

А.С. Васильев, Е.Ф. Никадимов, В.Л. Киселев

ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Сборник задач
и упражнений

Издательство МГТУ
им. Н.Э. Баумана

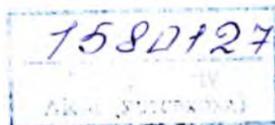
А.С. Васильев, Е.Ф. Никадимов, В.Л. Киселев

ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Сборник задач и упражнений

Под редакцией А.С. Васильева

*Рекомендовано Учебно-методическим объединением вузов
по университетскому политехническому образованию
в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по направлениям 151000 «Технологические машины
и оборудование» и 150700 «Машиностроение»,
специальности 151701 «Проектирование технологических машин
и комплексов», а также для других технологических специальностей*



Москва 2013

УДК 621.7 (075.8)

ББК 34.5я7

В19

Рецензенты:

кафедра «Технология машиностроения и конструкторско-технологическая информатика» Технического института Орловского государственного технического университета (зав. кафедрой канд. техн. наук, доц. *С.И. Брусов*);
зав. кафедрой технологии машиностроения ТулГУ д-р техн. наук, проф., заслуженный деятель науки и техники РФ *А.С. Ямников*

Васильев А. С.

В19 Технология машиностроения. Сборник задач и упражнений : учеб. пособие для вузов / А. С. Васильев, Е. Ф. Никадимов, В. Л. Киселев ; под ред. А. С. Васильева. — М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2013. — 317, [3] с. : ил.

ISBN 978-5-7038-3572-2

Рассмотрены прикладные задачи, изучаемые в учебных дисциплинах по технологии машиностроения в МГТУ им. Н.Э. Баумана. Изложены методические рекомендации по разработке различных технологических процессов, приведены типовые задачи и примеры их решения, а также данные, необходимые для расчета.

Для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлениям 151000 «Технологические машины и оборудование» и 150700 «Машиностроение», а также по специальности 151701 «Проектирование технологических машин и комплексов» и другим технологическим специальностям.

УДК 621.7 (075.8)

ББК 34.5я7

ISBN 978-5-7038-3572-2

© Васильев А.С., Никадимов Е.Ф., Киселев В.Л., 2013

© Оформление. Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013

ПРЕДИСЛОВИЕ

Подготовка высококвалифицированных инженеров-технологов в области машиностроения основывается на знаниях, полученных студентами при изучении профилирующих дисциплин, и овладении существующими методами оценки качества изделий (как статистических, так и расчетно-аналитических), выбора рациональных схем базирования заготовок при обработке и контроле готовых деталей, разработки технологических процессов механической обработки, расчета припусков, расчета и проектирования технологической оснастки. Будущие специалисты должны иметь практические навыки выполнения технологических расчетов и обоснования принятых технологических решений.

В последние годы написано много учебников и учебных пособий, содержащих лекционные курсы по дисциплинам направлений подготовки выпускников вузов по технологическим специальностям. Значительно меньше издано учебных пособий по проведению практических занятий, семинаров и решению прикладных задач.

Следует отметить, что первый «Сборник задач и упражнений» по технологии машиностроения (М.: Машгиз, 1947 г.) был создан профессором В.М. Кованом, основателем научной школы в этой области МВТУ им. Н.Э. Баумана, совместно с профессором В.С. Корсаковым.

Научная школа Брянского государственного технического университета внесла большой вклад, выпустив два издания учебного пособия по решению прикладных задач по технологии машиностроения (М.: Машиностроение, 1988 и 2006 г.). Известна работа белорусских технологов под редакцией И.П. Филонова «Сборник практических работ по технологии машиностроения» (Минск: БМГУ, 2003 г.).

Закрепление знаний, получаемых на лекциях, проходит на семинарских занятиях, при выполнении домашних заданий и курсовых проектов. Авторы данного учебного пособия попытались изложить свое видение решения проблем, возникающих в практической деятельности как студентов, так и инженеров-технологов.

В данном издании внимание уделено обоснованию принимаемых технологических решений при оценке точности обработки

заготовок статистическими методами; определении погрешностей, которые возникают при влиянии отдельных факторов на точность механической обработки; оценке суммарной погрешности механической обработки заготовок; прогнозировании точности обработки на агрегатных станках и автоматических линиях; выборе схем установки заготовок для обработки и схем контроля готовых деталей; расчетах технологических размеров; конструировании технологической оснастки для механической обработки заготовок; оценке точности контрольных приспособлений; разработке технологических процессов механической обработки заготовок, определении припусков на обработку и размеров заготовки.

Данное пособие не претендует на всесторонний охват всех этапов, связанных с проектированием технологических процессов механической обработки и сборки. В последующих изданиях предполагается рассмотреть такие этапы, как выбор метода получения заготовок, построение операций обработки на станках с ЧПУ, разработка групповых технологических процессов и др.

Каждая глава учебного пособия включает краткое описание теории принятия технологических решений, примеры решения типовых задач, задания и необходимые справочные данные. Такая структура пособия позволяет рекомендовать его не только для семинарских занятий, но и для самостоятельного выполнения домашних заданий, курсовых научно-исследовательских работ, курсовых и дипломных проектов студентами технологических направлений подготовки.

Продолжая традиции основоположников научной технологической школы В.М. Кована и В.С. Корсакова, авторы включили в данный сборник задачи, разработанные и прошедшие более чем 25-летнее апробирование на кафедре «Технология машиностроения» МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Материал пособия рассчитан на студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлениям 151000 «Технологические машины и оборудование» и 150700 «Машиностроение», а также по специальности 151701 «Проектирование технологических машин и комплексов» в целях приобретения практических навыков в своей будущей трудовой деятельности. В то же время данное пособие может быть полезно при обучении другим машиностроительным специальностям в высших учебных заведениях.

1. СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА И ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ

1.1. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ

Для оценки качества поверхностей и точности обработки методами математической статистики все виды погрешностей условно подразделяют на случайные и систематические [2]. Характеристикой случайной величины является закон ее распределения. Поскольку число опытов конечно, то можно получить лишь приближенные значения оценки вероятностных характеристик случайной величины. При этом используются следующие характеристики:

R — размах варьирования величины (или интервал рассеяния размеров),

$$R = x_{\max} - x_{\min},$$

где x_{\max} и x_{\min} — соответственно максимальное и минимальное значения случайной величины;

$X_{\text{ср}}$ — центр группирования значений случайной величины (например, размеров деталей данной партии),

$$\bar{X}_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n x_{\text{гр},i} m_{\text{гр}}}{\sum_{i=1}^m m_{\text{гр}}}, \quad (1.1)$$

где $x_{\text{гр},i}$ — средний размер деталей в группе (интервале); $m_{\text{гр}}$ — число деталей данного интервала размеров; $\sum_{i=1}^m m_{\text{гр}}$ — общее число контролируемых деталей;

σ — среднее квадратичное отклонение значений исследуемого параметра,

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (x_{гр,i} - x_{cp})^2 m_{гр}}{\sum_{i=1}^m m_{гр}}} \quad (1.2)$$

В зависимости от размера выборки погрешность расчета $\sigma_{расч} = \sigma p$ учитывается с помощью поправочного коэффициента p при разном числе m измеренных деталей:

m	25	50	75	100	200
p	1.4	1.3	1.25	1.2	1.15

Среднее квадратичное отклонение может служить мерой точности обработки. Тогда для основных законов распределения случайных величин может быть найдена *точность обработки* Δ :

для закона Гаусса (нормального распределения)	$\Delta = 6 \sigma_{расч}$;
для закона равной вероятности	$\Delta = 3,46 \sigma_{расч}$;
для закона Рэлея (закона эксцентриситета)	$\Delta = 5,252 \sigma_{расч}$.

Для композиции законов Гаусса и равной вероятности пользуются временной функцией распределения $a(t)$, разработанной Н.А. Бородачевым. В этом случае

$$\sigma_a = \sigma \sqrt{1 + \frac{1}{3} \lambda_a^2}, \quad (1.3)$$

где λ_a — параметр, определяющий отношение величины смещения среднего значения размера к среднему квадратичному отклонению σ мгновенного гауссова распределения. Тогда фактическое поле рассеяния размеров Δ зависит от величины параметра λ_a [1—4]:

λ_a	3	6	10	24
Δ	$4,74\sigma_a$	$4,14\sigma_a$	$3,76\sigma_a$	$3,56\sigma_a$

При одновременном действии систематических и случайных погрешностей, подчиняющихся закону Гаусса, точность можно оценить в общем виде:

$$\Delta = 6\sigma + \Delta_{сист}. \quad (1.4)$$

В случае обработки одной партии деталей с одной настройкой оборудования погрешность изготовления определяют по формуле

$$\Delta_{\text{расч}} = k\sqrt{(6\sigma)^2 + \varepsilon^2} + \Delta_{\text{н}} + \Delta_{\text{ф}}, \quad (1.5)$$

где ε — погрешность установки заготовки в приспособление; $\Delta_{\text{н}}$ — погрешность настройки станка на размер; $\Delta_{\text{ф}}$ — погрешность формы обрабатываемой поверхности; $k = 1, 1, \dots, 1, 2$ — коэффициент, характеризующий возможное отклонение действительных кривых распределения от закона Гаусса.

Если обработке подвергают несколько партий деталей при разных настройках и наличии ε , то погрешность изготовления составит:

$$\Delta_{\text{расч}} = k\sqrt{(6\sigma)^2 + \varepsilon^2 + \Delta_{\text{н}}^2 + \Delta_{\text{ф}}^2}. \quad (1.6)$$

Надежность обеспечения требуемой точности обработки характеризуется коэффициентом запаса точности

$$\psi = \frac{\Delta_{\text{зад}}}{\Delta_{\text{факт}}}, \quad (1.7)$$

где $\Delta_{\text{зад}}$ и $\Delta_{\text{факт}}$ — соответственно заданная и фактическая погрешности обработки. При значениях $\psi > 1,0$ обработку можно осуществлять без брака; при $\psi > 1,12$ процесс считается надежным, а при $\psi < 1,0$ брак является неизбежным.

Коэффициент точности настройки $k_{\text{н}}$ характеризует относительное смещение вершины кривой рассеяния Δx от середины поля допуска размера [5]:

$$k_{\text{н}} = \frac{\Delta x}{\Delta_{\text{зад}}}; \quad \Delta x = \bar{X}_{\text{ср}} - \frac{x_{\text{max}} + x_{\text{min}}}{2}, \quad (1.8)$$

где x_{max} и x_{min} — предельные размеры деталей по чертежу.

Настройка считается точной, если $k_{\text{н}} < k_{\text{доп}}$, где $k_{\text{доп}} = \frac{\psi - 1}{2\psi}$ —

допустимое значение коэффициента точности настройки.

Когда поле рассеяния размеров больше, чем поле допуска, т. е. $\Delta_{\text{факт}} \geq \Delta_{\text{зад}}$, и условие работы без брака не выполняется, то *вероятность появления брака* устанавливают посредством вычисления

площади, ограниченной кривой распределения и осью абсцисс на длине, величина которой численно соответствует допуску:

$$\Delta_{\text{зад}} = x_{\text{доп max}} - x_{\text{доп min}}.$$

При *симметричном расположении поля рассеяния* относительно поля допуска (рис. 1.1) находят удвоенное значение функции Лапласа $\Phi(z)$, определяющее половину площади, ограниченной кривой Гаусса и абсциссой, т. е.

$$F = 2\Phi(z) = 2 \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-\frac{z^2}{2}} dz, \quad (1.9)$$

где z — соотношение половины допуска $\Delta_{\text{зад}}$ к величине среднего квадратичного (фактического) значения,

$$z = \frac{0,5\Delta_{\text{зад}}}{\sigma_{\text{факт}}}. \quad (1.10)$$

Используя приложение 1.1, по величине z находят значение $\Phi(z)$, соответствующее количеству годных деталей в процентах, по одну сторону от $x_{\text{ср}}$. Общий процент годных деталей составляет $F = 2\Phi(z)$.

