , мм	$HВ$
1	0,5	0,12	100	60	25	1,5	180
2	0,5	0,12	120	60	25	1,5	210
3	0,5	0,12	120	60	35	1,5	210
4	0,5	0,08	120	60	35	1,5	210
5	0,8	0,08	120	60	35	1,5	210
6	1,5	0,08	120	50	35	2,0	210
7	1,5	0,08	150	50	35	2,0	160
8	1,5	0,08	150	50	30	2,0	160
9	1,5	0,18	150	50	30	2,0	160
10	0,5	0,18	150	50	30	2,0	160
11	1,0	0,18	150	75	30	0,5	160
12	1,0	0,18	80	75	30	0,5	140
13	1,0	0,18	80	75	25	0,5	140
14	1,0	0,10	80	75	25	0,5	140
15	1,2	0,10	80	75	25	0,5	140
16	0,8	0,10	80	45	25	1,2	140
17	0,8	0,10	140	45	25	1,2	200
18	0,8	0,10	140	45	35	1,2	200
19	0,8	0,16	140	45	35	1,2	200
20	1,5	0,16	140	45	35	1,2	200
21	1,2	0,16	140	70	35	1,8	200
22	1,2	0,16	60	70	35	1,8	190
23	1,2	0,16	60	70	30	1,8	190
24	1,2	0,14	60	70	30	1,8	190
25	0,5	0,14	60	70	30	1,8	190

Задача 7.36. Определить требуемую подачу при чистовом точении среднеуглеродистой стали резцами Т15К6 при условии обеспечения шероховатости поверхности $Ra = 3$ мкм. Условия обработки: $t = 1$ мм, $V = 100$ м/мин, $\varphi = 60^\circ$, $\varphi_1 = 30^\circ$, $r = 1$ мм, $HВ = 200$.

Решение. Из формулы (7.31) определим S :

$$S = \left(\frac{Ra \cdot V^{0,06} r^{0,66} HB^{0,05}}{0,85 t^{0,31} \varphi^{0,4} \varphi_1^{0,4}} \right)^{1,72}$$

Подставляя исходные данные, получим $S \approx 0,13$ мм/об.

Задача 7.37. Определить требуемую подачу при чистовом точении среднеуглеродистой стали резцами Т15К6 (табл. 7.17).

Таблица 7.17

Исходные данные к задаче 7.37

Вариант	Ra, мкм	t, мм	V, м/мин	φ , град.	φ_1 , град.	r, мм	HB
1	1,5	1,5	180	60	35	1,0	180
2	1,5	1,5	140	60	35	1,5	180
3	1,5	1,5	140	75	30	1,5	180
4	1,5	0,5	140	75	30	1,5	180
5	2,0	0,5	140	45	30	1,5	180
6	2,0	0,5	140	60	30	1,5	210
7	2,0	0,5	120	60	30	2,0	210
8	2,0	0,5	120	50	30	2,0	210
9	2,0	1,0	120	50	25	2,0	210
10	2,0	1,0	120	60	25	2,0	210
11	3,0	1,0	120	75	25	2,0	160
12	3,0	1,0	100	75	25	1,0	160
13	3,0	1,0	100	75	25	0,5	160
14	3,0	0,8	100	75	35	0,5	160
15	3,0	0,8	100	60	35	0,5	160
16	2,5	0,8	100	45	35	0,5	140
17	2,5	0,8	160	45	35	2,0	140
18	2,5	0,8	160	45	35	1,2	140
19	2,5	1,2	160	45	30	1,2	140
20	2,5	1,2	160	60	30	1,2	140
21	1,25	1,2	160	70	30	1,2	200
22	1,25	1,2	140	70	30	0,5	200
23	1,25	1,2	140	70	30	1,8	200
24	1,25	1,4	140	70	25	1,8	200
25	1,25	1,4	140	45	25	1,8	200

Задача 7.38. Установить требуемый радиус при вершине r резца Т15К6 при чистовом точении среднеуглеродистой стали твердостью $HV = 180$ (табл. 7.18).

Таблица 7.18

Исходные данные к задаче 7.38

Вариант	Ra , мкм	t , мм	V , м/мин	φ , град.	φ_1 , град.	S , мм/об
1	2,0	1,5	180	60	35	0,16
2	2,0	1,5	180	60	35	0,08
3	2,0	1,5	140	60	35	0,08
4	2,0	1,5	140	60	30	0,08
5	2,0	0,5	140	60	30	0,08
6	1,5	0,5	140	50	30	0,08
7	1,5	0,5	140	50	30	0,12
8	1,5	0,5	100	50	30	0,12
9	1,5	0,5	100	50	25	0,12
10	1,5	1,0	100	50	25	0,12
11	1,25	1,0	100	75	25	0,12
12	1,25	1,0	100	75	25	0,18
13	1,25	1,0	160	75	25	0,18
14	1,25	1,0	160	75	35	0,18
15	1,25	0,8	160	75	35	0,18
16	3,0	0,8	160	45	35	0,18
17	3,0	0,8	160	45	35	0,10
18	3,0	0,8	140	45	35	0,10
19	3,0	0,8	140	45	30	0,10
20	3,0	1,2	140	45	30	0,10
21	2,5	1,2	140	70	30	0,10
22	2,5	1,2	140	70	30	0,16
23	2,5	1,2	120	70	30	0,16
24	2,5	1,2	120	70	25	0,16
25	2,5	1,4	120	70	25	0,16

Задача 7.39. Определить ожидаемую шероховатость поверхности после тонкого точения закаленной стали 45 резцами из композита 01 (табл. 7.19). Предварительную шероховатость установить по соответствующему варианту из табл. 7.16.

Из физико-химических параметров наибольшее практическое применение нашли параметры, характеризующие наклеп поверх-

Исходные данные к задаче 7.39

Вариант	S, мм/об	V, м/мин	γ , град.	r, мм	$\rho_{кр1}$ мм
1	0,06	40	0	0,4	0,06
2	0,08	40	0	0,4	0,06
3	0,08	40	0	0,5	0,06
4	0,08	60	0	0,5	0,06
5	0,08	60	5	0,5	0,06
6	0,02	60	10	0,5	0,04
7	0,02	60	10	0,5	0,04
8	0,02	60	10	0,7	0,04
9	0,02	50	10	0,7	0,04
10	0,02	50	-5	0,7	0,04
11	0,04	50	-5	0,7	0,08
12	0,04	50	-5	0,4	0,08
13	0,04	50	-5	0,2	0,08
14	0,04	70	-5	0,2	0,08
15	0,04	70	5	0,2	0,08
16	0,06	70	5	0,2	0,02
17	0,06	70	5	0,7	0,02
18	0,06	70	5	0,1	0,02
19	0,06	80	5	0,1	0,02
20	0,06	80	-10	0,1	0,02
21	0,08	80	-10	0,1	0,05
22	0,08	80	-10	0,4	0,05
23	0,08	80	-10	0,8	0,05
24	0,08	40	-10	0,8	0,05
25	0,08	40	0	0,8	0,05

ностного слоя, так как они оказывают существенное влияние на многие эксплуатационные свойства. Наклеп поверхностного слоя оценивают, как правило, двумя количественными показателями: глубиной h_n (мкм) и степенью наклепа U_n (%), которая определяется как

$$U_n = \frac{H_{\mu 0} - H_{\mu \text{исх}}}{H_{\mu \text{исх}}} 100, \quad (7.33)$$

где $H_{\mu 0}$, $H_{\mu \text{исх}}$ — соответственно поверхностная и исходная микротвердость материала.

Характеризовать наклеп поверхностного слоя можно и более простым параметром — коэффициентом наклепа $k_H = H_{\mu 0}/H_{\mu \text{исх}}$, который связан со степенью наклепа соотношением

$$U_H = (k_H - 1) \cdot 100. \quad (7.34)$$

Рассчитывать указанные параметры можно с помощью как эмпирических, так и теоретических зависимостей.

Для расчета указанных параметров в случае обработки закаленных сталей различной твердости резцами из минералокерамики ВОК-60 и композита 01 могут быть использованы зависимости вида

$$Y = k_0 t^{k_1} S^{k_2} V^{k_3} r^{k_4}. \quad (7.35)$$

Значения коэффициентов даны в табл. 7.20 и 7.21.

Зависимость для расчета шероховатости поверхности при алмазном выглаживании

$$Ra = k_0 RZ_{\text{исх}}^{k_1} P^{k_2} R^{k_3} S^{k_4} V^{k_5}, \quad (7.36)$$

где $RZ_{\text{исх}}$ — шероховатость поверхности после предшествующей операции, мкм;

P — усилие выглаживания, Н;

R — радиус выглаживателя, мм;

S — подача, мм/об;

V — скорость резания, м/мин.

Значения коэффициентов приведены в табл. 7.22.

Таблица 7.20

Значения коэффициентов в формуле (7.35)

Обрабатываемый материал	Материал резца	Определяемый параметр	k_0	k_1	k_2	k_3	k_4
Сталь 45 HRC_3 40...44	ВОК-60	k_H	1,62	0,029	0,014	-0,044	0,032
		h_H	0,14	0,16	0,14	-0,091	0,22
	Композит 01	k_H	1,52	0,027	0,18	-0,041	0,028
		h_H	0,154	0,147	0,015	-0,11	0,26
Сталь 65Г HRC_3 62...64	ВОК-60	k_H	1,56	0,026	0,017	-0,038	0,029
		h_H	0,57	0,028	0,04	-0,044	0,11
	Композит 01	k_H	1,75	0,029	0,016	-0,04	0,031
		h_H	0,62	0,031	0,037	-0,048	0,121

Значения коэффициентов в формуле (7.35) для условий обработки различных материалов резцами из ВОК-60

Определяемый параметр	Обрабатываемый материал	k_0	k_1	k_2	k_3	k_4
k_n	Сталь 45 нормализованная	2,76	0,122	0,092	-0,084	0,081
	Сталь 45 закаленная (HRC_3 32...46)	1,58	0,029	0,014	-0,044	0,032
	Сталь 45 закаленная (HRC_3 52...54)	1,52	0,026	0,017	-0,038	0,029
	Чугун ВП4	1,41	0,031	0,020	-0,032	0,024
h_n	Сталь 45 нормализованная	0,165	0,149	0,151	-0,083	0,194
	Сталь 45 закаленная (HRC_3 32...46)	0,14	0,16	0,14	-0,091	0,22
	Сталь 45 закаленная (HRC_3 52...54)	0,057	0,058	0,04	-0,044	0,11
	Чугун ВП4	0,068	0,08	0,039	-0,048	0,068

Таблица 7.22

Значения коэффициентов в формуле (7.36)

Обрабатываемый материал	k_0	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5
Сталь ШХ15 термообработанная	0,85	0,74	-0,38	-0,32	0,14	0,052
Латунь	0,78	0,68	-0,26	-0,41	0,08	0,063

Рекомендуется принимать: $R_{z_{исх}} = 4...6$ мкм, $V = 40...60$ м/мин, $S = 0,06...0,08$ мм/об.

Зависимость для расчета параметров наклепа при круглом наружном шлифовании

$$Y = k_0 t^{k_1} S_{пр}^{k_2} V^{k_3} Z^{k_4}, \quad (7.37)$$

где t — глубина шлифования за рабочий ход, мм;

$S_{пр}$ — продольная подача, мм/мин;

V — скорость круга, м/с;

Z — средняя зернистость круга, мкм.

Значения коэффициентов приведены в табл. 7.23.

Рекомендуется принимать: $t = 0,003...0,005$ мм, $V = 30...40$ м/с, $S = 300...500$ мм/мин, $Z = 50...70$ мкм.

Таблица 7.23

Значения коэффициентов в формуле (7.37)

Обрабатываемый материал	Материал шлифовального круга	Определяемый параметр	k_0	k_1	k_2	k_3	k_4
Сталь 45 нормализованная	23А	k_n	2,39	0,2	0,09	-0,12	0,07
		h_n	0,07	0,13	0,092	-0,094	0,052
Сталь 45 HRC ₃ 40...44	23А	k_n	2,28	0,17	0,07	-0,1	0,05
		h_n	0,051	0,11	0,084	-0,081	0,044
Сталь 65Г HRC ₃ 62...64	АСК	k_n	2,09	0,15	0,069	-0,122	0,062
		h_n	0,062	0,15	0,082	-0,11	0,046

Задача 7.40. Определить степень и глубину наклепа при обработке тонким точением (табл. 7.24).

Задача 7.41. Определить предельно допустимую скорость тонкого точения закаленной стали 65Г по заданной степени наклепа U_n и условиям обработки (табл. 7.25).

При расчете параметров состояния поверхностного слоя после обработки пластическим деформированием используют зависимость для накатывания роликом [23]

$$P_n = 2h_n^2 \sigma_T m^2, \quad (7.38)$$

где P_n — усилие накатывания, Н, обеспечивающее глубину наклепа h_n , мм;

σ_T — предел текучести обрабатываемого материала, МПа;

m — коэффициент.

Коэффициент m рассчитывается по формуле

$$m = 1 + 0,07 \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R_n} + \frac{1}{R_d} \right)^{-1}, \quad (7.39)$$

где R — профильный радиус ролика, мм;

R_n — половина диаметра ролика, мм;

R_d — радиус обрабатываемой детали, мм.

Исходные данные к задаче 7.40

Ва- риант	Материал заготовки	Матери- ал инст- румента	t, мм	S, мм/об	V, м/мин	r, мм
1	Сталь 45 закаленная	ВОК-60	0,1	0,05	150	0,6
2	Сталь 45 закаленная	ВОК-60	0,1	0,05	180	0,6
3	Сталь 45 закаленная	ВОК-60	0,2	0,05	180	0,6
4	Сталь 45 закаленная	ВОК-60	0,2	0,16	180	0,6
5	Сталь 45 закаленная	Компо- зит 01	0,2	0,16	200	0,6
6	Сталь 65Г закаленная	Компо- зит 01	0,3	0,16	200	0,4
7	Сталь 65Г закаленная	Компо- зит 01	0,3	0,12	200	0,4
8	Сталь 65Г закаленная	Компо- зит 01	0,3	0,12	250	0,4
9	Сталь 65Г закаленная	Компо- зит 01	0,4	0,12	250	0,4
10	Сталь 65Г закаленная	ВОК-60	0,4	0,14	250	0,4
11	Сталь 45 закаленная	ВОК-60	0,4	0,14	120	0,8
12	Сталь 45 закаленная	ВОК-60	0,5	0,14	120	0,8
13	Сталь 45 закаленная	ВОК-60	0,5	0,10	120	0,8
14	Сталь 45 закаленная	ВОК-60	0,2	0,10	170	0,8
15	Сталь 45 закаленная	Компо- зит 01	0,2	0,10	170	0,8
16	Сталь 65Г закаленная	Компо- зит 01	0,2	0,08	170	1,0
17	Сталь 65Г закаленная	Компо- зит 01	0,4	0,08	220	1,0
18	Сталь 65Г закаленная	Компо- зит 01	0,4	0,13	220	1,0
19	Сталь 65Г закаленная	Компо- зит 01	0,4	0,13	190	1,0
20	Сталь 65Г закаленная	ВОК-60	0,4	0,09	190	1,0
21	Сталь 45 закаленная	ВОК-60	0,5	0,09	190	1,2
22	Сталь 45 закаленная	ВОК-60	0,5	0,09	160	1,2
23	Сталь 45 закаленная	ВОК-60	0,5	0,12	160	1,2
24	Сталь 45 закаленная	ВОК-60	0,3	0,12	160	1,2
25	Сталь 45 закаленная	Компо- зит 01	0,3	0,12	160	1,2

Исходные данные к задаче 7.41

Вариант	U_n , %	Материал инструмента	t , мм	S , мм/об	r , мм
1	10	ВОК-60	0,2	0,12	0,4
2	10	ВОК-60	0,3	0,12	0,4
3	15	ВОК-60	0,3	0,12	0,4
4	15	Композит 01	0,3	0,14	0,4
5	20	Композит 01	0,4	0,14	0,4
6	20	Композит 01	0,4	0,16	0,6
7	25	Композит 01	0,5	0,16	0,6
8	25	ВОК-60	0,5	0,16	0,6
9	20	ВОК-60	0,5	0,10	0,6
10	20	ВОК-60	0,1	0,10	0,6
11	15	ВОК-60	0,1	0,10	0,6
12	15	Композит 01	0,1	0,08	0,6
13	10	Композит 01	0,2	0,08	0,8
14	10	Композит 01	0,2	0,16	0,8
15	25	Композит 01	0,4	0,16	0,8
16	25	ВОК-60	0,4	0,16	0,8
17	15	ВОК-60	0,4	0,16	0,8
18	15	ВОК-60	0,5	0,16	0,8
19	20	ВОК-60	0,5	0,12	1,0
20	20	Композит 01	0,5	0,12	1,0
21	25	Композит 01	0,3	0,12	1,0
22	25	Композит 01	0,3	0,05	1,0
23	10	Композит 01	0,2	0,05	1,0
24	10	ВОК-60	0,2	0,05	1,0
25	10	ВОК-60	0,2	0,09	1,0

Из уравнения (7.38) по заданному усилию P_n определяют глубину наклепа.

При алмазном выглаживании оптимальное усилие, обеспечивающее максимальную степень наклепа, стабильность процесса и стойкость инструмента, рассчитывают по зависимости [23]

$$P_{\text{опт}} = 0,13HV \left(\frac{D \cdot R}{D + R} \right)^2, \quad (7.40)$$

где HV — твердость обрабатываемого материала по Виккерсу;
 D — диаметр обрабатываемой детали, мм;
 R — радиус выглаживателя, мм.

Задача 7.42. Определить усилия обкатывания роликом вала из нормализованной стали 45 ($\sigma_T = 400$ МПа) для получения заданной глубины наклепа h_n по условиям обработки (табл. 7.26).

Задача 7.43. Определить ожидаемую глубину наклепа при обкатывании латунного плунжера ($\sigma_T = 330$ МПа) для заданных условий обработки (табл. 7.27).

Задача 7.44. Рассчитать требуемое усилие при алмазном выглаживании детали из стали ШХ15, термообработанной до различной твердости для заданных условий (табл. 7.28).

Задача 7.45. По условию задачи 7.44 дополнительно определить шероховатость поверхности.

На формирование параметров состояния поверхностного слоя значительное влияние оказывает *технологическая наследственность*, под которой понимают явления частичного сохранения свойств объектов от предшествующих технологических операций к последующим. Перенос этих свойств у деталей машин называют *технологическим наследованием*.

Это явление прежде всего проявляется при изменении физико-механических свойств материалов под действием силовых и температурных факторов, сопровождающих любую технологическую операцию. Данное положение особенно важно учитывать при расчетах параметров состояния поверхностного слоя на финишных операциях технологических процессов.

Корректировку значений параметров [например: σ_T в формуле (7.38), или HV в формуле (7.40)] можно производить с помощью *коэффициента технологического наследования*, который применительно к физико-механическим параметрам с приемлемой для практических задач точностью можно считать равным коэффициенту наклепа k_n .

Другими словами, можно считать, что на финишной операции технологического процесса в качестве того или иного параметра следует принимать его табличное значение, умноженное на коэф-

Исходные данные к задаче 7.42

Ва- риант	Глубина наклепа h_n , мм	Профильный радиус ролика R , мм	Половина диаметра ролика R_n , мм	Радиус детали R_d , мм
1	0,20	10	20	30
2	0,20	10	20	40
3	0,20	10	25	40
4	0,20	15	25	40
5	0,30	15	25	40
6	0,30	15	25	50
7	0,30	15	30	50
8	0,30	20	30	50
9	0,15	20	30	50
10	0,15	20	30	60
11	0,15	20	20	60
12	0,15	18	20	60
13	0,10	18	20	60
14	0,10	18	20	45
15	0,10	18	25	45
16	0,10	16	25	45
17	0,40	16	25	45
18	0,40	16	25	35
19	0,40	16	30	35
20	0,40	12	30	35
21	0,35	12	30	35
22	0,35	12	30	55
23	0,35	12	40	55
24	0,35	10	40	55
25	0,20	10	40	55

коэффициент наклепа, полученный на предшествующей операции, — k_{ni-1} .

Формулы (7.38) и (7.40) примут вид

$$P_n = 2h_n^2 k_{ni-1} \sigma_T m^2, \quad (7.41)$$

$$P_{\text{опт}} = 0,13 k_{ni-1} \cdot HV \left(\frac{D \cdot R}{D + R} \right)^2. \quad (7.42)$$

Исходные данные к задаче 7.43

Ва- риант	$P, Н$	$R, мм$	$R_n, мм$	$R_d, мм$	Ва- риант	$P, Н$	$R, мм$	$R_n, мм$	$R_d, мм$
1	6000	20	30	30	13	9000	18	20	45
2	6000	20	30	35	14	9000	18	20	50
3	6000	20	40	35	15	9000	18	35	50
4	6000	15	40	35	16	9000	24	35	50
5	5000	15	40	35	17	10000	24	35	50
6	5000	15	40	40	18	10000	24	35	40
7	5000	15	50	40	19	10000	24	45	40
8	5000	10	50	40	20	10000	22	45	40
9	7000	10	50	40	21	8000	22	45	40
10	7000	10	50	45	22	8000	22	45	30
11	7000	10	20	45	23	8000	22	25	30
12	7000	18	20	45	24	8000	20	25	30

Таблица 7.28

Исходные данные к задаче 7.44

Ва- риант	Твердость материала HV	Диаметр детали $D, мм$	Радиус сферы $R, мм$	Ва- риант	Твердость материала HV	Диаметр детали $D, мм$	Радиус сферы $R, мм$
1	900	40	2,0	13	650	55	1,0
2	900	40	1,0	14	650	55	1,5
3	900	50	1,0	15	650	65	1,5
4	800	50	1,0	16	750	65	1,5
5	800	50	1,5	17	750	65	1,0
6	800	60	1,5	18	750	70	1,0
7	700	60	1,5	19	850	70	1,0
8	700	60	1,5	20	850	70	2,0
9	700	45	1,5	21	850	45	2,0
10	600	45	1,5	22	750	45	2,0
11	600	45	1,0	23	750	45	2,0
12	600	55	1,0	24	750	55	2,0

С помощью приведенных зависимостей можно рассчитать усилия при накатывании роликом и алмазном выглаживании с учетом изменения фактических значений σ_T и HV .

Задача 7.46. По условию задачи 7.42 сравнить требуемое усилие обкатывания роликом поверхности, предварительно обработанной:

- а) точением резцами из ВОК-60;
- б) шлифованием электрокорундом.

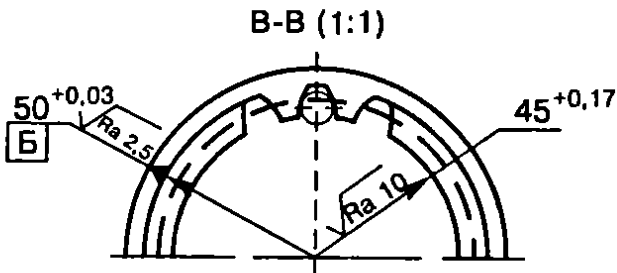
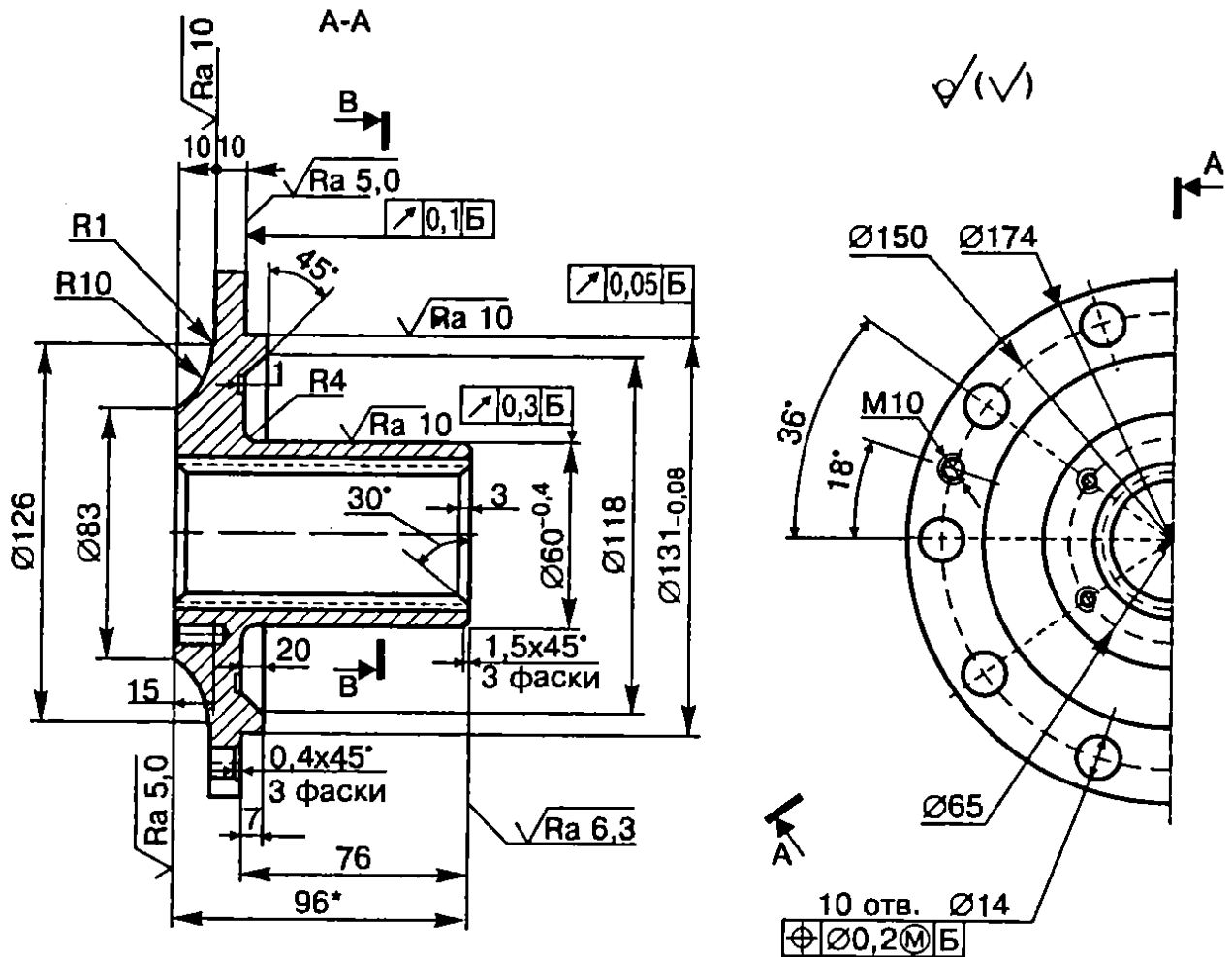
Задача 7.47. Рассчитать для заданных условий (табл. 7.29) оптимальное усилие алмазного выглаживания вала из закаленной стали 65Г (HRC_s , 62...64) при условии предварительной обработки:

- а) точением резцами из ВОК-60;
- б) точением резцами из композита 01;
- в) шлифованием электрокорундом 23А;
- г) шлифованием синтетическим алмазом АСК.

Таблица 7.29

Исходные данные к задаче 7.47

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Диаметр детали D , мм	40	45	50	55	60	55	50	45	40	50
Радиус сферы R , мм	1	1,5	2	1	1,5	2	1	1,5	2	1



Модуль	m	2,5
Число зубьев	z	20
Диаметр ролика	D_p	5,176
Размер по роликам	M_q	38,9

1. HB 241...269

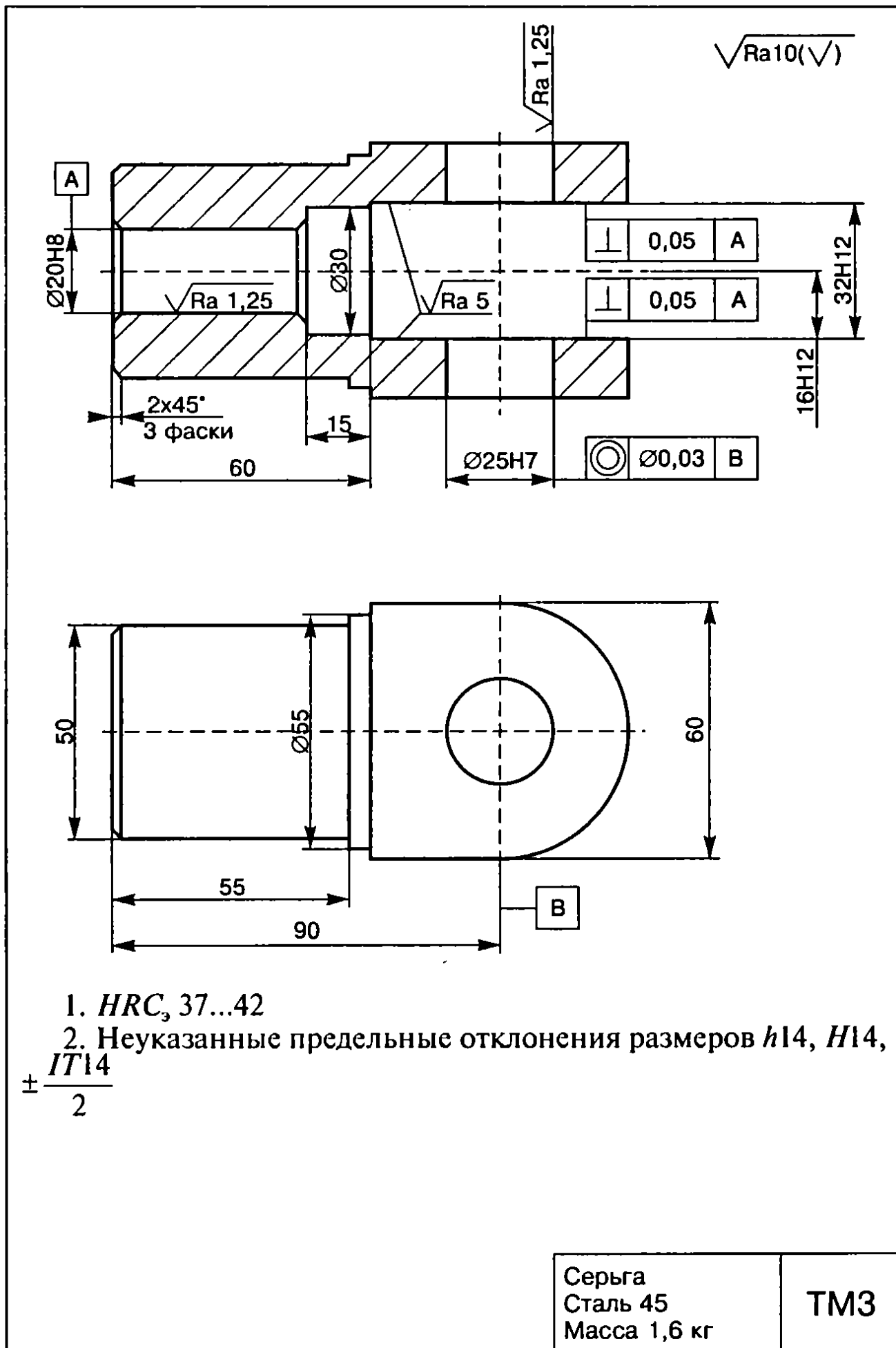
2. * Размер для справок

3. Неуказанные предельные отклонения размеров $h14, H14,$

$$\pm \frac{IT14}{2}$$

Фланец кулака
Сталь 45
Масса 4,2 кг

TM2

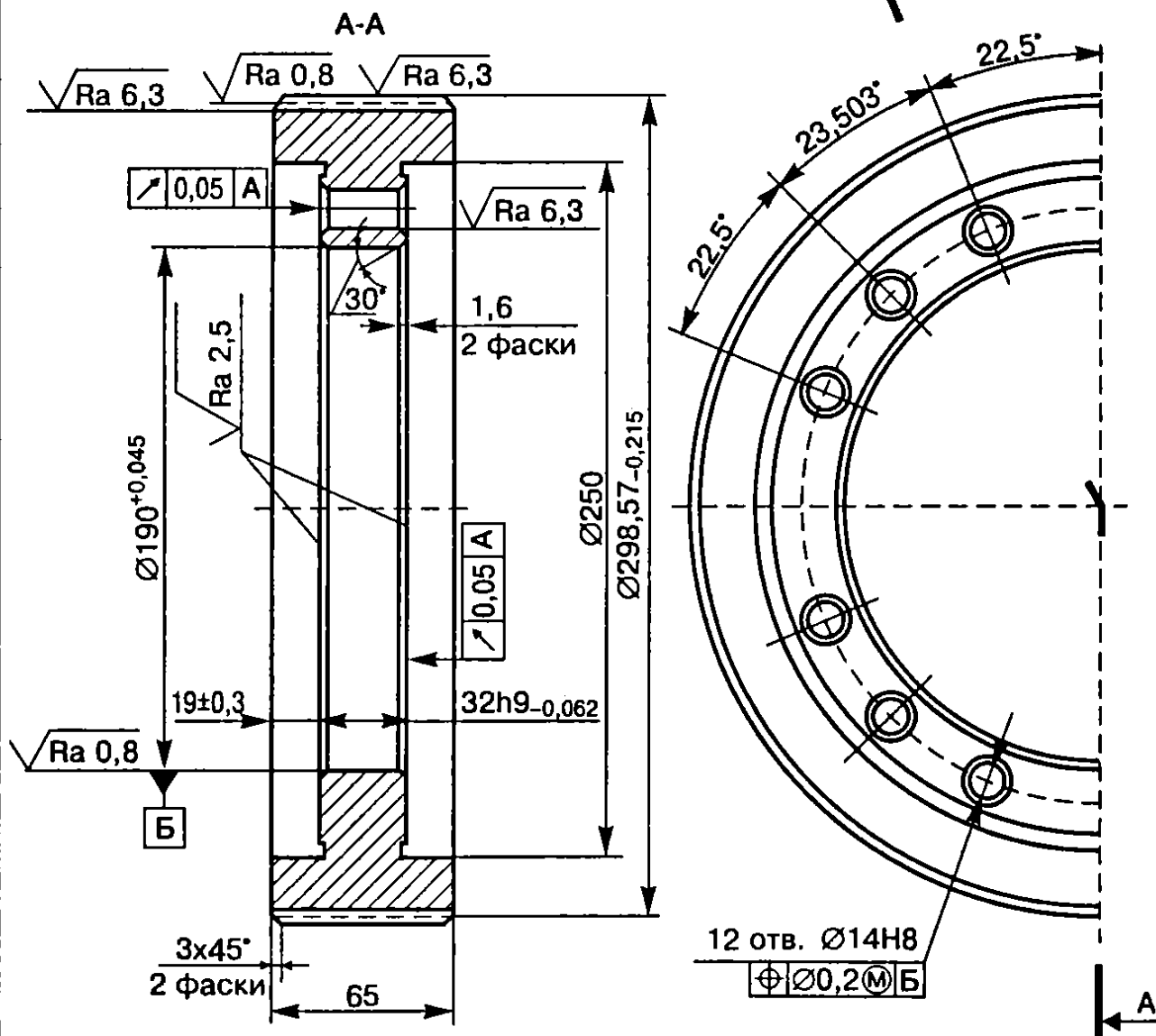


1. HRC, 37...42

2. Неуказанные предельные отклонения размеров $h14, H14,$

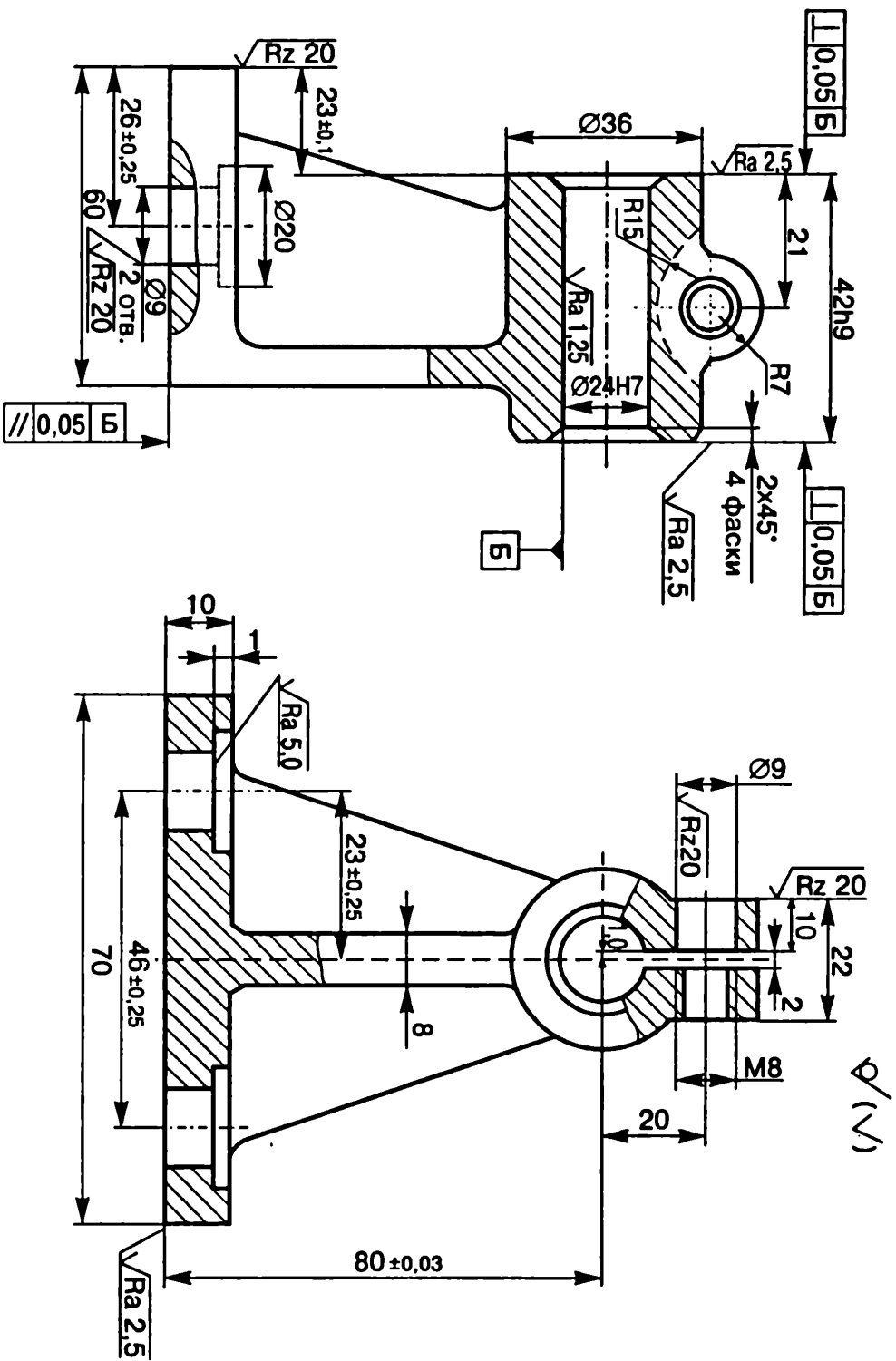
$$\pm \frac{IT14}{2}$$

Модуль	<i>m</i>	2,5
Число зубьев	<i>z</i>	45
Высота зуба	<i>h</i>	2,428
Размер по роликам	—	8—9