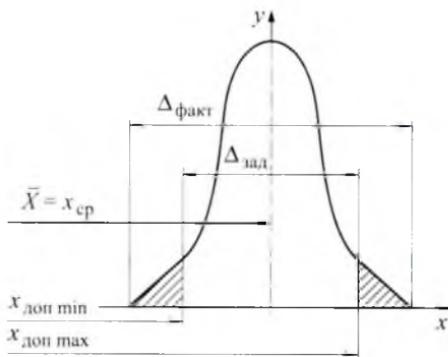


Рис. 1.1. Симметричное расположение поля рассеяния относительно поля допуска размера

При *несимметричном расположении поля рассеяния* относительно поля допуска размера (рис. 1.2) значение $\Phi(z)$ находят при смещении $x_{\text{зад}}$ на величину погрешности настройки Δ_n . В этом слу-

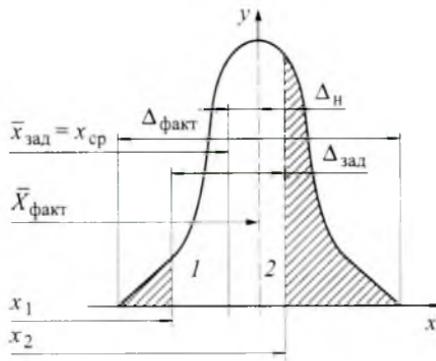


Рис. 1.2. Расположение поля рассеяния несимметрично относительно поля допуска

чае определяют соответственно процент брака для обеих частей зоны расположения $\Delta_{зад} = \Delta_{зад1} + \Delta_{зад2}$, а именно:

$$x_1 = \frac{\Delta_{зад}}{2} + \Delta_{н}; \quad x_2 = \frac{\Delta_{зад}}{2} - \Delta_{н},$$

тогда

$$z_1 = \frac{x_1}{\sigma_{расч}}; \quad z_2 = \frac{x_2}{\sigma_{расч}},$$

Зная площади $F_1 = \Phi(z_1)$ и $F_2 = \Phi(z_2)$, которые находят по приложению 1.1, можно рассчитать общее число годных деталей, шт.:

$$n_{годн} = 2[\Phi(z_1) + \Phi(z_2)] \cdot 100 \%$$

При композиционном законе распределения (рис. 1.3), отличающемся от закона Гаусса, для определения процента бракованных деталей также вычисляют площадь участков, находящихся в зоне $\Delta_{зад}$.

Для симметричного расположения $\Delta_{зад}$ относительно $\bar{x}_{ср}$

$$x_0 = \frac{\Delta_{зад}}{2}; \quad \bar{x}_{ср} = \frac{1}{2}(x_{доп\ max} - x_{доп\ min}),$$

тогда
$$z_a = \frac{x_0}{\sigma_a\ факт} = \frac{(x - \bar{x}_{ср})}{\sigma_a\ факт}.$$

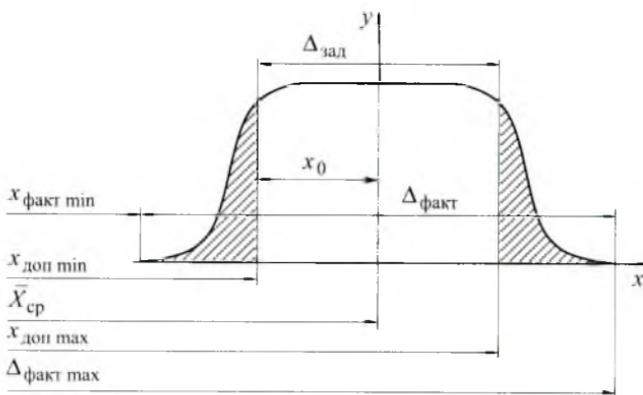


Рис. 1.3. Композиционное распределение поля допуска

Затем по величине z_a и значениям $\Phi(z_a; \lambda_a)$, приведенным в приложении 1.2, находят число, соответствующее половине общего количества бракованных деталей в процентах. Окончательно получают, шт.: $n_{\text{брак}} = [1 - 2\Phi(z_a; \lambda_a)] \cdot 100 \%$.

Для несимметричного расположения $\Delta_{\text{зад}}$ относительно $\bar{x}_{\text{ср. доп}}$ (рис. 1.4) определяют долю бракованных деталей, %, которая численно равна площади участка, расположенного с одной стороны за пределами поля допуска $x_0 = \Delta_{\text{зад}} - \Delta_{\text{факт}}/2$, $z_a = x_0/\sigma_{a \text{ факт}}$. Тогда число бракованных деталей, шт., рассчитывают по формуле

$$n_{\text{брак}} = [0,5 - \Phi(z_a; \lambda_a)] \cdot 100 \%$$

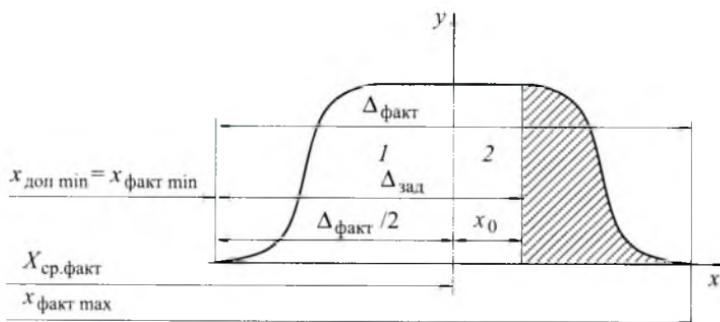


Рис. 1.4. Несимметричное расположение поля допуска

Число годных деталей, шт., соответствует значению суммы площадей участков 1 и 2:

$$n_{\text{годн}} = [0,5 + \Phi(z_a; \lambda_a)] \cdot 100 \%$$

При *распределении согласно закону Рэлея* (эксцентриситета) (рис. 1.5) определяют площадь, ограниченную кривой на участке

$\Delta_{\text{зад}}$, по закону $\Phi(z) = \int_0^z z e^{-z^2/2} dz$. При этом

$$z = \frac{0,655x_0}{\sigma_{R\text{факт}}} = \frac{0,655\Delta_{\text{зад}}}{\sigma_{R\text{факт}}}$$

где $\sigma_{R\text{факт}} = \sigma_r$. Здесь σ_R — среднее квадратичное отклонение эксцентриситета по результатам измерения; p — поправочный коэффициент, учитывающий погрешность определения среднего квадратичного отклонения при малых выборках.

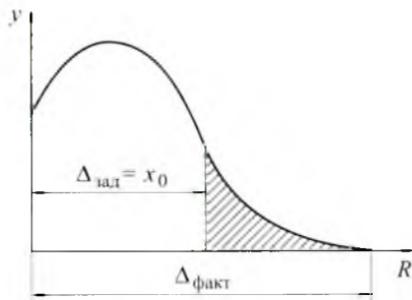


Рис. 1.5. Распределение поля рассеяния по закону Рэлея

Для определения количества годных или бракованных деталей в процентах используют функцию распределения нормированного закона Рэлея (см. приложение 1.3).

Проверку соответствия эмпирического распределения закону Гаусса проводят по критерию согласия Колмогорова:

$$\lambda = \frac{|N_x - N'_x|_{\text{max}}}{n_{\text{дет}}} \sqrt{n_{\text{дет}}}, \quad (1.11)$$

где N_x и N'_x — накопленные эмпирическая и теоретическая частоты; $|N_x - N'_x|_{\text{max}}$ — наибольшая абсолютная разность накопленных частот; $n_{\text{дет}}$ — общее число контролируемых деталей.

По величине коэффициента λ находят значение вероятности $p(\lambda)$ в приложении 1.4. При $p(\lambda) > 0,05$ можно утверждать, что данное эмпирическое распределение подчиняется закону нормаль-

ного распределения; при $p(\lambda) < 0,05$ гипотеза соответствия отвергается.

При упрощенной проверке по методу Вестерграда принимают, что фактическое распределение размеров соответствует закону Гаусса, если размеры 25 % обработанных деталей находятся в пределах $\pm 0,3\sigma$ от среднего размера; 50 % — в пределах $\pm 0,7\sigma$; 75 % — в пределах $\pm 1,1\sigma$ и 99,73 % — в пределах $\pm 3\sigma$. Кроме того, на расстоянии $\pm \sigma$ от среднего размера располагается 68,27 % деталей выборки, а на расстоянии $\pm 2\sigma$ — 95,45 %.

Корреляционный анализ используют тогда, когда необходимо установить зависимость между несколькими изменяющимися признаками. Пусть имеются две случайные величины x_i и y_i с известными средними размерами \bar{x}_{cp} и \bar{y}_{cp} и средними квадратичными отклонениями σ_x и σ_y . Тогда мерой зависимости рассматриваемых параметров служит коэффициент корреляции [3, 4, 6]:

$$r_{yx} = \frac{\sum (x - \bar{x}_{cp})(y - \bar{y}_{cp})}{N \sigma_x \sigma_y}, \quad (1.12)$$

где N — число измерений.

Если между параметрами x и y установлена прямолинейная корреляционная связь, то зависимость y от x может быть выражена уравнением

$$y = a + b\bar{x}, \quad (1.13)$$

где a — ордината (на оси y), через которую проходит зависимость (1.13), расчеты ее приведены в [2]; $b = r_{yx} \frac{\sigma_x}{\sigma_y}$.

1.2. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Пример 1.1. Определить фактическую надежность обеспечения заданной точности обработки ψ партии деталей для закона равной вероятности, если даны средние размеры каждого интервала и частота размеров каждого интервала. Требуемая точность обработки: $\Delta_{зад} = 0,36$ мм для размера 18,0 мм. База для расчета поля рассеяния $\lambda_{от} = 3$.

Средний размер интервала $x_{\text{ср}}$, мм	18,03	18,06	18,09	18,12	18,15	18,18	18,21
Частота размеров каждого интервала $m_{i\text{г}}$	1	17	27	25	22	7	1

Решение. Для заданного закона распределения (закона равной вероятности) определим значения вероятностных характеристик случайной величины:

$$\bar{X}_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n x_{i\text{г}} m_{i\text{г}}}{\sum_{i=1}^m m_{i\text{г}}} = \frac{18,03 \cdot 1 + 18,06 \cdot 17 + 18,09 \cdot 27 + 18,12 \cdot 25 + 18,15 \cdot 22 + 18,18 \cdot 7 + 18,21 \cdot 1}{100} \approx 18,11 \text{ мм.}$$

Находим среднее квадратичное отклонение:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_{i\text{г}} - x_{\text{ср}})^2 m_{i\text{г}}}{\sum_{i=1}^m m_{i\text{г}}}} = \sqrt{\frac{(18,03 - 18,11)^2 \cdot 1 + (18,06 - 18,11)^2 \cdot 17 + \dots + (18,21 - 18,11)^2 \cdot 1}{100}} = 0,037 \text{ мм.}$$

Определяем среднее квадратичное отклонение временной функции распределения $a(t)$ для $\lambda_a = 3$:

$$\sigma_a = \sigma \sqrt{1 + \frac{\lambda_a^2}{3}} = 0,037 \sqrt{1 + \frac{3^2}{3}} = 0,074 \text{ мм.}$$

тогда $\Delta_{\text{факт}} = 4,74\sigma_a \approx 0,35 \text{ мм.}$

Вычисляем коэффициент запаса точности

$$\psi = \frac{\Delta_{\text{зад}}}{\Delta_{\text{факт}}} = \frac{0,36}{0,35} = 1,028 \approx 1,03.$$

При значении $\psi > 1,0$ обработку можно осуществлять без брака.

Пример 1.2. Определить число годных и бракованных деталей в партии $n_{\text{дет}} = 300$ шт. для композиционного закона распределения, отличающегося от закона Гаусса, при несимметричном расположении ($\Delta_{\text{зад}} = 0,18$ мм), когда настройка станка обеспечивает совпадение начала кривой распределения с нижней границей поля допуска. При обработке пробной партии экспериментально установлено, что $\sigma = 0,025$ мм. Размеры обрабатываемой поверхности: $\varnothing 25_{-0,18}$ мм; $l = 40$ мм. Материал — СЧ15; подача $S = 0,08$ мм/об; материал резца — ВК8.

Решение. В связи с износом резца при обработке партии $n_{\text{дет}} = 300$ шт. происходит непрерывное смещение вершины кривой рассеяния закона Гаусса в сторону увеличения размеров. В этом случае фактическое распределение подчиняется временной функции $a(t)$, для которой выполняется равенство

$$\sigma_a = \sigma \sqrt{1 + \frac{1}{3} \lambda_a^2}.$$

Вначале находим величину смещения центра группирования Δl за счет износа резца, т. е. $\Delta l = \Delta_{\text{и}}$:

$$\Delta_{\text{и}} = I_{\text{н}} + I_{\text{отн}} \frac{\pi d n i}{10^6 S},$$

где $\Delta_{\text{и}}$ — износ резца, мкм; $I_{\text{н}}$ — начальный износ резца, мкм; $I_{\text{отн}}$ — относительный износ резца, мкм/км; d — диаметр обрабатываемой поверхности детали, мм; n — частота вращения заготовки, об/мин; S — подача, мм/об; i — число проходов.