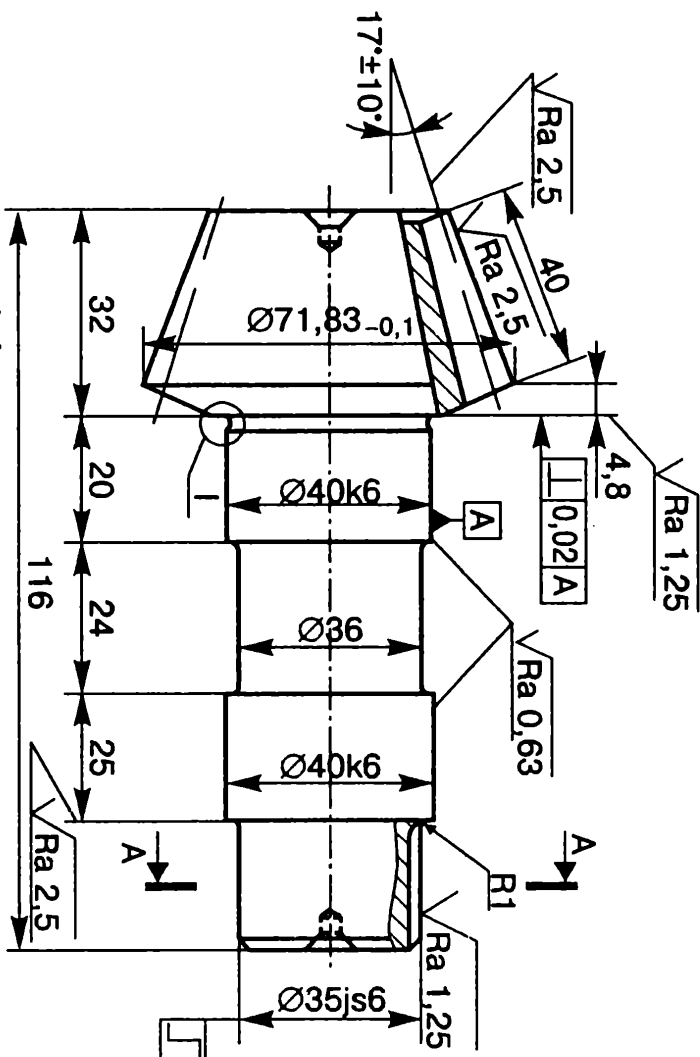
1. Цементировать h 1,0...1,4 мм; HRC_s 58...65, сердцевина — HRC_s 35...45
2. Острые кромки зубьев затупить фасками $1 \times 45^\circ$ с обоих торцов
3. Неуказанные предельные отклонения размеров $h14$, $H14$, $\pm \frac{IT14}{2}$

Шестерня Сталь 30ХГТ Масса 6,5 кг	TM5
---	-----



1. Цементировать $h 1,0...1,4$ мм; НРС, 58...65, сердцевина — НРС, 35...45
2. Острые кромки зубьев затупить фасками $1 \times 45^\circ$ с обоих торцов $IT14$
3. Неуказанные предельные отклонения размеров $h14, H14, \pm \frac{IT14}{2}$

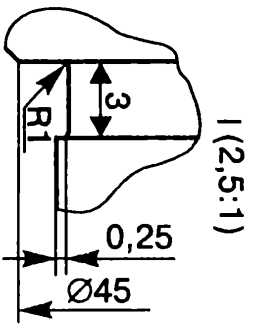
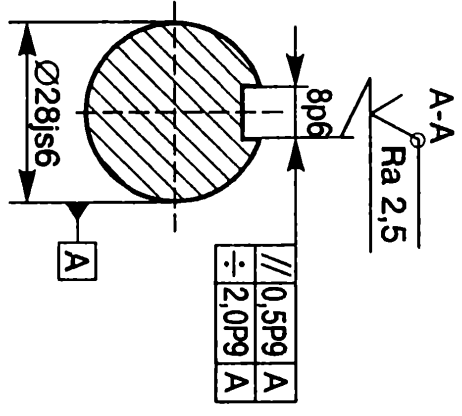
Корпус Сч 18 Масса 4,6 кг	ТМ6
---------------------------------	-----



Окружной модуль	<i>m</i>	2
Число зубьев	<i>z</i>	34
Тип зуба	—	прямой
Исходный контур	—	ГОСТ 13745—88
Угол делительного конуса	≤	15°52

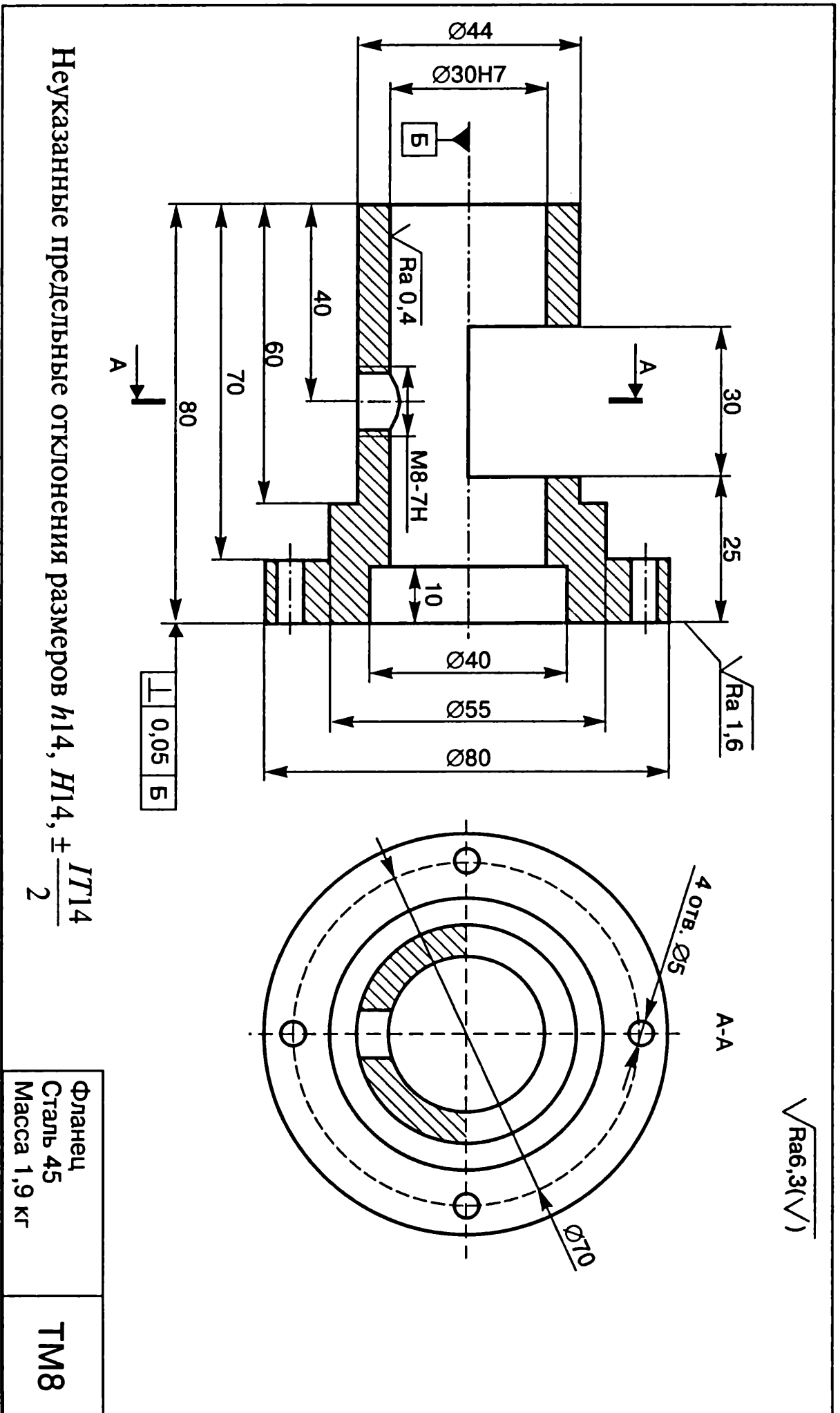
√ Rz 40(√)

┌ 0,02 A



1. *HRC*₃ 42...48
2. Неуказанные предельные отклонения размеров *h14*, *H14*, ± $\frac{IT14}{2}$

Шестерня Сталь 40X Масса 1,5 кг	ТМ7
---------------------------------------	-----



Неуказанные предельные отклонения размеров и14, Н14, ± $\frac{IT14}{2}$

$\sqrt{Ra6,3(\sqrt{\quad})}$

Продолжение прил. 1

Фланец Сталь 45 Масса 1,9 кг	ТМ8
------------------------------------	-----

Приложение 2

Допуски (мм) для размеров до 500 мм

Номинальные размеры, мм	Квалитеты																								
	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16	IT17	IT18	IT19	IT20									
До 3	0,004	0,006	0,010	0,014	0,025	0,04	0,060	0,1	0,14	0,25	0,4	0,6	0,004	0,006	0,010	0,014	0,025	0,04	0,060	0,1	0,14	0,25	0,4	0,6	
Свыше 3 до 6	0,005	0,006	0,012	0,018	0,030	0,048	0,075	0,12	0,18	0,3	0,48	0,75	0,005	0,006	0,009	0,012	0,018	0,030	0,048	0,075	0,12	0,18	0,3	0,48	0,75
" 6 "	0,006	0,009	0,015	0,022	0,036	0,058	0,090	0,15	0,22	0,36	0,58	0,9	0,006	0,009	0,015	0,022	0,036	0,058	0,090	0,15	0,22	0,36	0,58	0,9	
" 10 "	0,008	0,011	0,018	0,027	0,043	0,070	0,11	0,18	0,27	0,43	0,7	1,1	0,008	0,011	0,018	0,027	0,043	0,070	0,11	0,18	0,27	0,43	0,7	1,1	
" 18 "	0,009	0,013	0,021	0,033	0,052	0,084	0,13	0,21	0,33	0,52	0,84	1,3	0,009	0,013	0,021	0,033	0,052	0,084	0,13	0,21	0,33	0,52	0,84	1,3	
" 30 "	0,011	0,016	0,025	0,039	0,062	0,1	0,16	0,25	0,39	0,62	1,0	1,6	0,011	0,016	0,025	0,039	0,062	0,1	0,16	0,25	0,39	0,62	1,0	1,6	
" 50 "	0,013	0,019	0,030	0,046	0,074	0,12	0,19	0,3	0,46	0,74	1,2	1,9	0,013	0,019	0,030	0,046	0,074	0,12	0,19	0,3	0,46	0,74	1,2	1,9	
" 80 "	0,015	0,022	0,035	0,054	0,087	0,14	0,22	0,35	0,54	0,87	1,4	2,2	0,015	0,022	0,035	0,054	0,087	0,14	0,22	0,35	0,54	0,87	1,4	2,2	
" 120 "	0,018	0,025	0,040	0,063	0,1	0,16	0,25	0,4	0,63	1,0	1,6	2,5	0,018	0,025	0,040	0,063	0,1	0,16	0,25	0,4	0,63	1,0	1,6	2,5	
" 180 "	0,020	0,029	0,046	0,072	0,115	0,185	0,29	0,46	0,72	1,15	1,85	2,9	0,020	0,029	0,046	0,072	0,115	0,185	0,29	0,46	0,72	1,15	1,85	2,9	
" 250 "	0,023	0,032	0,052	0,081	0,13	0,21	0,32	0,52	0,81	1,3	2,1	3,2	0,023	0,032	0,052	0,081	0,13	0,21	0,32	0,52	0,81	1,3	2,1	3,2	
" 315 "	0,025	0,036	0,057	0,089	0,14	0,23	0,36	0,57	0,89	1,4	2,3	3,6	0,025	0,036	0,057	0,089	0,14	0,23	0,36	0,57	0,89	1,4	2,3	3,6	
" 400 "	0,027	0,040	0,063	0,097	0,155	0,25	0,4	0,63	0,97	1,55	2,5	4,0	0,027	0,040	0,063	0,097	0,155	0,25	0,4	0,63	0,97	1,55	2,5	4,0	

Примерные маршруты обработки поверхностей

Точность, качество	Шероховатость Ra, мкм	Код материала	Маршрут обработки поверхностей			
			цилиндрических		плоских	
			наружных	внутренних		
14—12	25,0...6,3	1, 2, 3	О	С	СТ	
		1, 2, 3	О	З	Ф	
		1, 2, 3	О	РТ	О	
		4	О, ТО	С, ТО	СТ, ТО	
		4	ТО, Ш	З, ТО	Ф, ТО	
		4	ТО, Ш	РТ, ТО	О, ТО	
11—10	5,0...2,5	1, 2, 3	Оп, Оч	С, З, Р	Фп, Фч	
		1, 2, 3	Оп, Оч	С, РТ, Р	Фп, Фч	
		1, 2	О, Ш	С, РТ, Р	ТО, Шп, Ф, Шп	
		4	Оп, Оч, ТО	С, З, ТО, Ш	Ф, ТО, Шп	
		4	Оп, ТО, Ш	С, РТ, ТО	СТ, ТО, Шп	
		4	Оп, ТО, Ш	Зп, Зч, ТО, Ш	О, ТО, Шп	
9—7	1,25...0,63	1, 2, 3	Оп, Оч, От	РУ, Р	С, П	
		1, 2, 3	Оп, Оч, От	С, З, Рп, Рч	Ф, П	
		1, 2, 3	Оп, Оч, От	С, РТп, РТч	Ф, П	
		1, 2, 3	Оп, Оч, От	С, З, РТт	Ф, П	
		1, 2, 3	Оп, Оч, От	С, П	Ф, П	
		1, 2	О, Ш	РТп, РТч, РТт	Ф, Шч	
		1	Шп, Шч	РТп, РТч, РТт	Ф, Шч	
		4	Оп, Оч, ТО, Ш	С, РТ, ТО, Ш	Ф, ТО, Шч	
	0,32...0,16	3	3	Оп, Оч, ПО	РУ, ТО, Х	Фп, Фч, ПОч
			3	Оп, Оч, От, ПО	РУ, ТО, Х	Оп, Оч, ПОч
			4	Шп, ТО, Шч	РТп, РТч, ТО, Ш	С, ТО, Шч
4	Шп, ТО, Шч	С, З, ТО, Ш	О, ТО, Шч			
4	Шп, ТО, Шч	РУ, ТО, Х	О, ТО, Шч			

Точность, качество	Шероховатость Ra, мкм	Код материала	Маршрут обработки поверхностей		
			цилиндрических		плоских
			наружных	внутренних	
9—7	0,08...0,04	3	Оп, Оч, От, ПОч, ПОТ	РУ, ТО, Х	Оп, Оч, ПОч, ПОТ
		4	Оп, Оч, ТО, Шп, Шт, ПО	РУ, ТО, Х	Фп, Фч, ТО, Шп, Шт, ПО
		1, 2, 3	Оп, Оч, От, ПО	РУ, Рп, Рч	СТ, Фт, ШБ
		1, 2, 3	Оп, Оч, От, ПО	С, З, Рп, Рч	Фп, Фт, ШБ
		1, 2, 3	Оп, Оч, От, ПО	С, З, РТч, РТт	Фп, Фт, ШБ
6	0,32...0,16	1, 2, 3	Оп, Оч, От, ПО	РТп, РТч, РТт	Фп, Фт, ШБ
		1, 2, 3	Оп, Оч, От, ПО	С, З, П	Фп, Фт, ШБ
		1	О, Ш, СУ	С, З, П	Фп, Фт, ШБ
		1	О, Шп, Шт, П	С, З, П	Фп, Фт, ШБ
		1, 2	О, Шп, Шт, П	С, З, П	Фп, Фч, Шч, ПО
		3	О, Шп, Шт, П	С, З, П	Фп, Фч, Шч, ПО
		4	О, Шп, ТО, Шт	РТ, ТО, Ш, Х	Фп, Фч, ТО, Шч, Д
		4	О, Шп, ТО, Шт, СУ	С, З, ТО, Ш, Х	С, Фт, ТО, Шч, Д
		4	Оп, Оч, ТО, Шч, СУ	С, П, ТО, Х	Ф, ТО, Шп, Шч, Д
	4	Оп, Оч, ТО, Шч, СУ	РУ, Р, ТО, Х	О, Шп, ТО, Шч, Д	
	0,16...0,08	3	Ош, Оч, От	РУ, Р, ТО, Х	О, Шп, ТО, Шч, Д
		4	Оп, Оч, ТО, Шч, СУ	РТ, ТО, Ш, Х, Д	СТ, ТО, Шч, Шт, Д
		4	О, Шп, ТО, Шч, Шт, СУ	С, З, ТО, Ш, Х, Д	Ф, ТО, Шч, Шт, Д
4		О, Шп, ТО, Шч, Д	С, П, ТО, Хп, Хч	Ф, Шп, ТО, Шч, Шт, Д	

Точность, качество	Шероховатость Ra , мкм	Код материала	Маршрут обработки поверхностей		
			цилиндрических		плоских
			наружных	внутренних	
6	0,16...0,08	4	О, Шп, ТО, Шч, Д	РУ, ТО, Х, Д	О, Шп, ТО, Шч, Шт, Д
		4	О, Шп, ТО, Шч, Д	С, РТч, РТт, ТО, Х, Д	О, Шп, ТО, Шч, Шт, Д
5	0,08...0,04	1	Оп, Оч, Шп, Шч, СУп, СУч	С, РТч, РТт, ТО, Х, Д	О, Шп, ТО, Шч, Шт, Д
		2	Оп, Оч, Шп, Шч, СУп, СУч	С, З, Р, Х, Дп, Дч	О, Шп, ТО, Шч, Шт, Д
		2	Оп, Оч, Шп, Шч, СУп, СУч	РУ, Х, Дп, Дч	О, Шп, ТО, Шч, Шт, Д
		1, 2	Оп, Оч, Шп, Шч, СУп, СУч	РУ, Х, Дп, Дч	Ф, Шп, Шч, Шт, ПО
		4	Оп, Оч, Шч, Суч	РУ, Р, ТО, Х, Дп, Дч	СТ, ТО, Шп, Шч, Шт, ПО