Для заданных условий $I_{\text{н}} = 3 \dots 10$ мкм, $I_{\text{отн}} = 3 \dots 12$ мкм/км. Тогда

$$\Delta_{\text{и}} = \Delta l = 6,5 + 7,5 \cdot \frac{3,14 \cdot 25 \cdot 300 \cdot 40}{10^6 \cdot 0,08} \cong 94,81 \text{ мкм.}$$

Определяем параметр λ_a :

$$\lambda_a = \frac{\Delta l}{\sigma} = \frac{0,09481}{0,025} \cong 3,79.$$

Среднее квадратичное отклонение временной функции $a(t)$

$$\sigma_a = \sigma \sqrt{1 + \frac{1}{3} \lambda_a^2} = 0,025 \sqrt{1 + \frac{1}{3} \cdot 3,79^2} = 0,06 \text{ мм,}$$

откуда база рассеяния для $a(t)$ при $\lambda_a = 3$

$$\Delta_{\text{факт}} = 4,74\sigma_a = 4,74 \cdot 0,06 = 0,28 \text{ мм.}$$

Эта величина значительно превышает $\Delta_{\text{зад}} = 0,18$ мм, поэтому при обработке всей партии деталей без подналадки станка брак будет неизбежным. Для определения количества вероятного брака вычислим x_0 — разность между заданным допуском и половиной его фактического значения:

$$x_0 = \Delta_{\text{зад}} - \frac{\Delta_{\text{факт}}}{2} = 0,18 - \frac{0,28}{2} = 0,04 \text{ мм;}$$

тогда $z_a = \frac{x_0}{\sigma_a} = \frac{0,04}{0,06} \cong 0,70$.

Для значений $z_a = 0,70$ и $\lambda_a = 3$ в приложении 1.2 находим $\Phi(z_a; \lambda_a) \cong 0,23$ и затем рассчитываем число бракованных деталей:

$$n_{\text{брак}} = [0,5 - \Phi(z_a; \lambda_a)] \cdot 100\% = (0,5 - 0,23) \cdot 100\% = 27\%,$$

или 81 дет. из 300.

Пример 1.3. Из партии $n_{\text{дет}} = 500$ шт. определить число деталей, требующих дополнительной обработки для обеспечения заданного допуска $\Delta_{\text{зад}} = 0,125$ мм, для случая смещения вершины кривой распределения размеров детали на величину $\Delta_{\text{н}} = 0,01$ мм, что полностью исключает возможность появления неисправимого брака. При обработке пробной партии $n_{\text{дет}} = 50$ шт. установлено среднее квадратичное отклонение $\sigma = 0,025$ мм.

Решение. Находим среднее квадратичное отклонение размеров, учитывая размер партии выборки:

$$\sigma_{\text{расч}} = p\sigma = 1,3 \cdot 0,025 = 0,0325 \text{ мм.}$$

Затем определяем значение абсциссы x :

$$x = \Delta_{\text{зад}} - 3\sigma_{\text{факт}} - \Delta_{\text{н}} = 0,125 - 3 \cdot 0,0325 - 0,01 = 0,0175 \text{ мм.}$$

Для вычисленного значения абсциссы ($x = 0,0175$ мм) рассчитываем параметр функции Лапласа:

$$z = \frac{x}{\sigma_{\text{факт}}} = \frac{0,0175}{0,0325} \cong 0,538.$$

В приложении 1.1 находим значение для функции $\Phi(z) = 0,2054$ и определяем процент деталей, требующих дополнительной обработки:

$$n_{\text{дет}} = [0,5 - \Phi(z)] \cdot 100\% = (0,5 - 0,2054) \cdot 100\% = 29,46\%.$$

Тогда для заданной партии $n_{\text{дет}} = 500$ шт. число деталей, требующих доработки, составит, шт.:

$$n_{\text{дораб}} = 500 \cdot 0,2946 = 147,3 \approx 148.$$

1.3. ЗАДАЧИ

Задача 1.3.1. Обработать данные измерения нескольких партий деталей для заданных условий обработки (табл.1.1), построить кривые фактического и нормального распределений по семи точкам, дать заключение о надежности обеспечения требуемой точности по коэффициенту ψ при $\Delta_{\text{зад}}$. Обработка партий деталей производилась при наличии погрешностей установки заготовки в приспособлении ϵ , погрешности настройки станка $\Delta_{\text{н}}$ и известной

Таблица 1.1

Условия обработки

Вариант	Заданный диаметр, мм	Точность обработки $\Delta_{\text{зад}}$, мм	Погрешность формы готовой детали $\Sigma\Delta_{\text{факт}}$, мм	Погрешность установки ϵ , мм	Погрешность настройки $\Delta_{\text{н}}$, мм
<i>a</i>	16,0	$\pm 0,5$	0,05	0,035	0,015
<i>б</i>	20,0	0,38 0,0	0,015	0,024	0,025
<i>в</i>	13,0	-0,02 -0,18	0,012	0,016	0,01
<i>г</i>	25,0	+0,12 -0,02	0,025	0,02	0,02

погрешности формы обработанной поверхности $\Sigma\Delta_{\text{факт}}$. Расчетные точки на оси абсцисс для получения кривой нормального распределения:

$$x_1 = -3\sigma; \quad x_2 = -2\sigma; \quad x_3 = -\sigma; \quad x_4 = 0;$$

$$x_5 = \sigma; \quad x_6 = 2\sigma; \quad x_7 = 3\sigma.$$

Число интервалов, их границы и частота m_i приведены в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Границы интервалов и абсолютная частота m_i

Номер интервала	Интервалы размеров, мм, и частота m_i	Вариант			
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>в</i>	<i>г</i>
1	Граница интервала	15,5— 15,6	20,0— 20,05	12,84— 12,86	25,0—25,01
	Частота m_i	2	1	2	4
2	Граница интервала	15,6— 15,7	20,05— 20,1	12,86— 12,88	25,01— 25,02
	Частота m_i	11	7	6	8
3	Граница интервала	15,7— 15,8	20,1— 20,15	12,88— 12,90	25,02— 25,03
	Частота m_i	15	22	17	13
4	Граница интервала	15,8— 15,9	20,15— 20,2	12,90— 12,92	25,03— 25,04
	Частота m_i	27	24	31	29
5	Граница интервала	15,9— 16,0	20,2— 20,25	12,92— 12,94	25,04— 25,05
	Частота m_i	15	19	22	20
6	Граница интервала	16,0— 16,1	20,25— 20,3	12,94— 12,96	25,05— 25,06
	Частота m_i	5	9	13	13
7	Граница интервала	16,1— 16,2	20,3— 20,35	12,96— 12,98	25,06— 25,07
	Частота m_i	—	3	4	3

Задача 1.3.2. Обработать результаты измерения партии деталей, построить кривую распределения и проверить ее соответствие закону нормального распределения по критерию согласия Колмогорова.

Номер интервала	Интервалы размеров, мм, и частота m_i	Вариант				
		a	b	c	d	e
		Размер по чертежу, мм				
		$30_0^{+0,12}$	$\varnothing 19_{-0,28}^{+0,05}$	$\varnothing 25$	$15 \pm 0,03$	$10_0^{+0,2}$
1	Граница интервала	30,0— 30,02	18,7— 18,75	24,5— 24,6	14,97— 14,98	10,0— 10,03
	Частота m_i	3	1	4	2	2
2	Граница интервала	30,02— 30,04	18,75— 18,8	24,6— 24,7	14,98— 14,99	10,03— 10,06
	Частота m_i	12	14	19	10	17
3	Граница интервала	30,04— 30,06	18,8— 18,85	24,7— 24,8	14,99— 15,0	10,06— 10,09
	Частота m_i	17	20	27	19	24
4	Граница интервала	30,06— 30,08	18,85— 18,9	24,8— 24,9	15,0— 15,01	10,09— 10,12
	Частота m_i	35	32	24	29	18
5	Граница интервала	30,08— 30,1	18,9— 18,95	24,9— 25,0	15,01— 15,02	10,12— 10,15
	Частота m_i	22	24	16	22	11
6	Граница интервала	30,1— 30,12	18,95— 19,0	25,0— 25,1	15,02— 15,03	10,15— 10,18
	Частота m_i	10	8	8	15	4
7	Граница интервала	30,12— 30,14	19,0— 19,05	25,1— 25,2	15,03— 15,04	10,18— 10,21
	Частота m_i	1	1	—	3	—

Задача 1.3.3. Определить качество настройки станка для обработки партии деталей по коэффициенту точности настройки k_n , характеризующему относительное смещение вершины кривой рассеяния от середины поля допуска, при заданной точности обработки $\Delta_{\text{зад}}$.

Номер интервала	Интервалы размеров, мм, и частота m_i	Вариант				
		<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	<i>д</i>
		Размер по чертежу, мм				
		15±0,045	∅18 ^{+0,3} _{-0,6}	∅25 ^{+0,1} _{-0,03}	10 ^{+0,25} _{-0,02}	17±018
1	Границы интервала	14,97— 14,98	17,5— 17,6	25,0— 25,01	10,0— 10,03	16,85— 16,9
	Частота m_i	2	2	5	4	1
2	Границы интервала	14,98— 14,99	17,6— 17,7	25,01— 25,02	10,03— 10,06	16,9— 16,95
	Частота m_i	8	14	15	18	14
3	Границы интервала	14,99— 15,0	17,7— 17,8	25,02— 25,03	10,06— 10,09	16,95— 17,0
	Частота m_i	17	26	22	27	20
4	Границы интервала	15,0— 15,01	17,8— 17,9	25,03— 25,04	10,09— 10,12	17,0— 17,05
	Частота m_i	25	24	29	16	38
5	Границы интервала	15,01— 15,02	18,0— 18,1	25,04— 25,05	10,12— 10,15	17,05— 17,1
	Частота m_i	28	11	18	9	22
6	Границы интервала	15,02— 15,03	18,1— 18,2	25,05— 25,06	10,15— 10,18	17,1— 17,15
	Частота m_i	19	3	10	1	5
7	Границы интервала	15,04— 15,045	18,2— 18,3	25,06— 25,07	10,18— 10,21	17,15— 17,2
	Частота m_i	1	—	1	—	—

Задача 1.3.4. Определить фактическую надежность обеспечения требуемой точности обработки по коэффициенту ψ партии деталей при известной точности обработки и заданном законе распределения случайной величины. Дать заключение о надежности процесса.

Исходные данные		Вариант				
		<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	<i>д</i>
Но- мер груп- пы	Средний размер в группе $x_{гр,j}$, мм, и частота m_j	Заданный размер и допуск, мм				
		$20^{+0,2}_{-0,05}$	$27 \pm 0,32$	Эксцент- риситет 0,1	Торце- вое бие- ние 0,22	$15^{+0,38}$
1	Средний размер $x_{гр,j}$	20,03	26,875	0,01	0,02	15,02
	Частота m_j	2	1	4	5	2
2	Средний размер $x_{гр,j}$	20,04	26,925	0,02	0,04	15,05
	Частота m_j	8	15	19	22	20
3	Средний размер $x_{гр,j}$	20,05	26,975	0,03	0,06	15,08
	Частота m_j	17	25	28	29	25
4	Средний размер $x_{гр,j}$	20,06	27,025	0,04	0,08	15,11
	Частота m_j	25	25	15	18	22
5	Средний размер $x_{гр,j}$	20,07	27,075	0,05	0,10	15,14
	Частота m_j	28	14	8	15	19
6	Средний размер $x_{гр,j}$	20,08	27,125	0,06	0,12	15,17
	Частота m_j	19	1	1	10	11
7	Средний размер $x_{гр,j}$	20,09	27,175	0,07	0,14	15,20
	Частота	1	0	0	1	1
Закон распределения случайной величины		Закон Гаусса	Закон равной вероят- ности	Закон Рэля	Закон Рэля	Закон равной вероят- ности
Параметр λ_n как база для расчета поля рассеяния		—	3	—	—	6

Задача 1.3.5. Определить число годных и бракованных деталей, шт., в партии для случая, когда настройка станка обеспечивает симметричное расположение кривой по отношению к полю допуска $\Delta_{\text{зад}}$. По пробным замерам партии деталей $n_{\text{проб}}$ установлено, что распределение размеров подчиняется закону Гаусса. Износом инструмента в партии деталей пренебречь.

Вариант	Поле допуска $\Delta_{\text{зад}}$, мм	Число деталей, шт.		Среднее квадратичное отклонение σ пробной партии, мм
		в партии $n_{\text{дет}}$	в пробной партии $n_{\text{проб}}$	
<i>a</i>	0,12	380	75	0,02
<i>б</i>	0,18	700	200	0,031
<i>в</i>	0,08	300	50	0,013
<i>г</i>	0,10	470	100	0,0175
<i>д</i>	0,16	200	25	0,022

Задача 1.3.6. Определить число годных и бракованных деталей, шт., в партии для случая, когда ввиду погрешности настройки $\Delta_{\text{н}}$ положение вершины кривой распределения смещается в какую-либо сторону (рис. 1.6). Распределение размеров подчиняется закону Гаусса, что установлено замерах пробных деталей $n_{\text{проб}}$. Износом инструмента пренебречь.

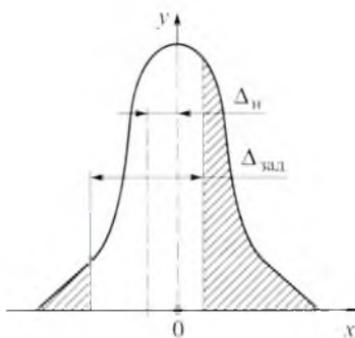


Рис. 1.6

Исходные данные	Вариант				
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	<i>д</i>
Поле допуска размера $\Delta_{\text{зад}}$, мм	0,08	0,15	0,12	0,09	0,2
Число деталей, шт.: в партии $n_{\text{дет}}$ в пробной партии $n_{1,\text{дет}}$	350 50	300 25	400 75	500 100	380 50
Среднее квадратичное отклонение σ размеров в пробной партии, мм	0,012	0,021	0,018	0,017	0,03
Погрешность настройки $\Delta_{\text{п}}$, мм	0,015	0,02	0,025	0,018	0,03
Направление смещения вершины	Вправо	Влево	Влево	Вправо	Влево

Задача 1.3.7. Определить число годных и бракованных деталей в партии из $n_{\text{дет}}$, шт. При обработке пробной партии установлено, что с помощью настройки станка обеспечивается симметричное расположение кривой рассеяния (рис. 1.7) относительно середины поля допуска размера, которое смещается в процессе обработки ввиду износа инструмента.

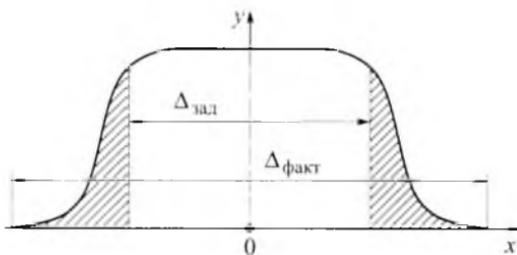


Рис. 1.7

Исходные данные	Вариант				
	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	<i>д</i>
Диаметр и допуск $\Delta_{\text{зад}}$ детали, мм	20 _{0,1}	30 _{0,15}	18 _{0,18}	25 _{0,12}	28 _{0,14}
Длина детали <i>l</i> , мм	45	60	50	40	55
Подача <i>S</i> , мм/об	0,3	0,2	0,15	0,08	0,12
Материал детали	Сталь 40	СЧ15	КЧ35	Сталь 45	Сталь легированная
Материал инструмента	T15K6	BK3M	BK8	T30K4	T30K4
Число деталей в партии $n_{\text{дет}}$, шт.	300	400	500	380	450
Среднее квадратичное отклонение σ размеров в пробной партии, мм	0,02	0,028	0,035	0,025	0,03

Задача 1.3.8. Определить число годных и бракованных деталей в партии из $n_{\text{дет}}$, шт. При обработке пробной партии экспериментально установлено, что в результате настройки станка обеспечивается совпадение начала размеров с нижней границей поля допуска (рис. 1.8).

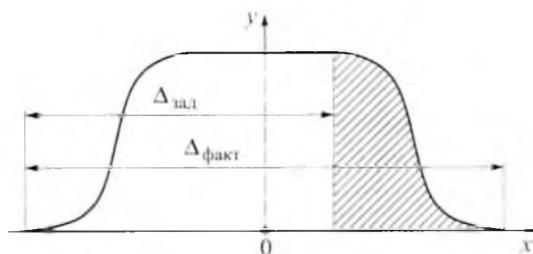


Рис. 1.8

Исходные данные	Вариант				
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	<i>д</i>
Диаметр и допуск $\Delta_{\text{дет}}$ детали, мм	30 _{0,19}	22 _{0,16}	35 _{0,14}	40 _{0,18}	21 _{0,21}
Длина детали <i>l</i> , мм	38	55	35	45	50
Подача <i>S</i> , мм/об	0,16	0,38	0,1	0,27	0,32
Материал детали	СЧ15	Сталь 45	Сталь легированная	СЧ18	КЧ35
Материал инструмента	ВК3	Т30К4	Т15К6	ВК4	ВК8
Число деталей в партии $n_{\text{дет}}$, шт.	480	260	500	410	350
Среднее квадратичное отклонение σ размеров в пробной партии, мм	0,025	0,03	0,02	0,028	0,036

Задача 1.3.9. Определить процент брака по величине торцевого биения, если на чертеже задано значение ΔR . При обработке пробной партии $n_{\text{дет}}$ установлено среднее квадратичное отклонение торцевого биения σ .

Вариант	Торцевое биение ΔR по чертежу, мм	Среднее квадратичное отклонение торцевого биения σ , мм	Число деталей в пробной партии $n_{\text{дет}}$, шт.
<i>a</i>	0,16	0,03	50
<i>b</i>	0,18	0,04	25
<i>в</i>	0,085	0,02	75
<i>г</i>	0,05	0,01	50
<i>д</i>	0,15	0,035	25

Задача 1.3.10. Определить число деталей из партии $n_{\text{дет}}$, требующих дополнительной обработки для выполнения заданного допуска $\Delta_{\text{зад}}$ (рис. 1.9). При обработке пробной партии $n_{\text{проб}}$ установлено среднее квадратичное отклонение σ .

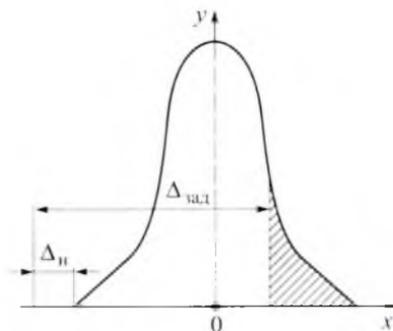


Рис. 1.9

Исходные данные	Вариант				
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>r</i>	<i>d</i>
Поле допуска $\Delta_{\text{зад}}$, мм	0,16	0,11	0,12	0,145	0,16
Число деталей, шт.:					
в партии $n_{\text{дет}}$	500	350	300	400	250
в пробной партии $n_{\text{проб}}$	25	75	50	100	25
Среднее квадратичное отклонение σ размеров в пробной партии, мм	0,03	0,02	0,022	0,034	0,025
Погрешность настройки станка $\Delta_{\text{н}}$, мм	0,03	0,025	0,02	0,015	0,035

Задача 1.3.11. Определить вероятность получения брака при обработке деталей, если экспериментально установлено среднее квадратичное отклонение σ размеров, а границы поля допуска находятся на расстояниях x_1 и x_2 (рис. 1.10) от центра группирования.

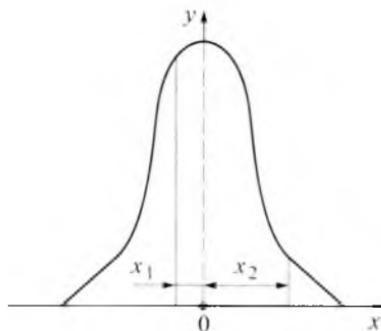


Рис. 1.10

Исходные данные	Вариант				
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>v</i>	<i>z</i>	<i>d</i>
Поле допуска $\Delta_{\text{зад}}$, мм	0,12	0,1	0,09	0,08	0,13
Число деталей в пробной партии $n_{\text{дет}}$, шт.	100	25	75	50	25
Среднее квадратичное отклонение σ размеров в пробной партии, мм	0,031	0,018	0,025	0,02	0,015
Смещение, мм:					
влево x_1	0,07	0,05	0,06	0,02	0,06
вправо x_2	0,05	0,06	0,03	0,06	0,08

Задача 1.3.12. Используя метод корреляционного анализа, установить, есть ли взаимосвязь между рассматриваемыми параметрами x_i и y_j . Найти зависимость $y = a + bx$.

Вариант	y_i	x_i	Число деталей в партии $n_{\text{дет}}$, шт.	
а	0.02	20	1	
		30	1	
	0.03	20	5	
		30	6	
		40	3	
	0.04	20	2	
		30	2	
		40	8	
		50	3	
	0.05	40	4	
		50	5	
		60	1	
	0.06	50	1	
		60	4	
	0.07	50	2	
		60	5	
	б	18.01	0,08	2
			0,10	1
		18.06	0,08	1
			0,10	3
			0,12	4
18.11		0,1	2	
		0,12	5	
		0,14	4	
18,16		0,10	1	
		0,12	4	
		0,14	5	
18.21		0,14	4	
		0,16	4	
18.26		0,16	8	
		0,18	2	
18.31	0,20	3		
	0,22	5		

Вариант	y_i	x_i	Число деталей в партии $n_{дет}$, шт.
в	15.0	31	2
		30	4
		29	3
	15.5	29	4
		28	5
	16.0	29	2
		28	3
		27	1
	16.5	26	4
		25	5
		24	2
	18.0	21	1
		23	4
	17.5	23	3
		22	2
	18.0	22	1
		21	2
		20	3

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1.1

Значение функции Лапласа $\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-z^2/2} dz$

z	$\Phi(z)$	z	$\Phi(z)$	z	$\Phi(z)$
0.00	0.0000	0.29	0.1141	0.66	0.2454
0.01	0.0040	0.30	0.1179	0.68	0.2517
0.02	0.0080	0.31	0.1217	0.70	0.2580
0.03	0.0120	0.32	0.1255	0.72	0.2642
0.04	0.0160	0.33	0.1293	0.74	0.2703
0.05	0.0199	0.34	0.1331	0.76	0.2764
0.06	0.0239	0.35	0.1368	0.78	0.2823
0.07	0.0279	0.36	0.1406	0.80	0.2881
0.08	0.0319	0.37	0.1443	0.82	0.2939
0.09	0.0359	0.38	0.1480	0.84	0.2995
0.10	0.0398	0.39	0.1517	0.86	0.3051
0.11	0.0438	0.40	0.1554	0.88	0.3106
0.12	0.0478	0.41	0.1591	0.90	0.3159
0.13	0.0517	0.42	0.1628	0.92	0.3212
0.14	0.0557	0.43	0.1664	0.94	0.3264
0.15	0.0596	0.44	0.1700	0.96	0.3315
0.16	0.0636	0.45	0.1736	0.98	0.3365
0.17	0.0675	0.46	0.1772	1.00	0.3413
0.18	0.0714	0.47	0.1808	1.05	0.3531
0.19	0.0753	0.48	0.1844	1.10	0.3643
0.20	0.0793	0.49	0.1879	1.15	0.3749
0.21	0.0832	0.50	0.1915	1.20	0.3849
0.22	0.0871	0.52	0.1918	1.25	0.3944
0.23	0.0910	0.54	0.2054	1.30	0.4032
0.24	0.0948	0.56	0.2123	1.35	0.4115
0.25	0.0987	0.58	0.2190	1.40	0.4192
0.26	0.1026	0.60	0.2257	1.45	0.4265
0.27	0.1064	0.62	0.2324	1.50	0.4332
0.28	0.1103	0.64	0.2389	1.55	0.4394

Окончание приложения 1.1

z	$\Phi(z)$	z	$\Phi(z)$	z	$\Phi(z)$
1,60	0,4452	2,10	0,4821	3,00	0,49865
1,65	0,4505	2,20	0,4861	3,20	0,49931
1,70	0,4554	2,30	0,4893	3,40	0,49966
1,75	0,4599	2,40	0,4918	3,60	0,499841
1,80	0,4641	2,50	0,4938	3,80	0,499928
1,85	0,4678	2,60	0,4953	4,00	0,499968
1,90	0,4713	2,70	0,4965	4,50	0,499997
1,95	0,4744	2,80	0,4974	5,00	0,499999
2,00	0,4772	2,90	0,4981		