Обозначения: О — обтачивание, Ш — шлифование, СУ — суперфиниширование, ПО — полирование, Д — доводка, ТО — термическая обработка, С — сверление (рассверливание), З — зенкерование, РУ — ружейное сверление, Р — развертывание, РТ — растачивание, П — протягивание, Х — хонингование, СТ — строгание, Ф — фрезерование, ШБ — шабрение; п — предварительное, ч — чистовое, т — тонкое; 1 — незакаленные стали, 2 — чугуны, 3 — цветные металлы и сплавы, 4 — закаленные стали

Приложение 4

Кривизна профиля сортового проката (мкм на 1 мм)

Точность проката	Длина проката, мм				
	до 120	свыше 120 до 180	свыше 180 до 315	свыше 315 до 400	свыше 400 до 500
Обычная	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
Повышенная	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
Высокая	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5

Отклонение от соосности $\Delta_{см}$ (мм) элементов, штампуемых в разных половинах штампа, для поковок типа валов различной точности

Масса штамповки, кг	Точность штамповки			
	на молотах		на прессах	
	повышен-ная	нормаль-ная	повышен-ная	нормаль-ная
До 0,25	0,30	0,4	0,20	0,3
Свыше 0,25 до 0,63	0,35	0,5	0,25	0,4
" 0,63 " 1,60	0,40	0,6	0,30	0,5
" 1,60 " 2,50	0,45	0,8	0,35	0,6
" 2,50 " 4,00	0,50	1,0	0,40	0,7
" 4,00 " 6,30	0,63	1,1	0,45	0,8
" 6,30 " 10	0,70	1,2	0,50	0,9
" 10 " 16	0,80	1,3	0,60	1,0
" 16 " 25	0,90	1,4	0,70	1,1
" 25 " 40	1,00	1,6	0,80	1,2
" 40 " 63	1,20	1,8	–	–
" 63 " 100	1,40	2,2	–	–
" 100 " 125	1,60	2,4	–	–
" 125 " 160	1,80	2,7	–	–
" 160 " 200	2,20	3,2	–	–

Кривизна Δ_k (мкм на 1 мм) для поковок

Вид обработки	Диаметр или размер, мм				
	до 120	свыше 120 до 180	свыше 180 до 250	свыше 250 до 315	свыше 315 до 500
Ковка	3	2	1	0,8	0,6
Механическая обработка:					
обдирочная	1,5	1	0,5	0,4	0,3
черновая	0,7	0,5	0,3	0,2	0,1
получистовая	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01
После термообработки (закалка и правка)	0,10	0,08	0,06	0,04	0,02

Кривизна Δ_x (мкм на 1 мм) для поковок типа валов

Диаметр поковки, мм	После			
	термообработки		штамповки	правки на прессах
	в печах	ТВЧ		
До 25	2,5	0,25	4	0,20
Свыше 25 до 50	1,5	0,75	3	0,15
" 50 " 80	1,5	0,75	2	0,12
" 80 " 120	1,0	0,5	1,8	0,10
" 120 " 180	1,0	0,5	1,6	0,08
" 180 " 260	—	—	1,4	0,06
" 260 " 360	—	—	1,2	—
" 360 " 500	—	—	1,0	—

Приложение 8

Отклонение от concentричности отверстий $\Delta_{экс}$ и коробление $\Delta_{кор}$ высадки поковок типа дисков и рычагов, получаемых на прессах, различной точности (в числителе — значения при повышенной точности, в знаменателе — при нормальной точности)

Толщина поковок, мм	$\Delta_{экс}$, мм	$\Delta_{кор}$, мм
До 50	0,5/0,8	0,5/0,5
Свыше 50 до 120	0,63/1,4	0,5/0,5
" 120 " 180	0,80/2,0	0,5/0,7
" 180 " 260	1,00/2,8	0,6/0,9
" 260 " 360	1,50/3,2	0,7/1,0
" 360 " 500	2,50/3,6	0,8/1,1

Приложение 9

Кривизна Δ_x (мкм на 1 мм) на горизонтально-ковочной машине

Длина стержня L , мм	Диаметр стержня d , мм				
	до 18	свыше 18 до 30	свыше 30 до 50	свыше 50 до 80	свыше 80 до 120
До 120	6	8	12	16	20
Свыше 120 до 180	4	6	8	12	16
" 180 " 500	2	4	4	6	6
" 500 " 1000	1	2	3	3	3

Приложение 10

Смещение $\Delta_{см}$ (мм) оси фланца относительно стержня при высадке его на горизонтально-ковочной машине

Высота фланца H , мм	Диаметр фланца, мм		
	до 50	свыше 50 до 120	свыше 120 до 260
До 18	0,25	0,25	0,50
Свыше 18 до 50	0,25	0,50	0,50
" 50 " 120	0,50	0,50	0,75
" 120 " 180	0,50	0,75	0,75

Приложение 11

Отклонение от перпендикулярности Δ_k (мкм на 1 мм радиуса) торца фланца к оси поковки

Масса поковки, кг	При штамповке	
	на прессе	на ГКМ
До 0,25	0,2	0,3
Свыше 0,25 до 1,6	0,3	0,5
" 1,6 " 4	0,4	0,7
" 4 " 10	0,5	0,9
" 10 " 25	0,6	1,1
" 25 " 40	0,7	1,2

Приложение 12

Кривизна поковки Δ_k послековки на ВРКМ

Диаметр поковки, мм	Δ_k , мкм на 1 мм длины
До 60	2
Свыше 60	1

Приложение 13

Удельное коробление отливок

Детали	Δ_k , мкм на 1 мм длины
Корпусные	0,7...1,0
Плиты	2...3

Примечания.

1. Величина смещения отливок по плоскости разъема определяется по ГОСТ 26645—85.

2. Базирование заготовки по черновому отверстию следует использовать только на первой операции.

Коэффициент уточнения K_y для отливок, поковок, штампованных заготовок и сортового проката

Технологический переход	K_y
Однократное и черновое точение штампованных заготовок, заготовок из горячекатаного проката, предварительное шлифование проката	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	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

Погрешность установки заготовок в патронах и на оправках без выверки

Тип патрона или оправки	Квалитет базы заготовки	Погрешность установки, мкм, для направления	
		радиального	осевого
Цанговые оправки при диаметре установочной поверхности, мм: до 50 свыше 50 до 200	7—9	10...35	20
		20...60	50
Трехкулачковые патроны с незакаленными кулачками или разрезными втулками при диаметре до 120 мм	При зазоре до закрепления погрешность 0,02...0,10 мм	10...30	10...120

Тип патрона или оправки	Квалитет базы заготовки	Погрешность установки, мкм, для направления	
		радиального	осевого
Двухкулачковые патроны при диаметре детали 200 мм: с винтами с рейками	11—13	100...200 20...60	50...100 15...40
Цилиндрические оправки с гайками (установка на оправку с зазором)	8—11	В пределах допуска зазора	10
Конусные оправки при отверстии длиной менее $1,5d$	7	30	Определяется размерами деталей и оправок
Патроны и оправки с упругими втулками и гидропластмассой при отверстии длиной: до $0,5d$ свыше $3,0d$	7—9	3...10 10...20	— —
Патроны и оправки с пластинчатыми (тарельчатыми) пружинами	7—11	10...20	—
Патроны и оправки с упругими втулками и роликами, опирающимися на тела, имеющие форму гиперboloида вращения	7—8	3...8	—
Мембранные патроны	7—9	3...5	—
Патроны и оправки с упругими элементами гофрированного типа	5—7	2...5	—
Примечание. Применение пневматических и гидравлических силовых узлов позволяет уменьшить погрешность установки на 20...40%. Обработку с использованием необработанных кулачков и втулок применяют при партии деталей не более 80...120 шт.			

Погрешность (мкм) установки заготовок в приспособлении

Вид образца-заготовки	Направление смещения заготовки	Диаметр базы, мм									
		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 260	свыше 260 до 500	
Установка в цанговом патроне											
Шлифованная контрольная оправка, установленная в новом патроне	Радиальное	15...20	15...40	20...45	25...50	30...75	—	—	—	—	—
	Осевое	25	50	75...100	100	150...200	—	—	—	—	—
Прутки калиброванные	Радиальное	50	60	70	90	100	120	—	—	—	—
	Осевое	30	40	50	60	70	80	—	—	—	—
Установка в трехкулачковом самоцентрирующемся патроне											
Прутки горячекатаные:	Радиальное	100	120	150	200	300	450	650	—	—	—
		Осевое	70	80	100	130	200	300	420	—	—
повышенной точности	Радиальное	—	200	220	280	400	500	800	—	—	—
		Осевое	—	130	150	190	250	350	520	—	—
обычной точности	Радиальное	—	200	220	280	400	500	800	—	—	—
		Осевое	—	130	150	190	250	350	520	—	—

Окончание прил. 16

Вид образца-заготовки	Направление смещения заготовки	Диаметр базы, мм									
		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 260	свыше 260 до 500	
Единичная заготовка с базой: шлифованной	Радиальное	20	20	20	20	30	30	40	40	50	
	Осевое	10	10	10	10	15	15	25	25	30	
чисто обработанной	Радиальное	50	50	50	50	80	80	100	100	120	
	Осевое	30	30	30	30	50	50	80	80	100	
Отливка по вы- плавляемой мо- дели или в обо- лочковую форму	Радиальное	100	100	100	100	150	150	200	200	250	
	Осевое	50	50	50	50	80	80	100	100	120	
Предварительно обработанная	Радиальное	200	200	200	200	300	300	400	400	500	
	Осевое	80	80	80	80	100	100	120	120	150	
готовка, штампованная на ГКШП											

Примечание. При установке в цанговых патронах единичных заготовок вместо прутковых погрешность установки в осевом направлении увеличивается на 10...30 мкм. При неподвижной цанге смещение в осевом направлении минимально (5...20 мкм). Поджатием деталей при закреплении в патронах погрешность установки можно уменьшить на 20...30%. В патронах с пневматическими и гидравлическими силовыми узлами погрешность установки уменьшается на 20...40% по сравнению с указанными в таблице.

Погрешность (мкм) установки заготовок на опоры
 (в числителе — для постоянных опор; в знаменателе —
 для опорных пластин)

Поверхность заготовки	Наибольший размер заготовки по нормали к обработанной поверхности, мм					
	6...10	10...18	18...30	30...50	50...80	80...120
<i>Установка в приспособлении с винтовыми или эксцентриковыми зажимами</i>						
Шлифованная	60/20	70/30	80/40	90/50	100/60	110/70
Чисто обработанная, полученная литьем под давлением	70/30	80/40	90/50	100/60	110/70	120/80
Предварительно обработанная, полученная литьем по выплавляемым моделям или в оболочковые формы	80/40	90/50	100/60	110/70	120/80	130/90
Полученная литьем в постоянную форму, в песчаную форму машинной формовки, по металлическим моделям	—/55	100/60	110/70	120/80	130/90	140/100
Штампованная, горячекатаная	90/90	100/100	125/110	150/120	175/135	200/150
<i>Установка в приспособлении с пневматическим приводом</i>						
Шлифованная	35/15	40/20	50/25	55/30	60/40	70/50
Чисто обработанная, полученная литьем под давлением	55/25	60/30	65/35	70/40	80/50	100/60
Предварительно обработанная, полученная литьем по выплавляемым моделям или в оболочковые формы	65/35	70/40	75/50	80/55	90/60	110/70

Поверхность заготовки	Наибольший размер заготовки по нормали к обработанной поверхности, мм					
	6...10	10...18	18...30	30...50	50...80	80...120
Полученная литьем в постоянную форму, в песчаную форму машинной формовки, по металлическим моделям	—/50	80/55	90/60	100/65	110/70	120/80
Штампованная, горячекатаная	70/70	90/80	100/90	120/100	140/110	160/120

Приложение 18

Погрешность установки заготовки на опорные пластины приспособлений с пневматическим приводом (база заготовки — предварительно обработанная)

Наибольший размер заготовки по нормали к обработанной поверхности, мм	Погрешность установки заготовки, мкм
50...80	60
80...120	70
120...200	80

Приложение 19

Качество поверхности R_z (мкм) сортового проката

Диаметр проката, мм	Точность проката					
	высокая		повышенная		обычная	
	R_z	h	R_z	h	R_z	h
До 30	63	50	80	100	125	150
Свыше 30 до 80	100	75	125	150	160	250
" 80 " 180	125	100	160	200	200	300
" 180 " 250	200	200	250	300	320	400

Примечание: h — глубина дефектного слоя, мкм

**Качество поверхности Rz (мкм)
поперечно-винтового проката**

Диаметр проката, мм	Rz при точности проката		Глубина дефектного слоя h, мкм
	повышенной	нормальной	
До 10	63	100	100
Свыше 10 до 18	100	200	180
" 18 " 30	160	320	300
" 30 " 50	320	500	500
" 50 " 80	500	800	800
" 80 " 120	800	1250	1200
" 120 " 180	1250	1600	2000

Приложение 21

**Точность и качество поверхности
после отрезки сортового проката**

Способ отрезки	Квалитет	Rz + h, мкм
На ножницах	17	300
Приводными ножовками, дисковыми фрезами на фрезерных станках	14	200
Отрезными резцами на токарных станках, отрубка на прессах	13	200

Приложение 22

**Точность и качество поверхности заготовок
из проката после механической обработки**

Способ обработки	Квалитет	Rz, мкм	h, мкм
<i>Наружные поверхности</i>			
Обтачивание резцами проката повышенной и обычной точности:			
обдирочное	14	125	120
черновое	12	63	60
чистовое и однократное	10, 11	32...20	30
тонкое	7, 9	6,3...3,2	—

Способ обработки	Квалитет	Rz, мкм	h, мкм
Шлифование в центрах проката обычной точности; бесцентровое шлифование проката повышенной и высокой точности:			
черновое	8, 9	10	20
чистовое и однократное	7, 8	6,3	12
тонкое	5, 6	3,2...0,8	6...2
<i>Торцовые поверхности</i>			
Подрезание резцами на токарных станках; шлифование на кругло- и торцешлифовальных станках:			
черновое	12	50	50
однократное	11	32	30
чистовое	6	5...10	—

Приложение 23

**Качество поверхности поковок Rz + h (мкм),
изготавливаемых ковкой, при нормальной точности
(в скобках — при повышенной точности)**

Наибольший размер поковки, мм	Пресс	Молот	Подкладные штампы
От 50 до 180	1000 (800)	1000	750
Свыше 180 до 500	1500 (1000)	1500	1250
" 500 " 1250	2000 (1500)	2000	1500
" 1250 " 3150	2500 (2000)	2500	—
" 3150 " 6300	3000 (2500)	3000	—
" 6300 " 10000	3500 (—)	3500	—

Приложение 24

**Качество поверхности поковок,
изготавливаемых штамповкой**

Масса поковки, кг	Rz, мкм	h, мкм
До 0,25	80	150
Свыше 0,25 до 4	160	200
" 4 " 25	200	250
" 25 " 40	250	300
" 40 " 100	320	350
" 100 " 200	400	400

**Точность и качество поверхности поковок
после механической обработки, получаемых ковкой
на прессах и в подкладных штампах**

Способ обработки	Квалитет	Rz, мкм	h, мкм
Точение резцами, фрезерование:			
обдирочное	17	1250	350
черновое	15, 16	250	240
получистовое	12...14	125	120
чистовое	10, 11	40	40
тонкое	6, 7	5	5
Шлифование:			
обдирочное	14, 15	20	20
черновое	10	15	15
чистовое	6, 7	5	5
тонкое	5, 6	2,5	5

**Точность и качество поверхности
штампованных поковок после механической обработки**

Деталь	Способ обработки	Квалитет	Rz, мкм	h, мкм
Вал ступенчатый	Обтачивание наружных поверхностей:			
	обдирочное	11, 12	32	30
	черновое	12	50	50
	чистовое	11	25	25
	тонкое	7...9	5	5
	Подрезание торцовых поверхностей:			
	черновое	12	50	50
	чистовое	11	32	30
	однократное	14	100	100
	Шлифование:			
	однократное	7...9	5	10
	черновое	8, 9	10	20
	чистовое	6, 7	5	15
тонкое	5, 6	2,5	5	

Деталь	Способ обработки	Квалитет	Rz, мкм	h, мкм	
Диск	Обтачивание наружных поверхностей:	однократное	10...12	32	30
		черновое	14	100	100
		чистовое	12	50	50
		получистовое	10, 11	25	25
	Подрезание торцовых поверхностей:	черновое	12	32	50
		чистовое	10, 11	25	25
		Шлифование:			
	однократное	7...9	5	10	
	черновое	8, 9	10	20	
	чистовое	6, 7	5	15	
	тонкое	5, 6	2,5	5	
	Рычаг (плоскости, параллельные оси детали, и плоскости разъема головок)	Фрезерование:	однократное	10...12	32
черновое			14	100	100
получистовое			12	50	50
Протягивание:		чистовое	11	10	15
		однократное	10	5	10
Шлифование:		однократное	7...9	5	10
		черновое	8, 9	10	20
		чистовое	6, 7	5	15
		тонкое	5, 6	2,5	5
Стержень	Обтачивание:	черновое	12	50	50
		чистовое	11	25	25

Приложение 27

**Точность и качество поверхности
после механической обработки отливок**

Обработка	Квалитет	Rz, мкм	h, мкм
<i>Отливка</i>			
Обдирка	17, 16	320	320
Черновая	15, 14	240	240
Получистовая	14...12	100	100
Чистовая	11, 10	20	20

Обработка	Квалитет	Rz, мкм	h, мкм
<i>Точение, фрезерование, строгание, литье в кокиль и центробежное литье</i>			
Однократная	11	25	25
Черновая	12	80	50
Чистовая	10	20	20
Тонкая	7...9	5	5
<i>Литье в оболочковые формы</i>			
Однократная	10, 11	25	25
Черновая	11	80	80
Чистовая	10	20	20
Тонкая	7...9	5	5
<i>Литье по выплавляемым моделям</i>			
Однократная	10	15	20
Тонкая	7...9	2,5	5
<i>Шлифование отливок, получаемых различными способами</i>			
Однократная	7	5	10
Черновая	8, 9	10	20
Чистовая	6...8	5	15
Тонкая	5, 6	0,63	—