Нормированный интегральный закон распределения

с линейной временной функцией $a(t)$ $\Phi(z_a; \lambda_a) = \int_0^z \varphi(z_a; \lambda_a) dz$

z_a	Значения функции $\Phi(z_a; \lambda_a)$			
	$\lambda_a = 3$	$\lambda_a = 6$	$\lambda_a = 10$	$\lambda_a = 24$
0,00	0,000	0,000	0,000	0,000
0,05	0,0166	0,0150	0,0146	0,0145
0,10	0,0332	0,0304	0,0293	0,0289
0,15	0,0498	0,0451	0,0439	0,0434
0,20	0,0664	0,0601	0,0586	0,0579
0,25	0,0830	0,0751	0,0732	0,0723
0,30	0,0995	0,0901	0,0879	0,0868
0,35	0,1161	0,1052	0,1025	0,1013
0,40	0,1325	0,1202	0,1172	0,1157
0,45	0,1489	0,1352	0,1318	0,1302
0,50	0,1652	0,1502	0,1465	0,1447
0,55	0,1815	0,1653	0,1611	0,1592
0,60	0,1976	0,1803	0,1759	0,1736
0,65	0,2136	0,1953	0,1904	0,1881
0,70	0,2295	0,2103	0,2051	0,2026
0,75	0,2451	0,2253	0,2197	0,2170
0,80	0,2605	0,2403	0,2344	0,2315
0,85	0,2757	0,2554	0,2490	0,2460
0,90	0,2906	0,2703	0,2637	0,2604
0,95	0,3032	0,2853	0,2783	0,2749
1,00	0,3194	0,3002	0,2930	0,2984
1,05	0,3333	0,3151	0,3076	0,3038
1,10	0,3466	0,3299	0,3223	0,3183
1,15	0,3595	0,3445	0,3369	0,3328
1,20	0,3719	0,3589	0,3515	0,3472
1,25	0,3837	0,3731	0,3662	0,3617
1,30	0,3949	0,3869	0,3807	0,3762
1,35	0,4055	0,4003	0,3952	0,3906
1,4	0,4155	0,4130	0,4094	0,4051
1,45	0,4248	0,4251	0,4234	0,4196
1,5	0,4335	0,4364	0,4367	0,4340
1,55	0,4415	0,4468	0,4492	0,4485
1,60	0,4489	0,4562	0,4607	0,4627

z_{α}	Значения функции $\Phi(z_{\alpha}; \lambda_{\alpha})$			
	$\lambda_{\alpha} = 3$	$\lambda_{\alpha} = 6$	$\lambda_{\alpha} = 10$	$\lambda_{\alpha} = 24$
1.65	0.4555	0.4646	0.4707	0.4762
1.70	0.4616	0.4719	0.4791	0.4873
1.75	0.4670	0.4781	0.4558	0.4948
1.80	0.4719	0.4833	0.4908	0.4985
1.85	0.4762	0.4875	0.4944	0.4997
1.90	0.4800	0.4908	0.4992	0,5000
1.95	0.4833	0.4535	0.4983	—
2.0	0.4861	0.4954	0.4991	
2.05	0.4886	0.4969	0.4996	
2.1	0.4906	0.4979	0.4998	
2.15	0.4924	0.4987	0.4999	
2.20	0.4939	0.4992	0,5000	
2.25	0.4951	0.4995	—	
2.3	0.4961	0.4997		
2.35	0.4969	0.4998		
2.40	0.4976	0.4999		
2.45	0.4982	0.4999		
2.50	0.4986	0,5000		
2.55	0.4989	—		
2.60	0.4992			
2.65	0.4994			
2.70	0.4995			
2.75	0.4997			
2.80	0.4998			
2.85	0.4998			
2.90	0.4999			
2.95	0.4999			
3.10	0,5000			

Функция распределения нормированного закона Рэлея

$$\Phi(z) = \int_0^z z e^{-z^2/2} dz$$

z	Значения функции $\Phi(z)$									
	0,000	0,010	0,020	0,030	0,040	0,050	0,060	0,070	0,080	0,090
0,0	0,0000	0001	0002	0005	0008	0013	0,018	0024	0032	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	1593
0,6	1647	1698	1749	1800	1852	1904	1957	2010	2064	2118
0,7	2173	2228	2283	2339	2395	2452	2508	2566	2623	2681
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	4066	4117	4117	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
1,4	6247	6299	6351	6403	6454	6505	6555	6608	6655	6705
1,5	6753	6802	6850	6898	6945	6992	7038	7084	7130	7175
1,6	7220	6898	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	9583	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	9979	9979	9980	9980	9981	9982	9982	9983	9984	9984

Значения вероятности $p(\lambda)$

λ	$p(\lambda)$	λ	$p(\lambda)$
0.3	1,000	1.10	0,1777
0.35	0,9997	1.20	0,1122
0.40	0,9972	1.30	0,0681
0.45	0,9874	1,4	0,0397
0.50	0,9639	1,5	0,0222
0.55	0,9228	1,6	0,0122
0.60	0,8643	1,7	0,0062
0.65	0,7920	1,8	0,0032
0.70	0,7112	1,9	0,0015
0,75	0,6272	2,0	0,0007
0,80	0,5441	2,1	0,0003
0,85	0,4653	2,2	0,0001
0,90	0,3927	2,3	0,0001
0,95	0,3275	2,4	0,0000
1,00	0,2700	2,5	0,0000

ЛИТЕРАТУРА

1. Зябрева Н.Н., Перельман Е.И., Шагал М.Я. Пособие к решению задач по курсу «Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения». М.: Высш. шк., 1977. 203 с.
2. Маталит А.А. Технология машиностроения. Л.: Машиностроение, 1985. 496 с.
3. РТМ 44—62. Методика статистической обработки эмпирических данных. М.: Госстандарт, 1963. 112 с.
4. Соломин И.С. Математическая статистика в технологии машиностроения. М.: Машиностроение, 1972. 215 с.
5. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. / под ред. А.М. Дальского, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова, А.Г. Сулова. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение-1, 2001. Т. 1. 912 с.
6. Справочник технолога по автоматическим линиям / А.Г. Косилова, А.Г. Лыков, О.М. Деев и др.: под ред. А.Г. Косиловой. М.: Машиностроение, 1982. 320 с.

2. РАСЧЕТ СТЕПЕНИ ВЛИЯНИЯ ОСНОВНЫХ ФАКТОРОВ НА ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ

2.1. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ

Погрешность Δ_y , мм, вызванную упругими деформациями технологической системы под влиянием сил резания, рассчитывают в общем виде по формуле

$$\begin{aligned} \Delta_y &= t_{\text{ост max}} - t_{\text{ост min}} = y_{\text{max}} - y_{\text{min}} = \\ &= C_{P_{\text{max}}} S^{VP} (\text{НВ})_{\text{max}}^n t_{\text{зад max}}^{VP} - C_{P_{\text{min}}} S^{VP} (\text{НВ})_{\text{min}}^n t_{\text{зад min}}^{VP} \left(\frac{1}{J_{\text{заг}}} + \frac{1}{J_{\text{ин}}} \right) = \\ &= \left(C_{\text{max}} t_{\text{зад max}}^{VP} - C_{\text{min}} t_{\text{зад min}}^{VP} \right) \left(\frac{1}{J_{\text{заг}}} + \frac{1}{J_{\text{ин}}} \right), \end{aligned} \quad (2.1)$$

где $J_{\text{заг}}$ — жесткость системы заготовка — приспособление — узел станка, на котором закрепляют заготовку, Н/мм; $J_{\text{ин}}$ — жесткость системы инструмент — приспособление (для крепления инструмента) — узел станка, на котором закрепляют инструмент, Н/мм; y_{max} , y_{min} — максимальная и минимальная деформации технологической системы, мм; S — подача, мм/об; t — глубина резания, мм; $(\text{НВ})_{\text{max}}$, $(\text{НВ})_{\text{min}}$ — максимальное и минимальное значения твердости заготовки; $t_{\text{ост}}$ — остаточная глубина резания, равная разности между заданной ($t_{\text{зад}}$) и фактической ($t_{\text{факт}}$) глубиной резания, мм; x_p , y_p , C_p , n — величины, зависящие от свойств обрабатываемых и инструментальных материалов.

На основе зависимости (2.1) можно получить расчетные формулы для различных случаев одноинструментной обработки в

центрах. В этом случае обобщенные значения $1/J_{\text{заг}}$ и $1/J_{\text{шт}}$ необходимо выразить через конкретные величины жесткостей элементов данной технологической системы, т. е. $1/J_{\text{сист}} = 1/J_{\text{заг}} + 1/J_{\text{шт}}$. При обработке гладкого вала в центрах токарного станка [1, 7] общее смещение (отжатие) технологической системы

$$y = y_1 + y_2 + y_3, \quad (2.2)$$

где y_1 — смещение заготовки, вызываемое упругими отжатиями передней и задней бабок,

$$y_1 = \left(1 - \frac{x}{l}\right)^2 \frac{P_y}{J_{\text{п.б}}} + \left(\frac{x}{l}\right)^2 \frac{P_y}{J_{\text{з.б}}} = t_{\text{заг}} \left(1 - \frac{1}{\frac{Ck}{J_{\text{п.б}}} + \frac{Ck}{J_{\text{з.б}}} + 1}\right) \quad (2.3)$$

(здесь x — расстояние от левого торца заготовки до реза, мм; l — длина заготовки, мм; P_y — тангенциальная составляющая силы резания, Н; $J_{\text{п.б}}$, $J_{\text{з.б}}$ — жесткость передней и задней бабок, Н/мм; k — коэффициент (табл. 2.1), зависящий от заданной глубины резания $t_{\text{заг}}$ и суммы отношений $\frac{C}{J_{\text{заг}}} + \frac{C}{J_{\text{шт}}}$; $C = 10 C_p S^{1/p}$ (НВ)^{*n*} —

коэффициент); y_2 — прогиб заготовки в месте приложения силы P_y ,

$$y_2 = \frac{P_y}{3EJ_{\text{заг}}} \frac{x^2(l-x)^2}{l} \quad (2.4)$$

(здесь E — модуль упругости материала обрабатываемой заготовки, МПа; $J_{\text{заг}}$ — жесткость заготовки, Н/мм); y_3 — упругий отжим суппорта,

$$y_3 = P_y / J_{\text{суп}} \quad (2.5)$$

(здесь $J_{\text{суп}}$ — жесткость суппорта, Н/мм).

В общем виде при обработке заготовки на токарном станке величину остаточной глубины резания $t_{\text{ост}}$ для любого сечения заготовки можно определить по формуле

$$t_{\text{ост}} = t_{\text{заг}} \left[1 - \frac{1}{\frac{(1-x/l)^2 kC}{J_{\text{п.б}}} + \frac{(x/l)^2 kC}{J_{\text{з.б}}} + \frac{kC}{J_{\text{суп}}} + \frac{x^2(l-x)^2 kC}{3EJ_{\text{заг}}l} + 1} \right] \quad (2.6)$$

Значения поправочного коэффициента k

$\frac{C}{J_{\text{шп}}} + \frac{C}{J_{\text{шт}}}$	$t_{\text{шдт}}, \text{ мм}$								
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	5,0
0,1	1,09	1,01	0,96	0,93	0,92	0,90	0,90	0,89	0,88
0,2	1,10	1,03	0,98	0,95	0,92	0,91	0,90	0,89	0,88
0,3	1,10	1,03	0,98	0,95	0,93	0,92	0,91	0,89	0,89
0,4	1,11	1,05	0,99	0,96	0,94	0,93	0,91	0,90	0,89
0,5	1,12	1,05	1,0	0,97	0,95	0,94	0,92	0,91	0,89

Погрешность, вызванную упругими деформациями технологической системы, вычисляют как разность $\Delta_y = t_{\text{ост max}} - t_{\text{ост min}}$.

При обработке гладкого вала в трехкулачковом патроне с поджимом задним центром (рис. 2.1) величину остаточной (не удаленной) глубины резания $t_{\text{ост}}$ при упругих деформациях технологической системы рассчитывают по формуле

$$t_{\text{ост}} = t_{\text{шдт}} \left[1 - \frac{1}{\frac{Ckx^3}{3EJ_{\text{шп}}} \left[1 - \frac{x(9l_1^2 - 6lx + x^2)}{4l_1^3 + 12EJ_{\text{шп}}/J_{\text{шд}} \right] + \frac{Ck}{J_{\text{суп}}} + 1} \right], \quad (2.7)$$

в которой значение k выбирают по табл. 2.2 в зависимости от отношения d/D . Шпиндель с патроном, имеющий усредненный диаметр патрона D , заменяют эквивалентным валом с новой длиной участка L , умноженной на поправочный коэффициент k .

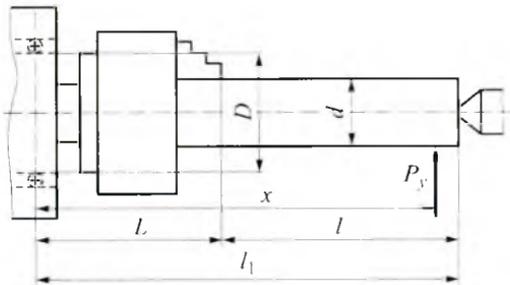


Рис. 2.1. Схема обработки вала в трехкулачковом патроне с поджимом задним центром

Значения коэффициента k в формуле (2.7)

d/D	k	d/D	k	d/D	k	d/D	k
0.1	0.03	0.6	0.43	1.1	1.17	1.6	2.21
0.2	0.06	0.7	0.55	1.2	1.36	1.7	2.48
0.3	0.14	0.8	0.69	1.3	1.55	1.8	2.71
0.4	0.23	0.9	0.84	1.4	1.76	1.9	2.98
0.5	0.32	1.0	1.0	1.5	1.98	2.0	3.26

При консольной обработке вала в трехкулачковом патроне (рис. 2.2) величину остаточной глубины резания $t_{ост}$ при упругих деформациях можно найти по формуле

$$t_{ост} = t_{зад} \left(1 - \frac{1}{\frac{ACK}{E} + \frac{Ck}{J_{суп}} + 1} \right), \quad (2.8)$$

где

$$A = \frac{x^3}{3J_{заг}} + \frac{Lx^2}{J^*} + \frac{xL^2}{J^*} + \frac{L^3}{3J^*}, \quad (2.9)$$

здесь J^* — приведенная радиальная жесткость патрона с заготовкой, причем

$$\frac{1}{J^*} = \frac{1}{J_{заг}} + \frac{1}{J_{патр}}.$$

При обработке торцов нежестких дисков на консольной оправке (рис. 2.3) или при закреплении за ступенчатую часть в

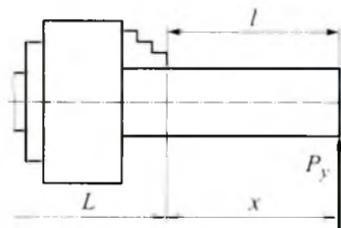


Рис. 2.2. Схема консольной обработки

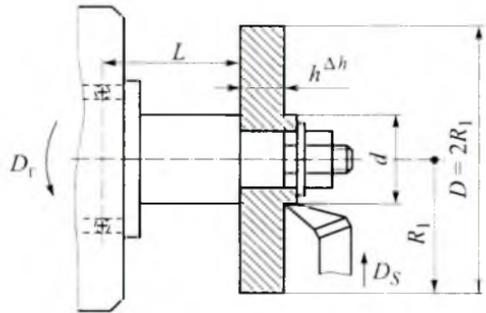


Рис. 2.3. Схема обработки торцов дисков на консольной оправке

трехкулачковом патроне погрешность, обусловленную формой торца h диска, определяют как разность:

$$\Delta_{\Phi} = \Delta_h = t_{\text{факт1}} - t_{\text{факт2}},$$

где значения $t_{\text{факт1}}$ и $t_{\text{факт2}}$ вычисляют по следующей формуле, подставляя предельные значения радиусов обработки R и $d/2$:

$$t_{\text{факт}} = \frac{t_{\text{ид}}}{\frac{0,75aC(2R-d)^2}{Eh^3} + \frac{R^2LC}{0,05D^4E} + \frac{C}{J'_{п.б}} - \frac{k'RL^2C}{0,1D^4E} + \frac{C}{J_{\text{суп}}} + 1}, \quad (2.10)$$

здесь a — коэффициент, зависящий от соотношения d/D (табл. 2.3); $J'_{п.б}$ — жесткость шпиндельного узла в осевом направлении; k' — коэффициент, учитывающий отношение силы подачи P_{γ} к радиальной силе резания P_{γ} (обычно принимают $k' = 0,7 \dots 0,8$).

Таблица 2.3

Значения коэффициента a

d/D	a	d/D	a	d/D	a
0,05	0,31	0,25	0,46	0,40	0,62
0,10	0,33	0,30	0,52	0,45	0,68
0,15	0,37	0,35	0,57	0,50	0,74
0,20	0,40				

Степень уменьшения (копирования) погрешности размеров формы в заданном сечении, погрешности взаимного расположения поверхностей или погрешностей размеров заготовки в условиях упругой технологической системы рассчитывают по следующим формулам:

$$k_{\text{у.п.разм}} = \frac{\Delta_{\text{дет}}}{\Delta_{\text{заг}}}; \quad k_{\text{у.п.ф}} = \frac{\Delta_{\text{ф.дет}}}{\Delta_{\text{ф.заг}}}, \quad (2.11)$$

где $\Delta_{\text{заг}}$ — погрешность исходной заготовки.

Число проходов (рабочих ходов) i обработки для обеспечения заданного допуска $\Delta_{\text{дет}}$ на одном станке составляет:

$$i = \frac{\lg \Delta_{\text{дет}} - \lg \Delta_{\text{заг}}}{\lg \left[C \left(1/J_{\text{заг}} + 1/J_{\text{ин}} \right) \right]} = \frac{\lg \Delta_{\text{дет}} - \lg \Delta_{\text{заг}}}{\lg (C/J_{\text{сист}})}, \quad (2.12)$$

причем $1/J_{\text{сист}} = 1/J_{\text{заг}} + 1/J_{\text{ин}}$.

Погрешность формы Δ_{ϕ} обработанной поверхности, вызванная деформацией заготовки в приспособлениях. При закреплении в трехкулачковом патроне тонкостенного кольца последнее деформируется, что приводит к появлению погрешностей формы Δ_{ϕ} обработанной поверхности после снятия со станка:

$$\Delta_{\phi} = 2(|y_1| + |y_2|), \quad (2.13)$$

где y_1 — прогиб кольца в местах его контакта с кулачками; y_2 — выпучивание между кулачками.

Значения Δ_{ϕ} , мм, для патронов разных конструкций приведены в табл. 2.4, в которой коэффициент C рассчитывают по формуле

$$C = \frac{10^{-3} QR^3}{EJ},$$

здесь Q — сила на кулачке, Н; R — радиус окружности, проходящий через нейтральную ось поперечного сечения кольца, мм; J — момент инерции поперечного сечения кольца, мм⁴; E — модуль упругости материала заготовки, МПа.

Таблица 2.4

Значения Δ_{ϕ} для различных патронов

Тип патрона	Прогиб y_1	Выпучивание y_2	Погрешность формы Δ_{ϕ}
Трехкулачковый	$0,016C$	$-0,014C$	$0,06C$
Четырехкулачковый	$0,006C$	$-0,005C$	$0,023C$
Шестикулачковый	$0,0017C$	$-0,0016C$	$0,0066C$
Трехкулачковый с широкими кулачками с углом охвата α :			
30°	$0,0194C$	$-0,0195C$	$0,0402C$
40°	$0,0122C$	$-0,0137C$	$0,0275C$
50°	$0,0044C$	$-0,0069C$	$0,0124C$

При закреплении заготовки в самоцентрирующихся патронах с широкими кулачками коэффициент C определяют по формуле

$$C = \frac{QR^3}{2 \cos(\alpha/2)EJ}, \quad (2.14)$$

где α — угол охвата заготовки кулачками, град.

В случае закрепления заготовки в двух самоцентрирующихся призмах с углом призмы $\alpha = 90^\circ$ при коэффициенте трения $f = 0,17$ погрешность формы Δ_ϕ , мм, вычисляют как

$$\Delta_\phi = \frac{34 \cdot 10^{-6} QR^3}{EJ}. \quad (2.15)$$

Погрешность обработки Δ_n , вызываемую размерным износом режущего инструмента, для различных методов обработки рассчитывают по следующим формулам:

при точении

$$\Delta_n = I_n + I_{\text{отн}} \frac{\pi d l n_{\text{дет}}}{10^6 S}, \quad (2.16)$$

где d, l — соответственно диаметр и длина обрабатываемой поверхности, мм; S — подача, мм/об; $I_{\text{отн}}$ — удельный (относительный) износ, мкм/км (табл. 2.5); I_n — начальный износ, мкм (см. табл. 2.5); $n_{\text{дет}}$ — число обрабатываемых деталей;

при строгании

$$\Delta_n = I_n + \frac{I_{\text{отн}} l B n_{\text{дет}}}{10^6 S}, \quad (2.17)$$

где l и B — длина и ширина обрабатываемой прямоугольной поверхности, мм; S — подача на двойной ход, мм/дв. ход;

при протягивании

$$\Delta_n = I_n + I_{\text{отн}} \frac{l n_{\text{дет}}}{10^6}, \quad (2.18)$$

где l — длина протягиваемого отверстия, мм; $n_{\text{дет}}$ — число обрабатываемых деталей;

при фрезеровании

$$\Delta_n = I_n + I_{\text{отн}} \frac{l \pi D_{\text{фр}} n_{\text{дет}}}{10^6 S_z z} \frac{\alpha}{360^\circ}, \quad (2.19)$$

где l — длина обрабатываемой поверхности, мм; $D_{\text{фр}}$ — диаметр фрезы, мм; z — число зубьев фрезы; α — угол, значение которого определяют из выражения $\sin \alpha/2 = B/D_{\text{фр}}$; B — ширина фрезеруемой площадки, мм; $n_{\text{дет}}$ — число обрабатываемых деталей.

Значения начального (I_n) и относительного ($I_{отн}$) износа режущих инструментов [3, 5]

Обрабатываемый материал	Материал режущего инструмента	Режим резания			I_n , МКМ	$I_{отн}$, МКМ/МКМ	Примечание
		Глубина t , мм	Подача S , мм/об	Скорость v , м/мин			
<i>Чистовое точение</i>							
Сталь легированная, термически обработанная, $\sigma_n = 1100$ МПа	T15K6	≤ 2	≤ 3	100	13	10	—
	T30K4	≤ 2	≤ 3	150	7	6	
Сталь легированная, $\sigma_n = 920$ МПа	T60K4	0,5	0,21	135	2	2,0	0,35 % C; 0,48 % Mn; 0,22 % Si; 2,3 % Cr; 2,31 % Ni
	T30K4				2	3,5	
	T15K6				4	8,5	
	BK3				5	9,5	
	T15K10				6	12	
	BK4				6	30	
	BK9				10	65	
BK11	10	40					
Серый чугун, HB 187	BK4	0,5	0,2	90	3	8,5	—
	BK8				5	13	
	BK3				5	19	

Легированный чугун, НВ 230	ВК3	0,5	0,1	90 120 240	4 6 25	2,5 3,5 11	3 % С; 1,27 % Мn; 2,09 % Si; 0,1 % Р; 0,077 % S; 0,07 % Cr; 0,17 % Ni
							—
							—
Сталь 45	T60K6 T30K4A T30K4 T15K6T	0,3	0,1	485— 465	3 4 4 5	2,5 3,0 2,8 20	—
Сталь 35	Минералокерамиче- ские пластинки ЦМ-332	1,0	0,48	200	—	0,5	Относительный износ по- лучен расчетом по фаске на задней грани и по зад- нему углу
Хромоникельмолиб- деновая сталь		1,0	0,48	200	—	12	
Сталь 40	Э4260	0,5	0,18	80	10	65	Опыты проводились в ла- боратории кафедры «Тех- нология машиностроения» МГТУ им. Н.Э. Баумана
Сталь 45	Минералокерамиче- ские пластинки ЦМ-332	0,5	0,21	60 100 200 300 400	2 1 3 3 3	0,5 0,7 0,75 0,76 1,0	При работе резами T15K6 относительный износ в 2—4 раза больше
							—
							—
							—

Обрабатываемый материал	Материал режущего инструмента	Режим резания			I _{нр} , мкм	I _{нор} , мкм/км	Примечание
		Глубина <i>l</i> , мм	Подача <i>S</i> , мм/об	Скорость <i>v_s</i> , м/мин			
<i>Тонкое точение</i>							
Серый чугун СЧ18, НВ 180	ВК8	0,5	0,1	100	4	13	—
				120	5	18	
				140	6	35	
<i>Тонкое растачивание</i>							
Закаленный чугун, НВ 375—400	Минералокерамические пластинки ЦМ-332 ВК3 ВК2	0,3	0,17	105	10	9	—
		0,3	0,17	105	20	16	
		0,3	0,17	105	10	12	

Расчет погрешности настройки станка на размер Δ_n зависит от метода настройки [4]:

по пробным деталям

$$\Delta_n = 2k \sqrt{\Delta_{изм}^2 + \Delta_{рег}^2 + \Delta_{расч}^2}, \quad (2.20)$$

где $k = 1, 0 \dots 1, 2$ — коэффициент, учитывающий отклонение закона распределения от нормального; $\Delta_{изм}$ — погрешность измерения пробных деталей, которая зависит от точности измерительного прибора; $\Delta_{рег}$ — погрешность регулирования положения инструмента, зависящая от цены деления и погрешности установки инструмента по лимбу, индикатору и др.; $\Delta_{расч}$ — погрешность расчета величины смещения инструмента, обусловленная числом пробных деталей $n_{1дет}$ ($\Delta_{расч} = \pm 0,075 \Delta_{зад}$ при $n_{1дет} = 5$; $\Delta_{расч} = \pm 0,053 \Delta_{зад}$ при $n_{1дет} = 10$);

по эталону

$$\Delta_n = k \sqrt{\Delta_{изг.эт}^2 + \Delta_{уст.ин}^2}, \quad (2.21)$$

где $\Delta_{изг.эт}$ — погрешность изготовления эталона; $\Delta_{уст.ин}$ — погрешность установки инструмента по шупу (по индикатору).