Приложение 28

**Припуски на диаметр (мм) на механическую обработку
валов (наружные поверхности вращения)**

Номинальный диаметр, мм	Обработка поверхности	Длина вала, мм			
		до 120	свыше 120 до 260	свыше 260 до 500	свыше 500 до 800
<i>Точение проката повышенной точности</i>					
До 30	Черновая и однократная	$\frac{1,2}{1,1}$	$\frac{1,2}{—}$	—	—
	Чистовая	$\frac{0,25}{0,25}$	$\frac{0,30}{—}$	—	—
	Тонкая	$\frac{0,12}{0,14}$	$\frac{0,15}{—}$	—	—

Номинальный диаметр, мм	Обработка поверхности	Длина вала, мм			
		до 120	свыше 120 до 260	свыше 260 до 500	свыше 500 до 800
Свыше 30 до 50	Черновая и однократная	$\frac{1,2}{1,1}$	$\frac{1,5}{1,4}$	$\frac{2,2}{—}$	—
	Чистовая	$\frac{0,30}{0,25}$	$\frac{0,30}{0,25}$	$\frac{0,35}{—}$	—
	Тонкая	$\frac{0,15}{0,12}$	$\frac{0,16}{0,13}$	$\frac{0,20}{—}$	—
Свыше 50 до 80	Черновая и однократная	$\frac{1,5}{1,1}$	$\frac{1,7}{1,5}$	$\frac{2,3}{2,1}$	$\frac{3,1}{—}$
	Чистовая	$\frac{0,25}{0,20}$	$\frac{0,30}{0,25}$	$\frac{0,30}{0,30}$	$\frac{0,40}{—}$
	Тонкая	$\frac{0,14}{0,12}$	$\frac{0,15}{0,13}$	$\frac{0,17}{0,16}$	$\frac{0,23}{—}$
Свыше 80 до 120	Черновая и однократная	$\frac{1,6}{1,2}$	$\frac{1,7}{1,3}$	$\frac{2,0}{1,7}$	$\frac{2,5}{2,3}$
	Чистовая	$\frac{0,25}{0,25}$	$\frac{0,30}{0,25}$	$\frac{0,30}{0,30}$	$\frac{0,30}{0,30}$
	Тонкая	$\frac{0,14}{0,13}$	$\frac{0,15}{0,13}$	$\frac{0,16}{0,15}$	$\frac{0,17}{0,17}$
<i>Точение проката обычной точности</i>					
До 30	Черновая и однократная	$\frac{1,3}{1,1}$	$\frac{1,7}{—}$	—	—
	Получистовая	$\frac{0,45}{0,45}$	$\frac{0,50}{—}$	—	—
	Чистовая	$\frac{0,25}{0,20}$	$\frac{0,25}{—}$	—	—
	Тонкая	$\frac{0,13}{0,12}$	$\frac{0,15}{—}$	—	—
Свыше 30 до 50	Черновая и однократная	$\frac{1,3}{1,1}$	$\frac{1,6}{1,4}$	$\frac{2,2}{—}$	—
	Получистовая	$\frac{0,45}{0,45}$	$\frac{0,45}{0,45}$	$\frac{0,50}{—}$	—
	Чистовая	$\frac{0,25}{0,20}$	$\frac{0,25}{0,25}$	$\frac{0,30}{—}$	—
	Тонкая	$\frac{0,13}{0,12}$	$\frac{0,14}{0,13}$	$\frac{0,16}{—}$	—

Номинальный диаметр, мм	Обработка поверхности	Длина вала, мм			
		до 120	свыше 120 до 260	свыше 260 до 500	свыше 500 до 800
Свыше 50 до 80	Черновая и однократная	$\frac{1,5}{1,1}$	$\frac{1,7}{1,5}$	$\frac{2,3}{2,1}$	$\frac{3,1}{—}$
	Получистовая	$\frac{0,45}{0,45}$	$\frac{0,50}{0,45}$	$\frac{0,50}{0,50}$	$\frac{0,55}{—}$
	Чистовая	$\frac{0,25}{0,20}$	$\frac{0,30}{0,25}$	$\frac{0,30}{0,30}$	$\frac{0,35}{—}$
	Тонкая	$\frac{0,13}{0,12}$	$\frac{0,14}{0,13}$	$\frac{0,18}{0,16}$	$\frac{0,20}{—}$
Свыше 80 до 120	Черновая и однократная	$\frac{1,8}{1,2}$	$\frac{1,9}{1,5}$	$\frac{2,1}{1,7}$	$\frac{2,6}{2,3}$
	Получистовая	$\frac{0,50}{0,45}$	$\frac{0,50}{0,45}$	$\frac{0,50}{0,50}$	$\frac{0,50}{0,50}$
	Чистовая	$\frac{0,25}{0,25}$	$\frac{0,25}{0,25}$	$\frac{0,30}{0,25}$	$\frac{0,30}{0,30}$
	Тонкая	$\frac{0,15}{0,12}$	$\frac{0,15}{0,13}$	$\frac{0,16}{0,14}$	$\frac{0,18}{0,17}$
Свыше 120 до 180	Черновая и однократная	$\frac{2,0}{1,3}$	$\frac{2,1}{1,4}$	$\frac{2,3}{1,8}$	$\frac{2,7}{2,3}$
	Получистовая	$\frac{0,50}{0,45}$	$\frac{0,50}{0,45}$	$\frac{0,50}{0,50}$	$\frac{0,50}{0,50}$
	Чистовая	$\frac{0,30}{0,25}$	$\frac{0,30}{0,25}$	$\frac{0,30}{0,25}$	$\frac{0,30}{0,30}$
	Тонкая	$\frac{0,16}{0,13}$	$\frac{0,16}{0,13}$	$\frac{0,17}{0,15}$	$\frac{0,18}{0,17}$
Свыше 180 до 260	Черновая и однократная	$\frac{2,3}{1,4}$	$\frac{2,4}{1,5}$	$\frac{2,6}{1,8}$	$\frac{2,9}{2,4}$
	Получистовая	$\frac{0,50}{0,45}$	$\frac{0,50}{0,45}$	$\frac{0,50}{0,50}$	$\frac{0,55}{0,50}$
	Чистовая	$\frac{0,30}{0,25}$	$\frac{0,30}{0,25}$	$\frac{0,30}{0,25}$	$\frac{0,30}{0,30}$
	Тонкая	$\frac{0,17}{0,13}$	$\frac{0,17}{0,14}$	$\frac{0,18}{0,15}$	$\frac{0,19}{0,17}$

Номинальный диаметр, мм	Обработка поверхности	Длина вала, мм			
		до 120	свыше 120 до 260	свыше 260 до 500	свыше 500 до 800
<i>Точение штамповых заготовок</i>					
До 18	Черновая и однократная	<u>1,5</u> 1,4	<u>1,9</u> —	—	—
	Чистовая	<u>0,25</u> 0,25	<u>0,30</u> —	—	—
	Тонкая	<u>0,14</u> 0,14	<u>0,15</u> —	—	—
Свыше 18 до 30	Черновая и однократная	<u>1,6</u> 1,5	<u>2,0</u> 1,8	<u>2,3</u> —	—
	Чистовая	<u>0,25</u> 0,25	<u>0,30</u> 0,25	<u>0,30</u> —	—
	Тонкая	<u>0,14</u> 0,14	<u>0,15</u> 0,14	<u>0,16</u> —	—
Свыше 30 до 50	Черновая и однократная	<u>1,8</u> 1,7	<u>2,3</u> 2,0	<u>3,0</u> 2,7	<u>3,5</u> —
	Чистовая	<u>0,30</u> 0,25	<u>0,30</u> 0,30	<u>0,30</u> 0,30	<u>0,35</u> —
	Тонкая	<u>0,15</u> 0,15	<u>0,16</u> 0,15	<u>0,19</u> 0,17	<u>0,21</u> —
Свыше 50 до 80	Черновая и однократная	<u>2,2</u> 2,0	<u>2,9</u> 2,6	<u>3,4</u> 2,9	<u>4,2</u> 3,6
	Чистовая	<u>0,30</u> 0,30	<u>0,30</u> 0,30	<u>0,35</u> 0,30	<u>0,40</u> 0,35
	Тонкая	<u>0,16</u> 0,16	<u>0,18</u> 0,17	<u>0,20</u> 0,18	<u>0,22</u> 0,20
Свыше 80 до 120	Черновая и однократная	<u>2,6</u> 2,3	<u>3,3</u> 3,0	<u>4,3</u> 3,8	<u>5,2</u> 4,5
	Чистовая	<u>0,30</u> 0,30	<u>0,30</u> 0,30	<u>0,40</u> 0,35	<u>0,45</u> 0,40
	Тонкая	<u>0,17</u> 0,17	<u>0,19</u> 0,18	<u>0,23</u> 0,21	<u>0,26</u> 0,24

Номинальный диаметр, мм	Обработка поверхности	Длина вала, мм			
		до 120	свыше 120 до 260	свыше 260 до 500	свыше 500 до 800
Свыше 120 до 180	Черновая и однократная	$\frac{3,2}{2,8}$	$\frac{4,6}{4,2}$	$\frac{5,0}{4,5}$	$\frac{6,2}{5,6}$
	Чистовая	$\frac{0,35}{0,30}$	$\frac{0,40}{0,30}$	$\frac{0,45}{0,40}$	$\frac{0,50}{0,45}$
	Тонкая	$\frac{0,20}{0,20}$	$\frac{0,24}{0,22}$	$\frac{0,25}{0,23}$	$\frac{0,30}{0,27}$
<i>Шлифование заготовок</i>					
До 30	Предварительная: после термообработки	0,3	0,60	—	—
	после чистового точения	0,1	0,1	—	—
	Чистовая после предварительного шлифования	0,06	0,06	—	—
Свыше 30 до 50	Предварительная: после термообработки	0,25	0,50	0,85	—
	после чистового точения	0,10	0,10	0,10	—
	Чистовая после предварительного шлифования	0,06	0,06	0,06	—
Свыше 50 до 80	Предварительная: после термообработки	0,25	0,40	0,75	1,20
	после чистового точения	0,10	0,10	0,10	0,10
	Чистовая после предварительного шлифования	0,06	0,06	0,06	0,06
Свыше 80 до 120	Предварительная: после термообработки	0,20	0,35	0,65	1,00
	после чистового точения	0,10	0,10	0,10	0,10

Номинальный диаметр, мм	Обработка поверхности	Длина вала, мм			
		до 120	свыше 120 до 260	свыше 260 до 500	свыше 500 до 800
Свыше 80 до 120	Чистовая после предварительного шлифования	0,06	0,06	0,06	0,06
Свыше 120 до 180	Предварительная: после термообработки	0,17	0,30	0,55	0,85
	после чистового точения	0,10	0,10	0,10	0,10
	Чистовая после предварительного шлифования	0,06	0,06	0,06	0,06

Примечания.

1. Припуски при точении в числителе указаны при установке заготовки в патроне, в знаменателе — в центрах.
2. Если величина припуска при шлифовании не может быть снята за один проход, то 70% его удаляют на первом и 30% на втором проходе.
3. Величины припусков на обработку конических поверхностей принимать те же, что и на обработку цилиндрических, устанавливая их по наибольшему диаметру.

Приложение 29

**Припуски (мм) на тонкое (алмазное)
расточивание отверстий**

Диаметр обрабатываемого отверстия, мм	Обрабатываемый материал	
	бронза и чугун	сталь
До 30	0,2/0,1	0,2/0,1
Свыше 30 до 50	0,3/0,1	0,2/0,1
" 50 " 80	0,3/0,1	0,2/0,1
" 80 " 120	0,3/0,1	0,3/0,1
" 120 " 180	0,4/0,1	0,3/0,1
" 180 " 250	0,4/0,1	0,3/0,1
" 250 " 360	0,4/0,1	0,3/0,1
" 360 " 400	0,5/0,1	0,4/0,1
" 400 " 500	0,5/0,1	0,4/0,1

Примечание. В числителе приведены припуски на предварительную обработку, в знаменателе — на окончательную. В случае применения одного растачивания припуск определяется как сумма припусков на предварительное и окончательное растачивание.

Приложение 30

Припуски на диаметр (мм) на шлифование отверстий

(в числителе — на детали до термообработки, в знаменателе — после термообработки)

Диаметр отверстия, мм	Длина отверстия, мм				
	до 50	свыше 50 до 100	свыше 100 до 200	свыше 200 до 300	свыше 300 до 500
Предварительное шлифование					
До 10	0,2	—	—	—	—
Свыше 10 до 18	0,2/0,3	0,3/0,4	—	—	—
" 18 " 30	0,2/0,3	0,3/0,4	0,4/0,4	—	—
" 30 " 50	0,3/0,4	0,3/0,4	0,4/0,4	0,4/0,5	—
" 50 " 80	0,3/0,4	0,4/0,5	0,5/0,5	0,4/0,5	—
" 80 " 120	0,5/0,5	0,4/0,5	0,5/0,6	0,6/0,6	0,6/0,7
" 120 " 180	0,6/0,6	0,6/0,6	0,6/0,6	0,6/0,6	0,6/0,7
" 180 " 260	0,6/0,7	0,6/0,7	0,7/0,7	0,7/0,7	0,8/0,8
" 260 " 360	0,6/0,7	0,7/0,8	0,7/0,8	0,8/0,8	0,8/0,9
" 360 " 500	0,8/0,8	0,8/0,8	0,8/0,8	0,9/0,9	0,9/0,9
Окончательное шлифование					
До 10	0,04	—	—	—	—
Свыше 10 до 18	0,05	0,06	—	—	—
" 18 " 30	0,05	0,06	0,06	—	—
" 30 " 50	0,06	0,06	0,06	0,08	—
" 50 " 80	0,06	0,06	0,08	0,08	—
" 80 " 120	0,08	0,08	0,10	0,10	0,12
" 120 " 180	0,10	0,10	0,10	0,10	0,12
" 180 " 260	0,12	0,12	0,12	0,12	0,14
" 260 " 360	0,12	0,14	0,14	0,14	0,16
" 360 " 500	0,14	0,14	0,14	0,16	0,18

Приложение 31

Исполнительные размеры инструментов (мм) при обработке отверстий в слитном материале по 7-му и 8-му классам

Номинал	Диаметр отверстия, мм		Сверление		Чистовое растачивание		Зенкеро- ванне	Предвари- тельное раз- вертывание
	по H7	по H8	первое	второе	номинал	допуск по H11		
3	0,01	0,014	2,9	—	—	—	—	—
4			3,9					
5	0,012	0,018	4,8	—	—	—	—	—
6			5,8					
7			6,8					—
8	0,015	0,022	7,8	—	—	—	—	7,96
9			8,8					8,96
10			9,8					9,96
11			10					10,79
12			11					12,79
13			12					12,79
14	0,018	0,027	13	—	—	—	—	13,79
15			14					14,79
16			15					15,79
18			17					17,79
20			18		19,8			19,75
22	0,021	0,033	20	—	21,8	0,13		21,75
24			22		23,8			23,75
25			23		24,8			24,75

Окончание прил. 31

Диаметр отверстия, мм	Допуск		Сверление		Чистовое растачивание		Зенкеро- вание	Предвари- тельное раз- вертывание
	по Н7	по Н8	первое	второе	номинал	допуск по Н11		
26			24	—	25,8		25,75	25,94
28	0,021	0,033	26	—	27,8	0,13	27,75	27,94
30			15	28	29,8		29,75	29,94
32			15	30	31,7		31,71	31,94
34			15	32	33,7		33,71	33,93
35			20	33	34,7		34,71	34,93
36			20	34	35,7		35,71	35,93
37			20	35	36,7		36,71	36,93
38			22	38	37,7		37,71	37,93
39	0,025	0,039	24	39	38,7	0,16	39,71	39,93
42			25	40	41,7		41,71	41,93
45			25	43	44,7		44,71	44,93
47			25	45	46,7		46,71	46,93
48			25	46	47,7		47,71	47,93
50			25	48	49,7		49,71	49,93

Примечания.

1. При сверлении отверстий в чугуне применять одно сверло для диаметров 30 и 32 мм (для отверстия 30 приме-
нять сверло 28, для отверстия 32 — сверло 30).
2. Выбор перехода «растачивание» или «зенкерование» определяется технологическим процессом.
3. Для обработки отверстий диаметром свыше 30 мм вместо разверток можно применять расточные оправки типа
«микробор».
4. Диаметр чистовой развертки выбирают в соответствии с номинальным диаметром отверстия с допусками по Н7
или Н8.

**Исполнительные размеры инструментов (мм)
при обработке прошитых или полученных литьем
отверстий по 7-му и 8-му квалитетам**

Диаметр отверстия, мм		Черновое расточивание		Чистовое расточивание		Развертыва- ние, тонкое расточивание (первое)	
номи- нал	допуск		пер- вое	вто- рое	номи- нал		допуск по Н11
	по Н7	по Н8					
30	0,021	0,033	—	28	29,8	0,13	29,93
32	0,025	0,039	—	30	31,7	0,16	31,93
34			—	32	33,7		33,93
35			—	33	34,7		34,93
36			—	34	35,7		35,93
37			—	35	36,7		36,93
38			—	36	37,7		37,93
40			—	38	39,7		39,93
42			—	40	41,7		41,93
45			—	43	44,7		44,93
47			—	45	46,7		46,93
52	0,03	0,046	47	50	51,5	0,19	51,92
55			50	53	54,5		54,92
58			53	56	57,5		57,92
60			55	58	59,5		59,92
62			57	60	61,5		61,92
63			58	61	62,5		62,92
65			60	63	64,5		64,92
68			63	66	67,5		67,9
70			65	68	69,5		69,9
72			67	70	71,5		71,9
75			70	73	74,5		74,9
78			73	76	77,5		77,9
80			75	78	79,5		79,9

Диаметр отверстия, мм		Черновое расточивание		Чистовое расточивание		Развертыва- ние, тонкое расточивание (первое)	
номи- нал	допуск		пер- вое	вто- рое	номи- нал		допуск по H11
	по H7	по H8					
85	0,035	0,054	80	83	84,3	0,22	84,85
90			85	88	89,3		89,85
95			90	93	94,3		94,85
100			95	98	99,3		99,85
105			100	103	104,3		104,8
110			105	108	109,3		109,8
115			110	113	114,3		114,8
120			115	118	119,3		119,8
125	0,04	0,063	120	123	124,3	0,25	124,8
130			125	128	129,3		129,8
135			130	133	134,3		134,8
140			135	138	139,3		139,8
150			145	148	149,3		149,8
155			150	153	154,3		154,8
160			155	158	159,3		159,8
165			160	163	164,3		164,8
170			165	168	169,3		169,8
175			170	173	174,3		174,8
180	175	178	179,3	179,8			
190	0,046	0,072	185	188	189,3	0,29	189,8
195			190	193	194,3		194,8
200			194	197	199,3		199,8

Примечание. Окончательное развертывание и тонкое расточивание отверстий выполняют по их номинальным диаметрам с допусками по H7 или H8.