Погрешность Δ_T , обусловленная тепловыми деформациями технологической системы, возникает вследствие того, что в процессе обработки детали под действием выделяемой теплоты изменяется тепловой режим станка, заготовки и инструмента. Тепловое удлинение шпинделей станков может быть рассчитано по формуле

$$\Delta_T = \Delta L = \alpha L \Delta t, \quad (2.22)$$

где α — термический коэффициент линейного расширения; L — длина (размер) шпинделя, мм; Δt — разность температур при окончании и в начале обработки.

Тепловые деформации заготовки могут быть определены, если ее температурное поле постоянно при обработке одним или несколькими инструментами за несколько рабочих ходов [3, 4]. В этом случае количество теплоты Q , кДж, расходуемой на нагрев заготовки, определяется по следующим формулам:

при точении

$$Q = 10^{-6} q_{заг} z P_z v t_0, \quad (2.23)$$

где $q_{\text{заг}}$ — количество теплоты, затрачиваемой на нагрев заготовки, %; z — число одновременно работающих инструментов; P_z — тангенциальная сила резания, Н; v — скорость резания, м/мин; $t_0 = l_{\text{дет}} / (znS_{\text{об}})$ — основное время обработки, мин; n — число оборотов заготовки в минуту; $S_{\text{об}}$ — подача на оборот, мм/об; $l_{\text{дет}}$ — длина обрабатываемой поверхности, мм;
при сверлении

$$Q = 60q_{\text{заг}} N t_0, \quad (2.24)$$

где N — мощность на шпинделе станка, кВт.

Среднюю температуру θ , °С, нагрева заготовки можно найти по формуле

$$\theta = \frac{Q}{c\rho V_{\text{заг}}}, \quad (2.25)$$

где c — удельная теплоемкость материала заготовки, кДж/(кг·°С); ρ — плотность материала заготовки, кг/м³; $V_{\text{заг}}$ — объем заготовки, м³.

Зная среднюю температуру нагрева заготовки, по формуле (2.25) определяют температурное распределение (тепловую деформацию) в направлении интересующего линейного размера. Приблизленно погрешность формы обрабатываемой поверхности, вызываемая температурными деформациями всей технологической системы, в общем виде может быть рассчитана по формуле

$$\Delta_T = 2C t_0^{0,25}, \quad (2.26)$$

где C — коэффициент, зависящий от условий обработки; t_0 — основное время обработки, ч.

Температурные деформации ξ , мкм, режущего инструмента (или его удлинение) рассчитывают для установившегося теплового состояния [4]:

$$\xi = 10C \frac{L_p}{F} \sigma_B (tS)^{0,75} \sqrt{v}, \quad (2.27)$$

где C — постоянная процесса обработки; L_p — вылет инструмента из резцедержателя, мм; F — площадь поперечного сечения резца, мм²; σ_B — предел прочности обрабатываемого материала, МПа; t, S, v — параметры процесса резания (глубина резания, подача, скорость резания).

Погрешность $\Delta_{ст}$, обусловленную геометрическими неточностями станка, можно определить, установив, как влияет каждая из рассматриваемых неточностей на погрешность формы или на расположение обрабатываемой поверхности. Величины погрешностей формы и данные о расположении основных поверхностей металлорежущих станков приведены в [5]: учтены не только геометрические погрешности станков, но и смещение узлов станка под действием сил резания.

Расчет погрешности установки заготовки ϵ подробно изложен в [5, 7]. Приведенные в этих работах расчетные зависимости для определения отдельных факторов не исключают использование аналогичных расчетных или эмпирических данных из справочников других авторов.

Определение размеров установочных элементов оправки для напрессовки обрабатываемой заготовки. Соединение с гарантированным натягом осуществляют напрессовкой заготовки на оправку с последующей обработкой заготовки [1]. Исходным для расчетов является условие $kM_{рез} = M_{тр}$, где k — коэффициент запаса; $M_{рез} = P_z d_{зар}/2$ (рис. 2.4).

Момент трения $M_{тр}$ на поверхности контакта заготовки с оправкой, препятствующей провороту заготовки от момента резания $M_{рез}$,

$$M_{тр} = \frac{\pi d^2}{2} l p f, \quad (2.28)$$

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

Контактное давление p , МПа, на поверхности сопряжения заготовки с оправкой (по диаметру d) рассчитывают по формуле

$$p = \frac{10^{-3} i}{d \left(\frac{c_1}{E_1} + \frac{c_2}{E_2} \right)}, \quad (2.29)$$

где i — натяг, мкм; $E_{1(2)}$ — модули упругости материала заготовки

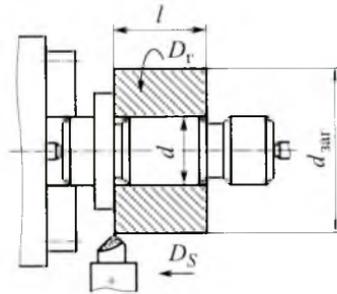


Рис. 2.4. Схема установки заготовки

и оправки; $c_1 = 1 - \mu$ и $c_2 = \frac{d_{\text{заг}}^2 + d^2}{d_{\text{заг}}^2 - d^2}$ — коэффициенты жесткости оправки.

Тогда минимальный расчетный натяг в сопряжении заготовки с оправкой, мкм, составит:

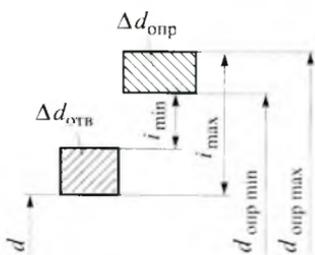
$$i_{\text{мин расч}} = \frac{2kM_{\text{рез}} \left(\frac{c_1}{E_1} + \frac{c_2}{E_2} \right)}{10^{-3} \pi d l f} \quad (2.30)$$

При определении $i_{\text{мин}}$ следует учитывать высоту сминаемых неровностей (R_{z_1} и R_{z_2}) на сопрягаемых поверхностях: $u \cong \cong 1,2(R_{z_1} + R_{z_2})$.

Окончательно минимальный натяг, мкм,

$$i_{\text{мин}} = i_{\text{мин расч}} + u \quad (2.31)$$

Зная допуск на изготовление диаметра отверстия $\Delta d_{\text{отв}}$ в заготовке и величину минимального натяга $i_{\text{мин}}$, в таблицах допусков выбирают соответствующие отклонения для изготовления оправки (рис. 2.5):



$$d_{\text{опр мин}} = \Delta d_{\text{отв}} + i_{\text{мин}}; \quad (2.32)$$

$$d_{\text{опр макс}} = \Delta d_{\text{отв}} + i_{\text{мин}} + \Delta d_{\text{опр}}.$$

Наружный диаметр заготовки

$\Delta d_{\text{заг}}$ увеличивается при ее напрессовке на оправку [6]:

$$\Delta d_{\text{заг}} = \frac{2pd_{\text{заг}}^2 d \cdot 10^3}{E_2 (d_{\text{заг}}^2 - d)} \quad (2.33)$$

Изменение наружного диаметра заготовки следует учитывать при определении исполнительного размера в технологическом процессе.

2.2. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Пример 2.1. Определить погрешность обработки, вызванную упругими деформациями технологической системы в результате действия силы резания P_V при предварительной обточке вала $\varnothing 25_{0,24}$ мм длиной $l = 250$ мм из стали 45 твердосплавным инструментом из материала Т15К6 с главным углом в плане $\varphi = 45^\circ$ в трехкулачковом патроне с поджимом задним центром. Глубина резания $t = 2,5$ мм. Подача $S = 0,4$ мм/об.

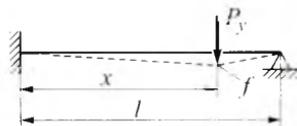


Рис. 2.6. Схема обработки вала, установленного в трехкулачковом патроне с поджимом задним центром

Решение. Данную схему обработки (рис. 2.6) можно привести к нагружению балки сосредоточенной силой P_V с жесткой заделкой с одной стороны и опорой с другой.

Наибольший прогиб вала f , мм, в этом случае [2] составит:

$$f = 0,0098 \frac{P_V l^3}{EJ}$$

при $x = 0,586l$, $J \cong 0,05d^4 = 1,95 \cdot 10^4 \text{ мм}^4$, $E = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$.

Вычисляем P_V по формуле $P_V = 10C_V t^{y_P} S^{x_P} v^n k_P$, для чего в таблицах справочника [5] выбираем значения: $C_P = 243$; $x_P = 0,9$; $y_P = 0,6$; $n = -0,3$.

Однако вначале необходимо определить скорость резания

$$v = \frac{C_v}{T^m t^x S^y} k_v.$$

Из справочника [6] для Т15К6 выбираем соответствующие значения: $C_v = 350$, $x = 0,15$, $y = 0,35$, $m = 0,2$ при $T = 60$ мин. Тогда при данных условиях обработки (материал детали, инструмент и др.) учитывают коэффициенты:

$$k_v = k_{mT} k_{mS} k_{mT} k_{\varphi\varphi} k_{\varphi\varphi} k_{\tau\tau} k_{q\varphi} k_{o\tau};$$

$$k_{mT} = \frac{75}{\sigma_n} = \frac{75}{61} = 1,23.$$

Для стали 45 все остальные коэффициенты принимаем равными 1,0 и, следовательно, $k_p = 1,23$. Тогда скорость резания

$$v = \frac{350 \cdot 1,23}{60^{0,2} \cdot 2,5^{0,15} \cdot 0,4^{0,35}} = 228 \text{ м/мин};$$

коэффициент $k_p = \frac{\sigma_b}{75} = 0,81$ (значения остальных коэффициентов, учитывающих параметры режущей части, принимаем равными 1,0).

Вычисляем силу резания [6]

$$P_y = 10 \cdot 243 \cdot 2,5^{0,9} \cdot 0,4^{0,6} \cdot 228^{-0,3} \cdot 0,81 = 510 \text{ Н}$$

и прогиб

$$f = 0,0098 \cdot \frac{510 \cdot 250^3}{2 \cdot 10^5 \cdot 1,95 \cdot 10^4} = 0,02 \text{ мм.}$$

Тогда искомое утолщение вала составит: $\Delta = 2 \cdot 0,02 = 0,04 \text{ мм}$ в сечении на длине $x = 0,586l$.

Пример 2.2. Определить число проходов (рабочих ходов) при обработке наружного диаметра детали $\varnothing 100 \text{ мм}$, если требуемая точность обработки $\Delta_{\text{дет}} = 0,2 \text{ мм}$. Точность заготовки: $\Delta_{\text{заг}} = t_{\text{зад max}} - t_{\text{зад min}} = 1,5 \text{ мм}$; $t_{\text{зад max/min}} = 1,5 \text{ мм}$; $C_{\text{max/min}} = 1300/1000$; $J_{\text{заг}} = 5000 \text{ Н/мм}$; $J_{\text{ин}} = 8000 \text{ Н/мм}$.

Решение. Для вычислений воспользуемся формулами (2.1) и (2.12). В справочнике [6] находим значение показателя степени $x_p = 0,9$ и вычисляем значение Δ_y :

$$\begin{aligned} \Delta_y &= \left(C_{\text{max}} t_{\text{зад max}}^{x_p} - C_{\text{min}} t_{\text{зад min}}^{x_p} \right) \left(\frac{1}{J_{\text{заг}}} + \frac{1}{J_{\text{ин}}} \right) = \\ &= \left(1300 \cdot 1,5^{0,9} - 1000 \cdot 1,5^{0,9} \right) \left(\frac{1}{5000} + \frac{1}{8000} \right) = 0,78 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Далее для выполнения заданного допуска $\Delta_{\text{дет}} = 0,2 \text{ мм}$ определяем число проходов i , зная, что после первого перехода величина $\Delta_y = 0,78 \text{ мм}$; это составит $\Delta d = 1,56 \text{ мм}$ на диаметр. Расчет проводим для C_{min} как наихудшего варианта:

$$i = \frac{\lg \Delta_{\text{дет}} - \lg \Delta_{\text{заг}}}{\lg \left[C_{\text{мин}} \left(\frac{1}{J_{\text{заг}}} + \frac{1}{J_{\text{ин}}} \right) \right]} = \frac{\lg 0,2 - \lg 1,5}{\lg \left[1000 \left(\frac{1}{5000} + \frac{1}{8000} \right) \right]} \cong 1,8.$$

Для данной поверхности принимаем число проходов $i = 2$.