Приложение 33

Исполнительные размеры инструментов (мм) при обработке отверстий в сплошном материале по 9-му и 11-му классам

Диаметр отверстия, мм	Обработка отверстий с допусками по Н9											
	Допуск		сверление		чистовое раста- чивание		зенке- рова- ние	раз- верты- вание	Сверление		Зенке- рова- ние	Раз- верты- вание
номи- нал	по Н9	по Н11	первое	второе	номи- нал	Допуск по Н11			первое	второе		
3	0,025	0,06	2,9	—	—	—	—	3Н9	2,9	—	—	3Н11
4			3,9	—	—	—	—	4Н9	3,9	—	—	4Н11
5	0,03	0,075	4,8	—	—	—	—	5Н9	4,8	—	—	5Н11
6			5,8	—	—	—	—	6Н9	5,8	—	—	6Н11
7			6,8	—	—	—	—	7Н9	6,8	—	—	7Н11
8			7,8	—	—	—	—	8Н9	7,8	—	—	8Н11
9	0,036	0,09	8,8	—	—	—	—	9Н9	8,8	—	—	9Н11
10			9,8	—	—	—	—	10Н9	9,8	—	—	10Н11
11			10	—	—	—	10,9	11Н9	10,8	—	—	11Н11
12			11	—	—	—	12,9	12Н9	11,8	—	—	12Н11
13	0,043	0,11	12	—	—	—	12,9	13Н9	12,7	—	—	13Н11
16			15	—	—	—	15,9	16Н9	14,3	—	—	16Н11
18			17	—	—	—	17,9	18Н9	16,3	—	—	18Н11
20			18	—	—	—	19,88	20Н9	17,5	—	—	20Н11
22			20	—	—	—	21,88	22Н9	19,5	—	—	22Н11
24	0,052	0,13	22	—	—	—	23,88	24Н9	21,5	—	—	24Н11
25			23	—	—	—	24,88	25Н9	22,5	—	—	25Н11

Окончание прил. 33

Диаметр отверстия, мм		Обработка отверстий с допусками по Н9										
		допуск		сверление		чистовое раста- чивание		зенке- рова- ние	раз- верты- вание	сверление		зенке- рова- ние
номи- нал	по Н9	по Н11	первое	второе	номи- нал	допуск по Н11	первое			второе	первое	
26			24	—	25,8		25,88	26Н9	24,5	—	26Н11	
28	0,052	0,13	26	—	27,8	0,13	27,88	28Н9	25,5	—	28Н11	—
30			15	28	29,8		29,88	30Н9	20	27,5	30Н11	
32			15	30	31,7		31,85	32Н9	20	29	32Н11	
34			15	32	33,7		33,85	34Н9	20	31	34Н11	
35			20	33	34,7		34,85	35Н9	20	32	35Н11	
36	0,062	0,16	20	34	35,7	0,16	35,85	36Н9	20	33	36Н11	—
37			20	35	36,7		36,85	37Н9	20	34	37Н11	
38			20	36	37,7		37,85	38Н9	20	35	38Н11	
40			25	38	39,7		39,85	40Н9	25	38	40Н11	
42			25	40	41,7		41,85	42Н9	25	40	42Н11	
45			25	43	44,7		44,85	45Н9	25	43	45Н11	
47	0,062	0,16	25	45	46,7	0,16	46,85	47Н9	25	45	47Н11	—
48			25	46	47,7		47,85	48Н9	25	46	48Н11	
50			25	48	49,7		49,85	50Н9	25	48	50Н11	

Примечания.

1. При сверлении отверстий в чугуне применять одно сверло для диаметров 30 и 32 мм (для отверстия 30 приме-
нять сверло 28, для отверстия 32 — сверло 30).
2. Выбор перехода «растачивание» или «зенкерование» определяется технологическим процессом.

Исполнительные размеры инструментов (мм)
при обработке проштампованных или полученных литьем отверстий по 9-му и 11-му квалификациям

Диаметр отверстия, мм	Допуск		Черновое растачивание		Чистовое растачивание		Развертывание, тонирование		Зенкерование или растачивание по Н11	
	по Н9	по Н11	первое	второе	номинал	Допуск по Н11	первое	второе	первое	второе
30	0,052	0,13	—	28	29,8	0,13	29,93	30Н9	28	30Н11
32			—	30	31,7		31,93	32Н9	30	32Н11
34			—	32	33,7		33,93	34Н9	32	34Н11
35			—	33	34,7		34,93	35Н9	32	35Н11
36			—	34	35,7		35,93	36Н9	34	36Н11
37			—	35	36,7		36,93	37Н9	34	37Н11
38			—	36	37,7		37,93	38Н9	36	38Н11
40	0,062	0,16	—	38	39,7	0,16	39,93	40Н9	38	40Н11
42			—	40	41,7		41,93	42Н9	40	42Н11
45			—	43	44,7		44,93	45Н9	42	45Н11
47			—	45	46,7		46,93	47Н9	43	47Н11
48			—	46	47,7		47,93	48Н9	46	48Н11
50			45	48	49,7		49,93	50Н9	48	50Н11
52			47	50	51,5		51,92	52Н9	50	52Н11
55	0,074	0,19	50	53	54,5	0,19	54,92	55Н9	52	55Н11

Диаметр отверстия, мм			Обработка отверстий						Зенкерование	
Номинал	Допуск		черновое растачивание		чистовое растачивание		развертывание, тонкое растачивание		или растачивание по Н11	
	по Н9	по Н11	первое	второе	номинал	Допуск по Н11	первое	второе	первое	второе
58			53	56	57,5		57,92	58Н9	55	58Н11
60			55	58	59,5		59,92	60Н9	58	60Н11
62			57	60	61,5		61,92	62Н9	60	62Н11
63			58	61	62,5		62,92	63Н9	60	63Н11
65			60	63	64,5		64,92	65Н9	62	65Н11
68	0,074	0,19	63	66	67,5	0,19	67,9	68Н9	65	68Н11
70			65	68	69,5		69,9	70Н9	68	70Н11
72			67	70	71,5		71,9	72Н9	70	72Н11
75			70	73	74,5		74,9	75Н9	72	75Н11
78			73	76	77,5		77,9	78Н9	75	78Н11
80			75	78	79,5		79,9	80Н9	78	80Н11
85			80	83	84,3		84,85	85Н9	82	85Н11
90			85	88	89,3		89,85	90Н9	88	90Н11
95			90	93	94,3		94,85	95Н9	92	95Н11
100	0,087	0,22	95	98	99,3	0,22	99,85	100Н9	98	100Н11
105			100	103	104,3		104,8	105Н9	102	105Н11
110			105	108	109,3		109,8	110Н9	107	110Н11

Окончание прил. 34

Диаметр отверстия, мм		Обработка отверстий						Зенкерование		
Номинал	Допуск		черновое растачивание		чистовое растачивание		развертывание, тонкое растачивание		или растачивание по Н11	
	по Н9	по Н11	первое	второе	номинал	Допуск по Н11	первое	второе	первое	второе
115	0,087	0,22	110	113	114,3	0,22	114,8	115Н9	112	115Н11
120			115	118	119,3		119,8	120Н9	117	120Н11
125	0,1	0,25	120	123	124,3	0,25	124,8	125Н9	122	125Н11
130			125	128	129,3		129,8	130Н9	127	130Н11
135			130	133	134,3		134,8	135Н9	132	135Н11
140			135	138	139,3		139,8	140Н9	137	140Н11
145			140	143	144,3		144,8	145Н9	142	145Н11
150			145	148	149,3		149,8	150Н9	147	150Н11
155			150	153	154,3		154,8	155Н9	152	155Н11
160			155	158	159,3		159,8	160Н9	157	160Н11
165			160	163	164,3		164,8	165Н9	162	165Н11
170			165	168	169,3		169,8	170Н9	167	170Н11
175	170	173	170	173	174,3	174,8	174,8	175Н9	172	175Н11
180			175	178	179,3		179,8	180Н9	177	180Н11
190	0,115	0,29	185	188	189,3	0,29	189,8	190Н9	187	190Н11
195			190	193	194,3		194,8	195Н9	192	195Н11
200			194	197	199,3		199,8	200Н9	197	200Н11

Примечание. При обработке сквозных отверстий по Н9 диаметром свыше 80 мм рекомендуется применять двухрезцовые оправки для совмещения первого и второго чернового растачивания.

Припуски a (мм) на толщину детали на черновое фрезерование (строгание) плоскостей заготовок из широкополосовой стали

Номинальная толщина, мм	Длина, мм			
	до 120	свыше 120 до 260	свыше 260 до 500	свыше 500 до 800
Свыше 5 до 20	1,3	1,6	—	—
" 20 " 30	1,5	1,8	2,1	—
" 30 " 50	1,8	1,9	2,4	2,8
" 50 " 60	1,9	2,0	2,6	3,1

Примечание. Величины припусков даны на одну сторону. При ширине обрабатываемой поверхности свыше 200 мм допускается увеличение припуска на 10...20%.

Приложение 36

Припуски на чистовое фрезерование (строгание) плоскостей заготовок из широкополосовой стали

Диаметр обрабатываемой детали, мм	Припуск, мм	Диаметр обрабатываемой детали, мм	Припуск, мм
До 20	1,0	Свыше 75 до 150	2,0
Свыше 20 до 75	1,5	Свыше 150	2,5

Приложение 37

Минимальные и максимальные припуски (мм) на обработку плоскостей

(в числителе — минимальные значения, в знаменателе — максимальные)



Плоскость	Ширина плоскости, мм	Длина плоскости, мм			
		до 100	свыше 100 до 250	свыше 250 до 500	свыше 500
<i>Под чистовое фрезерование после чернового</i>					
Чугунная и стальная	До 100	0,75/0,90	0,80/1,00	0,90/1,20	1,00/1,40
	Свыше 100 до 200	—	0,90/1,20	1,00/1,30	1,10/1,50
	Свыше 200	—	—	1,00/1,40	1,10/1,50

Плоскость	Ширина плоскости, мм	Длина плоскости, мм			
		до 100	свыше 100 до 250	свыше 250 до 500	свыше 500
Чугунная и стальная	<i>Под чистовое шлифование после чистового фрезерования</i>				
	До 100	0,20/0,27	0,20/0,30	0,25/0,40	0,30/0,50
	Свыше 100 до 200	—	0,25/0,40	0,25/0,45	0,30/0,50
	Свыше 200	—	—	0,30/0,50	0,35/0,55
Стальная закаленная	<i>Под чистовое строгание после черного</i>				
	До 100	0,60/0,70	0,60/0,80	0,70/1,00	0,80/1,10
	Свыше 100 до 200	—	0,70/0,90	0,75/1,00	0,90/1,20
	Свыше 200	—	—	0,80/1,00	1,00/1,20
	<i>Под чистовое шлифование после чистового строгания</i>				
	До 100	0,23/0,30	0,25/0,35	0,30/0,45	0,35/0,55
	Свыше 100 до 200	—	0,30/0,45	0,35/0,50	0,40/0,60
Свыше 200	—	—	0,40/0,60	0,45/0,65	

Приложение 38

Минимальные припуски (мм) на плоское шлифование для деталей 7—9-го квалитетов точности

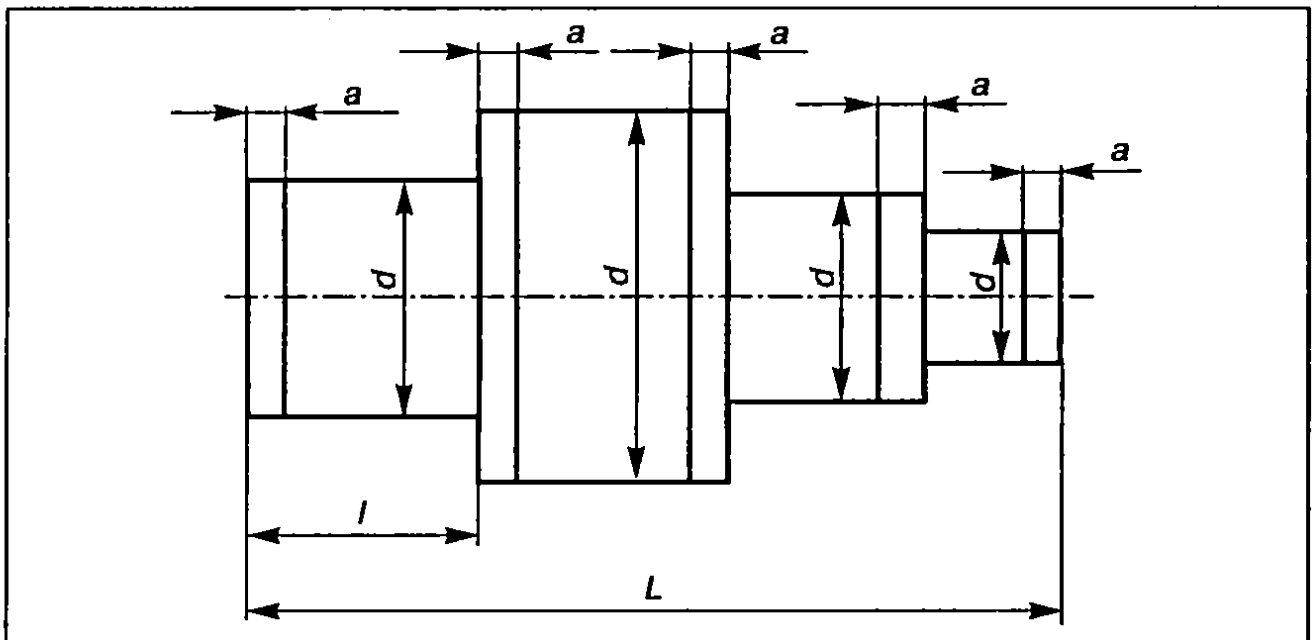
(в числителе — для сырой заготовки, в знаменателе — для каленой)

Толщина δ , мм	Ширина H , мм	Длина изделия, мм			
		до 100	свыше 100 до 250	свыше 250 до 500	свыше 500 до 1000
До 20	До 100	0,35/0,50	0,40/0,60	0,50/0,70	0,60/0,80
	100—250	—	0,50/0,70	0,60/0,80	0,70/0,90
	250—500	—	—	0,70/0,90	0,80/1,00
Свыше 20 до 50	До 100	0,30/0,45	0,35/0,50	0,40/0,60	0,50/0,70
	100—250	—	0,40/0,60	0,50/0,70	0,60/0,80
	250—500	—	—	0,60/0,80	0,70/0,90
	500—800	—	—	0,70/0,90	0,80/1,00

Примечания.

1. Величины припусков даны на одну сторону.
2. На детали с минусовыми допусками, имеющие 11—14-й квалитет точности, шероховатость 1,6...0,80 мкм и повышенную точность по плоскости, перпендикулярности и параллельности, припуск под шлифование необходимо назначить менее основного значения, выбранного по таблице: для деталей 11-го квалитета точности — на 15%, а для деталей 12—14-го квалитетов точности — на 30%.

**Минимальный припуск a (мм)
на чистовую подрезку и шлифование торцов**



Диаметр обрабатываемой детали d , мм	Длина обрабатываемой детали L , мм					
	до 30	свыше 30 до 50	свыше 50 до 120	свыше 120 до 260	свыше 260 до 500	свыше 500
<i>Черновое подрезание</i>						
Свыше 6 до 18	1,2	1,3	1,4	1,6	—	—
" 18 " 30	1,2	1,3	1,5	1,7	2,1	2,3
" 30 " 50	1,3	1,4	1,6	1,8	2,2	2,4
" 50 " 80	1,5	1,6	1,8	2,2	2,4	2,6
" 80 " 120	1,6	1,8	1,9	2,3	2,6	2,8
" 120 " 180	1,8	1,9	2,0	2,4	2,7	3,0
" 180 " 200	2,0	2,1	2,3	2,5	3,0	3,2
<i>Чистовое подрезание</i>						
Свыше 6 до 18	0,6	0,6	0,8	0,9	—	—
" 18 " 30	0,6	0,7	0,9	1,0	1,2	1,5
" 30 " 50	0,7	0,8	0,9	1,1	1,3	1,6
" 50 " 80	0,8	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6
" 80 " 120	0,8	0,9	1,1	1,3	1,5	1,7
" 120 " 180	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8
" 180 " 200	1,0	1,1	1,3	1,5	1,7	1,9

Диаметр обрабатываемой детали d , мм	Длина обрабатываемой детали L , мм					
	до 30	свыше 30 до 50	свыше 50 до 120	свыше 120 до 260	свыше 260 до 500	свыше 500
<i>Шлифование</i>						
Свыше 6 до 18	0,3	0,3	0,3	0,4	—	—
" 18 " 30	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6
" 30 " 50	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6
" 50 " 80	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6
" 80 " 120	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	0,6
" 120 " 180	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7
" 180 " 200	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7	0,8

Примечания.

1. Припуски на черновое подрезание торцов приведены для случаев, когда заготовки отрезают механическими ножовками, дисковыми пилами и фрезами на фрезерных, фрезерно-отрезных станках и отрезными резцами. Величины припусков даны на сторону. При обработке валов с уступами припуск брать на каждый уступ отдельно исходя из его диаметра и общей длины вала. Предельные отклонения и шероховатость поверхности приняты:
под черновое подрезание по $\pm \frac{IT14}{2}$; $\pm \frac{IT13}{2}$;
под чистовое подрезание — по $h12$, $h13$ и $Rz = 40$ мкм;
под шлифование — по $h11$ и $Rz = 20$ мкм.

2. Предельные отклонения установлены на измеряемый размер.

Приложение 40

Минимальные припуски (мм) на чистовое фрезерование и шлифование плоскостей

Толщина, мм	Ширина, мм	Длина, мм				
		до 100	свыше 100 до 250	свыше 250 до 500	свыше 500 до 1000	свыше 1000 до 1500
<i>Фрезерование</i>						
До 20	До 100	0,80	1,00	1,20	—	—
	Свыше 100 до 250	—	1,20	1,50	2,00	—
	" 250 " 500	—	—	2,50	—	—
	" 500 " 800	—	—	—	—	—

Толщина, мм	Ширина, мм	Длина, мм				
		до 100	свыше 100 до 250	свыше 250 до 500	свыше 500 до 1000	свыше 1000 до 1500
Свыше 20 до 50	До 100	0,80	1,00	1,20	1,50	1,80
	Свыше 100 до 250	—	1,20	1,50	1,90	2,30
	" 250 " 500	—	—	2,40	2,50	2,70
	" 500 " 800	—	—	2,50	2,70	2,90
Свыше 50 до 100	До 100	0,80	1,00	1,10	1,40	1,70
	Свыше 100 до 250	—	1,10	1,40	1,80	2,20
	" 250 " 500	—	—	2,30	2,40	2,60
	" 500 " 800	—	—	2,40	2,60	2,80
Свыше 100	До 100	0,80	1,00	1,10	1,40	1,70
	Свыше 100 до 250	—	1,10	1,40	1,80	2,20
	" 250 " 500	—	—	2,30	2,40	2,60
	" 500 " 800	—	—	2,40	2,60	2,80
<i>Шлифование</i>						
До 20	До 100	0,35	0,40	0,50	0,60	0,65
	Свыше 100 до 250	—	0,50	0,55	0,60	0,70
	" 250 " 500	—	—	0,60	0,70	0,75
	" 500 " 800	—	—	—	—	—
Свыше 20 до 50	До 100	0,35	0,35	0,40	0,50	0,55
	Свыше 100 до 250	—	0,40	0,50	0,55	0,60
	" 250 " 500	—	—	0,55	0,65	0,70
	" 500 " 800	—	—	0,65	0,70	0,75
Свыше 50 до 100	До 100	0,30	0,35	0,35	0,40	0,45
	Свыше 100 до 250	—	0,35	0,40	0,50	0,55
	" 250 " 500	—	—	0,50	0,60	0,65
	" 500 " 800	—	—	0,60	0,65	0,70
Свыше 100	До 100	0,30	0,30	0,30	0,35	0,40
	Свыше 100 до 250	—	0,35	0,35	0,45	0,45
	" 250 " 500	—	—	0,40	0,50	0,55
	" 500 " 800	—	—	0,50	0,60	0,65

Примечания.

1. Припуски даны на одну сторону.

2. Припуски на шлифование закаленных деталей определяют, умножая табличные значения на коэффициент 1,2.

3. Предельные отклонения толщины детали и параметры шероховатости поверхности приняты:

под чистовое фрезерование по h_{12} , h_{13} и $R_z = 40$ мкм;

под шлифование по h_{11} и $R_z = 20$ мкм.

Приложение 41

Нормативы заработной платы* с начислениями (руб.)

Категория рабочих	Вид оплаты	Тарифный разряд					
		1	2	3	4	5	6
Станочники	Часовая (руб./ч)	1,34	1,46	1,61	1,78	2,00	2,29
Наладчики	Годовая (руб./год)	2213	2399	2660	2939	3311	3794

* По расценкам 1996 года (нормативной базе)

Приложение 42

Нормы амортизационных отчислений H_s
(% от балансовой стоимости оборудования)

Станки универсальные и специализированные массой, т	Производство	
	массовое и крупносерийное	серийное, мелкосерийное и единичное
До 10	14,1	11,6
Свыше 10	10,3	7,5

Приложение 43

Нормативы годовых затрат H_m и H_s (руб.) на ремонт и обслуживание металлорежущих станков

Масса станка, т	Ремонтируемая или обслуживаемая часть станка	
	механическая	электрическая
До 10	30,8	7,3
Свыше 10	37,1	7,9

Приложение 44

Коэффициенты загрузки электродвигателей $\eta_{з.э}$

Станки	Производство		
	единичное и мелкосерийное	серийное	крупносерийное и массовое
Токарные	0,26	0,39	0,5
Сверлильные	0,23	0,31	0,4
Расточные	0,18	0,26	0,36
Токарно-револьверные и протяжные	0,27	0,36	0,5
Шлифовальные	0,26	0,39	0,5
Зубообрабатывающие	0,46	0,63	0,75
Фрезерные	0,31	0,45	0,55
Полуавтоматы и автоматы	0,68	0,9	0,95

Укрупненные нормативные стоимости* станочных приспособлений

Число наименований деталей	Стоимость приспособления, руб.	Число наименований деталей	Стоимость приспособления, руб.
До 3	До 8,5	40...45	335...360
3...5	8,5...17,0	45...50	360...390
5...10	17,0...30,0	50...55	390...640
10...15	30...62	55...60	640...690
15...20	62...80	60...65	690...735
20...25	80...145	65...70	735...765
25...30	145...197	70...80	765...850
30...35	197...252	80...90	850...925
35...40	252...335	90...100	925...1000

* По нормативам 1996 года

Коэффициент, учитывающий добавочную площадь для станков

Габаритная площадь станка, м²	Коэффициент
Свыше 20	1,5
10...20	2,0
6...10	2,5
4...6	3,0
2...4	3,5

Примерная стоимость разработки управляющих программ для станков с ЧПУ

Назначение программы	Среднее число кадров на программу	Примерная стоимость разработки, руб.
Для токарной обработки	120	36,0
Для фрезерной обработки: до трех координат три координаты и более	230	63,0
	240	115,0
Для сверления	75	10,0
Для растачивания	140	70,0
Для обработки на много-целевых станках	600	530

Приложение 48

Перечень металлорежущего оборудования, рекомендуемого для использования при решении задач

Наименование станка	Модель	Обрабатываемые размеры детали D×H, мм	Габариты станка (длина на ширину), м	Мощность электродвигателя, кВт <u>Масса станка, т</u>	Оптовая цена * Ц, руб.	Категория ремонтной сложности механической и электрической частей $\frac{K_m}{K_9}$	Коэффициент машиночаса $K_{м.ч}$
Токарный 6-шпиндельный горизонтальный полуавтомат	1Б290П-6К	200 200	4,3 2,0	$\frac{30}{18,4}$	58 305	$\frac{24,0}{7,0}$	6,1
Токарный 8-шпиндельный вертикальный патронный полуавтомат	1К282	250 350	3,1 3,0	$\frac{55,0}{19,0}$	31 720	$\frac{30,0}{5,0}$	6,5
Токарный 6-шпиндельный вертикальный патронный полуавтомат	КБ284	360 200	3,3 3,0	$\frac{22,0}{15,0}$	19 182	$\frac{39,0}{5,0}$	4,5
Токарно-револьверный	1Г340П	200 200	5,17 1,2	$\frac{6,0}{3,0}$	14 050	$\frac{6,0}{3,4}$	1,9
Токарно-винторезный	16К20	220 710	2,5 1,2	$\frac{11,0}{3,7}$	5450	$\frac{11,0}{8,5}$	1,0
Токарно-винторезный с ЧПУ	16К20Ф3	220 1000	3,36 1,71	$\frac{10}{4,0}$	24 400	$\frac{14,0}{26,0}$	4,5

Продолжение прил. 48

Наименование станка	Модель	Обработываемые размеры детали D×L или B×H, мм	Габариты станка (длина на ширину), м	Мощность электродвигателя, кВт Масса станка, т	Оптовая цена* Ц, руб.	Категория ремонтной сложности механической и электрической частей $\frac{K_m}{K_e}$	Коэффициент машиночаса $K_{м.ч}$
Токарно-копировальный полуавтомат	1Н713	250 500	2,45 1,25	$\frac{5,0}{4,7}$	7417	$\frac{17,0}{18,0}$	2,4
Вертикально-сверлильный	2Н118	18 300	0,87 0,59	$\frac{1,7}{0,45}$	721	$\frac{5,5}{5,5}$	0,6
	2Н125	25 170	0,92 0,78	$\frac{2,2}{0,88}$	1120	$\frac{7,0}{4,5}$	0,8
Вертикально-сверлильный с ЧПУ	2Р135Ф2	35 560	1,8 2,17	$\frac{3,7}{4,7}$	27 140	$\frac{8,0}{20,4}$	9,3
Вертикально-сверлильный с многошпиндельной головкой	2С150	50 400	1,7 1,3	$\frac{7,5}{2,1}$	2420	$\frac{14}{6,0}$	2,8
Радиально-сверлильный	2М55	50 350	2,45 1,0	$\frac{4,0}{3,0}$	4590	$\frac{17,0}{11,5}$	1,5
Горизонтально-расточной	2М614	600 800	4,3 2,74	$\frac{5,2}{5,85}$	11 760	$\frac{16,0}{4,5}$	2,4
Вертикальный сверлильно-фрезерно-расточной с ЧПУ	2254ВМФ4	500 300	4,3 3,5	$\frac{6,3}{6,5}$	156 234	$\frac{11,0}{30,0}$	22,0

Продолжение прил. 48

Наименование станка	Модель	Обрабатываемые размеры детали D×L или B×H, мм	Габариты станка (длина на ширину), м	Мощность электродвигателя, кВт Масса станка, т	Оптовая цена* Ц, руб.	Категория ремонтной сложности механической и электрической частей $\frac{K_m}{K_g}$	Коэффициент машиночаса $K_{м.ч}$
Горизонтальный сверлильно-фрезерно-расточной с ЧПУ	ИР320ПМФ4	270 270	4,0 2,3	$\frac{7,5}{8,0}$	176 000	$\frac{11,0}{35,0}$	20,0
Круглошлифовальный универсальный	3Е12	100 200	2,3 2,4	$\frac{3,0}{3,5}$	9855	$\frac{8,0}{2,0}$	3,1
Круглошлифовальный	3М151	200 700	4,6 2,45	$\frac{10,0}{5,6}$	11 600	$\frac{8,0}{8,0}$	2,7
Круглошлифовальный с ЧПУ	3М151Ф2	200 700	5,4 2,45	$\frac{15,2}{6,5}$	48 415	$\frac{8,0}{39,0}$	11,0
Торцекруглошлифовальный	3Т160	280 130	3,8 4,7	$\frac{17,0}{8,11}$	25 030	$\frac{10,0}{23,5}$	2,9
Внутришлифовальный	5В312	320 140	1,79 1,42	$\frac{7,5}{5,7}$	10 810	$\frac{12,0}{19,0}$	2,7
Зубострогальный полуавтомат	5236П	125 63	1,41 1,05	$\frac{1,1}{5,4}$	14 300	$\frac{20}{15}$	4,0
Зубофрезерный полуавтомат	3К228В	400 200	4,0 2,3	$\frac{5,5}{6,9}$	15 410	$\frac{10,0}{6,0}$	2,8

Окончание прил. 48

Наименование станка	Модель	Обрабатываемые размеры детали D×L или B×H, мм	Габариты станка (длина на ширину), м	Мощность электродвигателя, кВт Масса станка, т	Оптовая цена* Ц, руб.	Категория ремонтной сложности механической и электрической частей $\frac{K_m}{K_e}$	Коэффициент машиночаса $K_{м.ч}$
Зубошевинговальный	5702	320 100	1,82 1,5	$\frac{3,0}{5,3}$	10 600	$\frac{10,0}{13,0}$	2,9
Зубошлифовальный	5В833	320 150	2,4 2,5	$\frac{4,0}{7,0}$	27 105	$\frac{15,0}{10,0}$	4,1
Вертикально-фрезерный	6Р11	200 800	1,48 2,0	$\frac{5,5}{2,36}$	3231	$\frac{9,5}{8,0}$	1,7
Горизонтально-фрезерный	6Н804Г	130 500	1,17 1,16	$\frac{1,5}{0,7}$	2210	$\frac{7,0}{3,0}$	1,3
Шпоночно-фрезерный	692Р	200 500	1,5 1,8	$\frac{2,2}{2,0}$	5440	$\frac{12,0}{3,0}$	1,8
Горизонтально-протяжной полуавтомат	7Б55	100 1000	6,34 2,1	$\frac{18,5}{5,2}$	11 100	$\frac{9,0}{3,0}$	6,8
Фрезерно-центровальный полуавтомат	МР71М	125 500	3,14 1,63	$\frac{13,0}{2,6}$	7040	$\frac{5,0}{3,0}$	2,9

* Оптовая цена оборудования приведена в ценах по прейскуранту № 18-01 от 1981 г.

Критические точки распределения Стьюдента ($t_{1-\alpha/2; f}$)

Число степеней свободы f	Уровень значимости α		
	0,05	0,02	0,01
3	3,18	4,54	5,84
4	2,78	3,75	4,60
5	2,57	3,37	4,03
6	2,45	3,14	3,71
7	2,36	3,00	3,50
8	2,31	2,90	3,36
9	2,26	2,82	3,25
10	2,23	2,76	3,17
20	2,09	2,53	2,85
30	2,04	2,46	2,75
40	2,02	2,42	2,70

Приложение 50

Функция распределения нормированного

закона Релея $\Phi(t) = \int_0^t te^{-\frac{t^2}{2}} dt$

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	0,0001	0,0002	0,0005	0,0008	0,0013	0,0018	0,0024	0,0032	0,0040
0,1	0050	0060	0072	0084	0098	0112	0127	0143	0161	0179
0,2	0198	0218	0239	0261	0284	0308	0332	0358	0384	0412
0,3	0440	0469	0499	0530	0562	0594	0628	0662	0690	0732
0,4	0769	0806	0844	0883	0923	0963	1004	1046	1088	1131
0,5	1175	1220	1265	1310	1357	1404	1451	1499	1548	1598
0,6	1647	1698	1749	1800	1852	1904	1957	2010	2064	2118
0,7	2173	2228	2283	2339	2395	2452	2508	2566	2623	2661
0,8	2739	2797	2855	2914	2973	3032	3091	3151	3211	3270
0,9	3330	3390	3450	3511	3571	3632	3692	3753	3813	3874
1,0	3935	3995	4056	4117	4177	4238	4298	4359	4419	4479
1,1	4539	4599	4659	4719	4779	4838	4897	4956	5015	5074
1,2	5132	5191	5249	5307	5364	5422	5479	5536	5592	5649
1,3	5704	5760	5815	5871	5925	5980	6034	6088	6141	6194

<i>t</i>	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
1,4	0,6247	0,6299	0,6351	0,6403	0,6454	0,6505	0,6555	0,6608	0,6655	0,6705
1,5	6753	6802	6850	6898	6945	6992	7038	7084	7130	7175
1,6	7220	7298	7308	7351	7394	7437	7479	7520	7562	7602
1,7	7643	7682	7722	7761	7799	7837	7875	7912	7949	7985
1,8	8021	8056	8092	8126	8160	8194	8227	8260	8292	8324
1,9	8355	8386	8417	8447	8477	8506	8535	8564	8592	8619
2,0	8647	8674	8700	8726	8752	8777	8802	8826	8851	8874
2,1	8898	8920	8943	8965	8987	9009	9030	9051	9071	9091
2,2	9111	9130	9149	9168	9186	9204	9222	9240	9257	9274
2,3	9290	9306	9322	9338	9353	9368	9383	9397	9411	9425
2,4	9439	9452	9465	9478	9490	9503	9515	9527	9538	9550
2,5	9561	9572	9582	9593	9603	9613	9623	9632	9641	9651
2,6	9660	9668	9677	9685	9693	9702	9709	9717	9724	9732
2,7	9739	9746	9753	9760	9766	9772	9778	9784	9790	9796
2,8	9802	9807	9813	9818	9823	9829	9833	9837	9842	9846
2,9	9851	9855	9859	9863	9867	9871	9875	9878	9882	9885
3,0	9889	9892	9896	9899	9902	9905	9907	9910	9913	9916
3,1	9918	9921	9923	9925	9928	9930	9932	9934	9936	9938
3,2	9940	9942	9944	9946	9947	9949	9951	9952	9954	9955
3,3	9957	9958	9960	9961	9962	9963	9965	9966	9967	9968
3,4	9969	9970	9971	9972	9973	9974	9975	9976	9976	9977
3,5	9978	9979	9980	9980	9981	9982	9982	9983	9984	9984

Приложение 51

Критические точки распределения Фишера ($F_{\alpha; f_1; f_2}$)

f_1	α	f_2													
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	16	20	30	40
3	0,05	9,28	9,12	9,01	8,94	8,89	8,81	8,79	8,79	8,76	8,74	8,69	8,66	8,62	8,59
	0,01	29,5	28,7	28,2	27,9	27,7	27,5	27,3	27,2	27,1	27,0	26,8	26,7	26,5	26,4
4	0,05	6,59	6,39	6,26	6,16	6,09	6,04	6,00	5,96	5,94	5,91	5,84	5,80	5,75	5,72
	0,01	16,7	16,0	15,5	15,2	15,0	14,8	14,7	14,5	14,3	14,2	14,1	14,0	13,8	13,7
5	0,05	5,41	5,19	5,04	4,95	4,88	4,85	4,82	4,77	4,71	4,68	4,60	4,56	4,50	4,46
	0,01	12,1	11,4	11,0	10,7	10,5	10,3	10,2	10,1	9,96	9,89	9,68	9,55	9,38	9,26
6	0,05	4,76	4,53	4,39	4,28	4,21	4,15	4,10	4,06	4,03	4,0	3,92	3,87	3,81	3,77
	0,01	9,78	9,15	8,75	8,47	8,26	8,10	7,98	7,87	7,79	7,72	7,52	7,40	7,29	7,14
7	0,05	4,35	4,12	3,97	3,87	3,79	3,73	3,68	3,64	3,60	3,57	3,49	3,44	3,38	3,34
	0,01	8,45	7,85	7,46	7,19	6,99	6,84	6,72	6,62	6,54	6,47	6,27	6,16	5,99	5,91

f_1	α	f_2													
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	16	20	30	40
8	0,05	4,07	3,84	3,69	3,58	3,50	3,44	3,39	3,35	3,31	3,28	3,20	3,15	3,08	3,04
	0,01	7,5	7,01	6,63	6,37	6,18	6,03	5,91	5,81	5,73	5,67	5,48	5,36	5,20	5,12
9	0,05	3,86	3,63	3,48	3,37	3,29	3,23	3,18	3,14	3,10	3,07	2,98	2,94	2,86	2,83
	0,01	6,99	6,42	6,06	5,80	5,61	5,47	5,35	5,26	5,18	5,11	4,92	4,81	4,65	4,57
10	0,05	3,71	3,48	3,38	3,22	3,14	3,07	3,02	2,96	2,94	2,91	2,82	2,77	2,70	2,66
	0,01	6,55	5,99	5,64	5,39	5,20	5,06	4,94	4,85	4,77	4,71	4,52	4,41	4,25	4,17
11	0,05	3,59	3,36	3,20	3,09	3,01	2,95	2,90	2,85	2,82	2,79	2,70	2,59	2,57	2,53
	0,01	6,22	5,67	5,32	5,07	4,89	4,74	4,63	4,54	4,46	4,40	4,21	4,10	3,94	3,86
12	0,05	3,49	3,26	3,11	3,00	2,92	2,85	2,80	2,76	2,72	2,69	2,60	2,54	2,46	2,42
	0,01	5,95	5,41	5,06	4,82	4,64	4,50	4,39	4,30	4,22	4,16	3,98	3,86	3,70	3,61
14	0,05	3,34	3,11	2,96	2,85	2,77	2,70	2,65	2,60	2,56	2,53	2,44	2,39	2,31	2,27
	0,01	5,56	5,03	4,69	4,46	4,28	4,14	4,03	3,94	3,86	3,80	3,62	3,51	3,34	3,26
20	0,05	3,10	2,87	2,71	2,60	2,52	2,45	2,40	2,35	2,31	2,28	2,18	2,12	2,04	1,99
	0,01	4,94	4,43	4,10	3,87	3,71	3,56	3,45	3,37	3,30	3,23	3,05	2,94	2,77	2,69

Примечание. f_1, f_2 — число степеней свободы; α — уровень значимости.

Приложение 52

Значения функции Лапласа $\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-\frac{z^2}{2}} dz$

z	0,00	0,02	0,04	0,06	0,08
0,0	0,0000	0,0080	0,0160	0,0239	0,0319
0,1	0,0398	0,0478	0,0557	0,0636	0,0714
0,2	0,0793	0,0871	0,0948	0,1026	0,1103
0,3	0,1179	0,1255	0,1331	0,1406	0,1480
0,4	0,1554	0,1628	0,1700	0,1772	0,1844
0,5	0,1915	0,1985	0,2054	0,2123	0,2190
0,6	0,2257	0,2324	0,2389	0,2454	0,2517
0,7	0,2580	0,2642	0,2704	0,2764	0,2823
0,8	0,2881	0,2939	0,2995	0,3051	0,3106
0,9	0,3159	0,3212	0,3264	0,3315	0,3365
1,0	0,3413	0,3461	0,3508	0,3554	0,3599
1,1	0,3643	0,3686	0,3729	0,3770	0,3810
1,2	0,3849	0,3888	0,3925	0,3962	0,3997
1,3	0,4032	0,4066	0,4099	0,4131	0,4162
1,4	0,4192	0,4222	0,4251	0,4279	0,4306
1,5	0,4332	0,4357	0,4382	0,4406	0,4429
1,6	0,4452	0,4474	0,4495	0,4515	0,4535

z	0,00	0,02	0,04	0,06	0,08
1,7	0,4554	0,4573	0,4591	0,4608	0,4625
1,8	0,4641	0,4656	0,4671	0,4686	0,4699
1,9	0,4713	0,4726	0,4738	0,4750	0,4761
2,0	0,4772	0,4783	0,4793	0,4803	0,4812
2,1	0,4821	0,4830	0,4838	0,4846	0,4854
2,2	0,4861	0,4868	0,4875	0,4881	0,4887
2,3	0,4893	0,4898	0,4904	0,4909	0,4913
2,4	0,4928	0,4922	0,4927	0,4931	0,4934
2,5	0,4938	0,4941	0,4945	0,4948	0,4951
2,6	0,4953	0,4956	0,4959	0,4961	0,4963
2,7	0,4965	0,4967	0,4969	0,4971	0,4973
2,8	0,4974	0,4976	0,4977	0,4979	0,4980
2,9	0,4981	0,4982	0,4984	0,4985	0,4986
3,0	0,49865	0,49874	0,49882	0,49889	0,49896
3,1	0,49903	0,49909	0,49916	0,49921	0,49929
3,2	0,49931	0,49936	0,49940	0,49944	0,49948
3,3	0,49952	0,49955	0,49958	0,49961	0,49964
3,4	0,49966	0,49969	0,49971	0,49973	0,49975

Примечание. Значение 0 для $\Phi(z)$ опущено.

Пример: $z = 3,26$; $\Phi(z) = 0,49944$.

z	$\Phi(z)$	z	$\Phi(z)$
3,50	0,49977	3,80	0,499928
3,55	0,49981	3,90	0,499952
3,60	0,49984	4,00	0,4999683
3,65	0,49987	4,50	0,4999966
3,70	0,49989	5,00	0,4999997

Нормы жесткости станков

Наименование станка	Модель	Прилагаемая сила, Н	Допускаемое смещение, мкм		
			шпинделя в вертикальном направлении	относительно оправки, закрепленной в шпинделе	относительно оправки, закрепленной в пиноле
Токарный многошпиндельный горизонтальный прутковый автомат	1Б240-4К	5980	—	80	—
Токарно-револьверный одношпиндельный	1Е140	5600	—	500	—
Токарно-револьверный многошпиндельный	1Г340	5490	—	260	—
Токарный гидроконтрольный полуавтомат	1Н713	16 000	—	320	450
Вертикально-фрезерный	6Р12	8000	360	—	—
Консольно-фрезерный	6Р81	7840	400	—	—

Приложение 54

Значения коэффициента C_p и показателей степени в формулах силы резания при обработке твердосплавным инструментом

Вид обработки	Составляющая силы резания									
	тангенциальная P_z						радиальная P_y			
	C_p	x	y	u	q	w	C_p	x	y	u
Точение конструкционной стали	—	—	—	—	—	—	243	0,9	0,6	-0,3
Фрезерование торцовое:										
конструкционной стали	825	1,0	0,75	1,1	1,3	0,2	—	—	—	—
серого чугуна	54,5	0,9	0,74	1,0	1,0	0	—	—	—	—
ковкого чугуна	491	1,0	0,75	1,1	1,3	0,2	—	—	—	—

**Нормы точности металлорежущих станков С (мкм)
на длине $L = 300$ мм**

Наименование станка	Модель	Допустимые отклонения от параллельности	
		оси шпинделя относительно направляющих	обрабатываемой поверхности основанию
Гидрокопировальный полуавтомат	1Н713	20	—
Вертикально-фрезерный	6Р12	—	20
Консольно-фрезерный	6Р81	—	25

Относительный износ u_0 (мкм/км) твердосплавных инструментов при обработке

Материал режущего инструмента	Обрабатываемый материал		
	углеродистая сталь	легированная сталь	чугун
Т30К4	3...4	4...6	—
Т15К6	5...7	9...10	—
ВК8	—	17...25	13...14
ВК3	—	9...10	6...10

Допуски размеров (мкм) (в числителе) и допустимые погрешности $\Delta_{изм}$ (мкм) (в знаменателе) в зависимости от качества

Номинальные размеры, мм	Квалитет IT				
	14	13	12	11	10
Свыше 18 до 30	520/100	330/70	210/40	130/25	84/15
" 30 " 50	620/120	390/80	250/50	160/30	100/20
" 50 " 80	740/150	460/90	300/60	190/40	120/20
" 80 " 120	870/170	540/100	350/70	220/40	140/25
" 120 " 180	1000/200	630/120	400/80	250/50	160/30
" 180 " 250	1150/220	720/140	460/90	290/60	185/35

Приложение 58

**Приближенные соотношения чисел твердости по Бринеллю, Роквеллу, Шору, Виккерсу
и значения предела прочности при растяжении (для стали)**

Диаметр отпечат- ка, мм	Шарик		Шкала в НРС	Шкала в НРВ	Число твердости по Шору HS	Число твердости по Вик- керсу HV	Предел прочности при растяже- нии σ_b для стали, МПа		
	стальной	твердо- сплавный					углероди- стой	хроми- стой	никеле- вой и хромони- келевой
2,00	946	—	—	—	—	—	—	—	—
2,05	899	—	—	—	—	—	—	—	—
2,10	856	—	—	—	—	—	—	—	—
2,15	817	—	—	—	—	—	—	—	—
2,20	780	872	72	—	106	1224	—	—	—
2,25	745	840	70	—	102	1116	—	—	—
2,30	712	812	68	—	98	1022	—	—	—
2,35	682	794	66	—	94	941	—	—	—
2,40	653	760	64	—	91	868	—	—	—
2,45	627	724	62	—	87	804	—	—	—
2,50	601	682	60	—	84	746	—	210	204
2,55	578	646	58	—	81	694	—	202	197
2,60	555	614	56	—	78	650	—	194	189
2,65	534	578	54	—	76	606	—	187	182

Продолжение прил. 58

Диаметр отпечатка, мм	Шарик		Шкала в НПС	Шкала в НВВ	Число твердости по Шору	Число твердости по Виккерсу	Предел прочности при растяжении σ_B для стали, МПа		
	стальной	твердосплавный					углеродистой	хромистой	никелевой и хромоникелевой
			Число твердости по Роквеллу		НС	НВ			
2,70	514	555	52	120	73	587	—	180	175
2,75	495	525	50	119	71	551	—	173	168
2,80	477	514	49	118	68	534	—	167	162
2,85	461	477	48	117	66	502	—	161	157
2,90	444	460	46	116	64	474	160	155	151
2,95	429	432	45	115	62	460	155	150	146
3,00	415	418	43	115	61	435	149	145	141
3,05	401	401	42	114	59	423	145	140	136
3,10	388	388	41	114	57	401	140	136	132
3,15	375	375	40	113	56	390	135	131	127
3,20	363	363	39	112	54	380	131	127	123
3,25	352	352	38	111	53	344	128	123	120
3,30	341	341	36	110	51	361	123	120	116
3,35	331	331	35	109	50	334	119	116	113
3,40	321	321	33	109	49	320	116	112	109
3,45	311	311	32	108	47	311	112	109	106
3,50	302	302	31	107	46	303	109	105	103

Продолжение прил. 58

Диаметр отпечатка, мм	Шарик		Шкала в НРС	Шкала в ННВ	Число твердости по Шору	Число твердости по Виккерсу	Предел прочности при растяжении $\sigma_{\text{в}}$ для стали, МПа		
	стальной	твердый сплавный					углеродистый	хромистый	никелевой и хромоникелевой
3,55	293	—	30	106	45	292	105	102	100
3,60	285	—	29	105	44	285	102	100	97
3,65	277	—	28	105	43	278	100	97	94
3,70	269	—	27	104	42	270	97	94	92
3,75	262	—	26	103	41	261	94	92	89
3,80	255	—	25	103	40	255	92	89	87
3,85	248	—	25	102	39	249	89	87	84
3,90	241	—	24	102	38	240	87	84	82
3,95	235	—	23	101	37	235	84	82	80
4,00	229	—	22	100	36	228	82	80	78
4,05	223	—	21	99	35	222	80	78	76
4,10	217	—	20	98	34	217	78	76	74
4,15	212	—	19	97	34	213	76	74	72
4,20	207	—	18	95	34	208	74	72	70
4,25	201	—	16	94	33	201	72	70	68
4,30	197	—	15	93	32	197	71	69	67
4,35	192	—	14	92	31	192	69	67	65

Продолжение прил. 58

Диаметр отпечатка, мм	Шарик		Шкала в НРС	Шкала в НРВ	Число твердости по Шору	Число твердости по Виккерсу	Предел прочности при растяжении σ_b для стали, МПа		
	Стальной	Твердый сплавный					углеродистой	хромистой	никелевой и хромоникелевой
			Число твердости по Роквеллу		НС	HV			
4,40	187	—	13	91			30	186	67
4,45	183	—	11	90	30	183	66	64	62
4,50	179	—	10	90	29	178	64	62	61
4,55	174	—	9	89	29	174	62	61	59
4,60	170	—	7	88	28	171	61	60	58
4,65	167	—	6	87	28	166	60	59	57
4,70	163	—	4	86	27	162	59	57	55
4,75	159	—	3	85	27	159	57	56	54
4,80	156	—	2	84	26	155	56	55	53
4,85	152	—	—	83	26	152	55	53	52
4,90	149	—	—	82	25	149	54	52	51
4,95	146	—	—	81	24	148	52	51	50
5,00	143	—	—	80	24	143	51	50	49
5,05	140	—	—	79	24	140	50	49	48
5,10	137	—	—	78	23	138	49	48	47
5,15	134	—	—	77	23	134	48	47	46
5,20	131	—	—	76	23	131	47	46	45

Продолжение прил. 58

Число твердости по Бринеллю <i>HВ</i> (шарик $\varnothing 10$ мм; нагрузка 30 000 Н)			Число твердости по Роквеллу		Число твердости по Шору	Число твердости по Вик- керсу	Предел прочности при растяже- нии σ_b для стали, МПа		
Диаметр отпечат- ка, мм	Шарик		Шкала в <i>HRC</i>	Шкала в <i>HVB</i>			<i>HS</i>	<i>HV</i>	углероди- стой
	стальной	твердо- сплавный							
5,25	128	—	—	75	22	129	46	45	44
5,30	126	—	—	74	22	127	45	44	43
5,35	123	—	—	73	22	123	44	43	42
5,40	121	—	—	72	21	121	43	42	41
5,45	118	—	—	71	21	118	42	41	40
5,50	116	—	—	70	21	116	41	40	39
5,55	114	—	—	68	20	115	41	40	39
5,60	111	—	—	67	20	113	40	39	38
5,65	109	—	—	66	20	110	39	—	—
5,70	107	—	—	65	20	109	39	—	—
5,75	105	—	—	64	19	108	38	—	—
5,80	103	—	—	—	19	—	37	—	—
5,85	101	—	—	—	—	—	36	—	—
5,90	99	—	—	—	—	—	36	—	—
5,95	97	—	—	—	—	—	35	—	—
6,00	95	—	—	—	—	—	34	—	—
6,05	94	—	—	—	—	—	34	—	—

Окончание прил. 58

Диаметр отпечатка, мм	Шарик		Шкала в НРС	Шкала в ННВ	Число твердости по Шору		Число твердости по Виккерсу	Предел прочности при растяжении σ_b для стали, МПа		
	стальной	твердый сплавный			НС	НВ		углеродистой	хромистой	никелевой и хромоникелевой
			Число твердости по Бринеллю НВ (шарик $\varnothing 10$ мм; нагрузка 30 000 Н)				Число твердости по Роквеллу			
6,10	92	—	—	—	—	—	—	33	—	—
6,15	90	—	—	—	—	—	—	32	—	—
6,20	88	—	—	—	—	—	—	32	—	—
6,25	86	—	—	—	—	—	—	31	—	—
6,30	85	—	—	—	—	—	—	31	—	—
6,35	84	—	—	—	—	—	—	30	—	—
6,40	82	—	—	—	—	—	—	29	—	—
6,45	81	—	—	—	—	—	—	29	—	—
6,50	80	—	—	—	—	—	—	29	—	—
6,55	78	—	—	—	—	—	—	28	—	—
6,60	76	—	—	—	—	—	—	27	—	—

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аверченков В.И., Каштальян И.А., Пархутин А.П.* САПР технологических процессов, приспособлений и режущих инструментов. — Минск: Высш. шк., 1993. — 288 с.
2. *Балабанов А.Н.* Технологичность конструкций машин. — М.: Машиностроение, 1987. — 336 с.
3. *Ильицкий В.Б.* Проектирование технологической оснастки: Учеб. пособие. — Брянск: БИТМ, 1993. — 190 с.
4. Качество машин: Справочник: В 2 т. — Т. 1 / А.Г. Суслов, Э.Д. Браун и др. — М.: Машиностроение, 1995. — 256 с.
5. Классификатор ЕСКД. Иллюстрированный определитель деталей. Классы 71, 72, 73, 74, 75, 76. — М.: Изд-во стандартов, 1991. — 438 с.
6. *Колесов И.М.* Основы технологии машиностроения: Учеб. для вузов. — 3-е изд., стер. — М.: Высш. шк., 2001. — 590 с.
7. *Корсаков В.С.* Основы конструирования приспособлений. — М.: Машиностроение, 1983. — 277 с.
8. *Косилова А.Г., Мещеряков Р.К., Калинин М.А.* Точность обработки, заготовки и припуски в машиностроении: Справочник технолога. — М.: Машиностроение, 1976. — 288 с.
9. *Маталин А.А.* Технология машиностроения. Учебник для машиностроительных вузов по специальности «Технология машиностроения». — Л.: Машиностроение, 1985. — 496 с.
10. *Новиков М.П.* Основы технологии сборки машин и механизмов. — М.: Машиностроение, 1980. — 592 с.
11. Обработка металлов резанием: Справочник технолога / А.А. Панов, В.В. Аникин, Н.Г. Бойм и др.; Под общ. ред. А.А. Панова. — М.: Машиностроение, 1988. — 756 с.
12. Общемашиностроительные нормативы времени вспомогательного на обслуживание рабочего места и подготовительно-заключительного на работы, выполняемые на металлорежущих

станках: среднесерийное и крупносерийное производство. — М.: Изд-во НИИТруда, 1984. — 460 с.

13. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с числовым программным управлением. Ч. 1. Нормативы времени. — М.: Экономика, 1990. — 207 с.

14. Общемашиностроительные нормативы вспомогательного времени и времени на обслуживание рабочего места на работы, выполняемые на металлорежущих станках: Массовое производство. — М.: Экономика, 1988. — 366 с.

15. Прейскурант № 18–01. Оптовые цены на станки металлорежущие: В 2 ч. — М.: Прейскурантиздат, 1981. Ч. 1. — 398 с.; ч. 2. — 384 с.

16. Прейскурант № 18–05. Оптовые цены на инструмент и измерительные приборы. — М.: Прейскурантиздат, 1981. Ч. 1. — 555 с.

17. Прейскурант № 25–01. Оптовые цены на отливки, поковки и горячие штамповки / Государственный комитет по ценам. — М.: Прейскурантиздат, 1990. — 189 с.

18. Прогрессивные технологии: Учеб. пособие / Под общ. ред. В.И. Аверченкова: 2-е изд. — Брянск, 1997. — 158 с.

19. Проектирование технологических процессов в машиностроении: Учеб. пособие / И.П. Филонов, Г.Я. Беляев, Л.М. Кожуро, В.И. Аверченков и др.; Под общ. ред. И.П. Филонова. — Минск: Технопринт, 2003. — 910 с.

20. Расчеты экономической эффективности новой техники / Под ред. К.М. Великанова. — Л.: Машиностроение, 1990. — 432 с.

21. Сборник задач и упражнений по технологии машиностроения: Учеб. пособие для машиностроительных вузов / В.И. Аверченков, О.А. Горленко, В.Б. Ильицкий, А.Г. Суслов и др.; Под общ. ред. О.А. Горленко. — М.: Машиностроение, 1988. — 192 с.

22. Справочник технолога-машиностроителя: В 2 т. — Т. 1 / Под ред. А.М. Дальского, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова, А.Г. Суслова. — М.: Машиностроение-1, 2001. — 914 с.

23. Справочник технолога-машиностроителя: В 2 т. — Т. 2 / Под ред. А.М. Дальского, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова, А.Г. Суслова. — М.: Машиностроение-1, 2001. — 949 с.

24. Станочные приспособления: Справочник / Под ред. Б.Н. Вардашкина. Т.1. — М.: Машиностроение, 1984. — 592 с.
25. Суслов А.Г., Дальский А.М. Научные основы технологии машиностроения: Науч. моногр. — М.: Машиностроение, 2002. — 684 с.
26. Технологический классификатор деталей машиностроения и приборостроения. — М.: Изд-во стандартов, 1987. — 255 с.
27. Технологичность конструкций изделий: Справочник / Под ред. Ю.Д. Амирова. — М.: Машиностроение, 1985. — 367 с.
28. Технология машиностроения (специальная часть): Учебник для машиностроительных специальностей вузов / А.А. Гусев, И.М. Колесов и др. — М.: Машиностроение, 1986. — 480 с.
29. Технология машиностроения: Учебник / А.Г. Суслов. — М.: Машиностроение, 2004. — 400 с.

По вопросам приобретения книг обращайтесь:

Отдел продаж «ИНФРА-М» (оптовая продажа):
127282, Москва, ул. Полярная, д. 31в, тел.: (495) 380-4260; факс: (495) 363-9212
E-mail: books@infra-m.ru

Магазин «Библиосфера» (розничная продажа):
109147, Москва, ул. Марксистская, д. 9, тел. (495) 670-5218, 670-5219

Отдел «Книга—почтой»:
тел. (495) 363-4260 (доб. 232, 246)

Центр комплектования библиотек:
119019, Москва, ул. Моховая, д. 16 (Российская государственная библиотека, кор. К)
тел. (495) 695-9315

Учебное издание

ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Учебное пособие

Редактор *И.В. Мартынова*
Корректор *Л.С. Куликова*
Компьютерная верстка *А.А. Павлов*
Оформление серии *А.И. Антонов*

Издательский Дом «ИНФРА-М»
127282, Москва, ул. Полярная, д. 31в.
Тел.: (495) 380-05-40, 380-05-43. Факс: (495) 363-92-12.
E-mail: books@infra-m.ru; <http://www.infra-m.ru>
Отдел «Книга — почтой»: (495) 363-42-60 (доб. 246, 247)