Пример 2.3. Определить влияние температуры нагрева заготовки после сверления отверстия $\varnothing 19,5$ мм и последующего развертывания до IT8 при охлаждении детали до начальной температуры. Обработка производится на малом агрегатном станке с поворотным столом.

Дано: материал заготовки — СЧ15; длина отверстия $l_{\text{отв}} = 40$ мм; подача $S_{\text{св}} = 0,3$ мм/об; объем заготовки $V_{\text{заг}} = 40$ см³; число оборотов сверла $n_{\text{св}} = 310$ об/мин; мощность на шпинделе станка $N = 0,96$ кВт.

Решение. Для расчетов воспользуемся формулами (2.23) и (2.24). Количество теплоты, выделяемой при сверлении, находим по формуле

$$Q_{\text{св}} = 60 N t_0.$$

Основное время при сверлении отверстия, мин,

$$t_0 = \frac{l_{\text{отв}}}{n S_{\text{св}}} = \frac{40}{310 \cdot 0,3} = 0,43;$$

тогда при обработке выделится теплота, кДж,

$$Q_{\text{св}} = 60 \cdot 0,96 \cdot 0,43 = 25,0.$$

Известно [5, 7], что при сверлении в заготовку уходит 50... 55 % теплоты ($q_{\text{заг}} = 0,5$), т. е. $Q_{\text{заг}} = 0,5 Q_{\text{св}} = 0,5 \cdot 25 = 12,5$ кДж.

Зная плотность чугуна $\rho = 7600$ кг/м³ и его удельную теплоемкость $c = 0,48$ кДж/(кг · °С), определяем температуру нагрева заготовки, °С:

$$\theta = \frac{Q}{c \rho V_{\text{заг}}} = \frac{12,5}{0,48 \cdot 7600 \cdot 0,000004} = 97,6.$$

От нагрева заготовки увеличится [7] диаметр отверстия, мм:

$$\Delta_r = \alpha d \theta = 12 \cdot 10^{-6} \cdot 19,5 \cdot (97,6 - 18) = 0,020.$$

Нагретая до температуры 97,6 °С заготовка переходит во вторую позицию агрегатного станка, где сразу же подвергается развертыванию. Считаем, что при развертывании заготовка не получает дополнительного количества теплоты. Тогда после остывания диаметр отверстия в результате развертывания уменьшится на $\Delta_r = 0,020$ мм, что сопоставимо с допуском 7-го качества точности, т. е. все поле допуска может быть перекрыто одной только погрешностью, вызванной нагревом заготовки. Поэтому перед операцией развертывания заготовку необходимо охладить (или охлаждать в процессе сверления отверстия).

2.3. ЗАДАЧИ

Задача 2.3.1. Определить обусловленную жесткостью технологической системы погрешность вала, установленного в трехкулачковый патрон с поджимом задним центром, который вызывает действие силы резания P_r . Установку вала рассматривать как балку постоянного сечения d , один конец которой жестко защемлен, а другой свободно покоится на опоре (рис. 2.7).



Рис. 2.7

Исходные данные	Вариант				
	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	<i>д</i>
Диаметр вала d , мм	30	35	40	25	30
Длина вала l , мм	450	400	500	300	400
Глубина резания t , мм	2,0	1,8	3,0	4,0	3,6
Подача S , мм/об	0,36	0,42	0,5	0,3	0,28
Материал заготовки	Сталь 20Х	Сталь 40Х	Сталь 35	Сталь 20Х2Н4А	СЧ15
Материал инструмента	Т5К10	Т30К4	Т15К6	ВК3	ВК8
Главный угол резца ϕ в плане, град	45				

Задача 2.3.2. На какую величину следует сместить бабку токарного станка, чтобы максимально уменьшить погрешность формы, обусловленную отжатием бабок при обтачивании вала за один установ? Чему в этом случае будет равна погрешность, вызываемая упругими деформациями технологической системы? Значения жесткости передней и задней бабок и величина P_v приведены ниже в таблице.

Исходные данные	Вариант				
	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	<i>д</i>
Диаметр вала d , мм	50	70	90	60	80
Длина вала l , мм	300	300	400	300	400
Сила резания P_v , Н	1 200	1 800	2 500	2 200	3 000
Жесткость, Н/мм: передней бабки $J_{п.б}$ задней бабки $J_{з.б}$	13 000 10 000	19 000 15 000	22 000 12 000	15 000 12 000	25 000 18 000

Задача 2.3.3. Определить фактическую форму цилиндрического вала при точении его за один установ в центрах, обусловленную действием радиальной составляющей силы резания P_v .

Исходные данные	Вариант					
	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	<i>д</i>	<i>е</i>
Диаметр вала d , мм	60	40	50	60	70	80
Длина вала l , мм	200	200	300	280	300	250
Сила резания P_v , Н	1 200	1 000	800	2 000	1 900	3 000
Жесткость, Н/мм: передней бабки $J_{п.б}$ задней бабки $J_{з.б}$	10 000 7 500	16 000 12 000	20 000 16 000	18 000 14 000	23 000 18 000	15 000 10 000

Задача 2.3.4. Какая может быть допустимая погрешность обработки диаметра в заготовке $\Delta_{заг}$ при обработке вала диаметром d в центрах, если требуемая точность $\Delta_{дет}$ обеспечивается за несколько проходов (рабочих ходов) при неизменных режимах обработки.

Исходные данные	Вариант				
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>v</i>	<i>z</i>	<i>d</i>
Точность диаметра вала Δ , мм	0,10	0,20	0,15	0,05	0,25
Число рабочих ходов <i>i</i>	3	2	2	3	1
Подача <i>S</i> , мм/об	0,20	0,35	0,30	0,12	0,50
Твердость обрабатываемого материала, HB	200	240	180	160	280
Жесткость системы, Н/мм, связанной: с заготовкой $J_{заг}$ с инструментом $J_{ин}$	10 000 8 500	12 000 9 800	9 000 8 000	11 000 9 200	15 000 8 000

Задача 2.3.5. Определить деформацию тонкостенного стального кольца, закрепленного в стандартном трехкулачковом патроне и в трехкулачковом патроне с широкими кулачками, при известном угле охвата кулачка α и сопоставить ее с заданной погрешностью обработки $\Delta_{дет}$. Сделать выводы.

Исходные данные	Вариант				
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>v</i>	<i>z</i>	<i>d</i>
Диаметр вала, мм: наружный <i>D</i> внутренний <i>d</i>	80 70	60 50	70 60	120 80	130 100
Ширина кольца <i>B</i> , мм	30	40	35	25	40
Точность обработки $\Delta_{дет}$, мм	0,06	0,046	0,046	0,054	0,07
Сила закрепления на кулачке <i>Q</i> , Н	3 000	2 800	3 500	4 500	4 000
Угол охвата кулачка α , град	40	40	30	40	50
Модуль упругости материала кольца <i>E</i> , Н/мм ²	$2 \cdot 10^5$				

Задача 2.3.6. Определить погрешность диаметра гильзы при ее многорезцовом обтачивании, считая температурное поле гильзы постоянным.

Исходные данные	Вариант					
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	<i>д</i>	<i>e</i>
Диаметр гильзы, мм: наружный <i>D</i> внутренний <i>d</i>	120 100	140 120	130 120	100 90	120 110	110 100
Длина обработки <i>L</i> , мм	160	200	130	250	240	220
Число резцов <i>z</i>	4	6	5	3	4	5
Подача <i>S</i> , мм/об	0,4	0,36	0,32	0,42	0,5	0,38
Скорость резания <i>v</i> , м/мин	100	90	110	100	120	130
Тангенциальная сила резания <i>P_z</i> , Н	1 500	1 600	1 800	1 700	1 900	1 600
Количество теплоты, расходуемой на нагрев заготовки <i>q_{наг}</i> , %	10	12	14	13	10	15
Обрабатываемый материал	Чугун	Сталь	Сталь	Чугун	Сталь	Чугун

Задача 2.3.7. Определить, будет ли соответствовать величина износа резца при обработке сферической поверхности (рис. 2.8) допуску Δ_R на изготовление радиуса *R* сферы. Дать заключение о возможности обработки сферы. Влиянием остальных первичных погрешностей пренебречь.

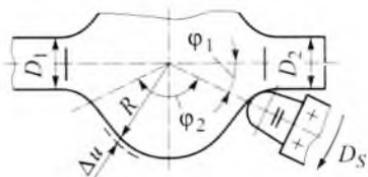


Рис. 2.8

Исходные данные	Вариант					
	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	<i>д</i>	<i>е</i>
Радиус сферы <i>R</i> , мм	50	100	80	150	120	140
Допуск Δ_R , мм	0,01	0,018	0,008	0,02	0,012	0,015
Диаметр, мм: <i>D</i> ₁	55	110	80	170	120	110
<i>D</i> ₂	35	70	50	95	100	90
Подача <i>S</i> , мм/об	0,2	0,24	0,28	0,36	0,42	0,3
Материал детали	Сталь 45	СЧ25	Сталь 45	Легирован- ный чугун	Сталь 45	СЧ12
Материал инструмента	T15K6	ВК8	T30K4	ВК4	T15K6	ВК3

Задача 2.3.8. Заготовка диаметром *d* напрессована на оправку диаметром *d*₁ и шлифуется в размер *D* (рис. 2.9). На какую величину следует сместить технологический допуск на шлифуемой поверхности *D*, чтобы компенсировать изменения данного наружного диаметра втулки после ее снятия с оправки?

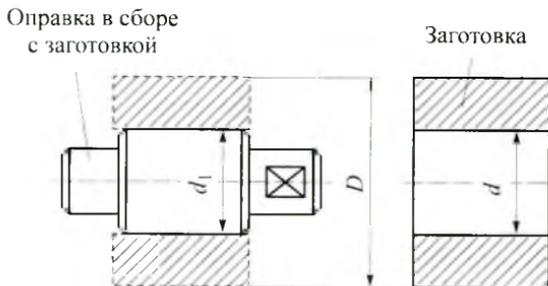


Рис. 2.9

Диаметр, мм	Вариант				
	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	<i>д</i>
Втулки наружный <i>D</i> после обработки	50,0 _{0,012}	50,0 _{0,01}	49,6 _{0,007}	50,2 _{0,017}	50,0 _{0,014}
Оправки <i>d</i> ₁	42,05	43,02	43,06	43,04	43,53
Отверстия во втулке <i>d</i>	42,02	43,00	43,03	43,00	43,50

Примечание. Модули упругости детали и оправки считать одинаковыми.

Задача 2.3.9. Определить необходимый натяг при шлифовании стальной втулки, напрессованной на оправку (рис. 2.10).

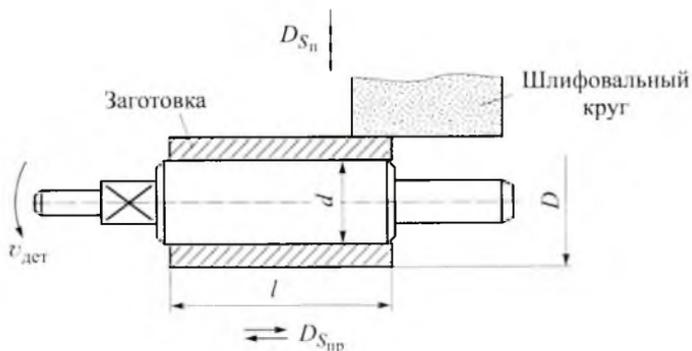


Рис. 2.10

Исходные данные	Вариант					
	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	<i>д</i>	<i>е</i>
Диаметр, мм: втулки наружный <i>D</i> отверстия втулки <i>d</i>	50 ^{-0,03} 30	50 ^{+0,02} 30	40 ^{-0,05} 25	40 ^{-0,04} 25	45 ^{+0,03} 30	50 ^{+0,02} 35
Длина втулки <i>l</i> , мм	25	30	35	30	25	30
Режимы резания: скорость вращения детали $v_{дет}$, м/мин поперечная подача круга $S_{п}$, мм/дв. ход	10 0,02	12 0,01	10 0,03	14 0,02	8 0,01	10 0,03
Диаметр шлифоваль- ного круга, мм	500					

ЛИТЕРАТУРА

1. Корсаков В.С. Основы конструирования приспособлений: учеб. для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1983. 277 с.
2. Корсаков В.С. Точность механической обработки. М.: Машгиз, 1961. 379 с.
3. Косилова А.Г., Мещеряков Р.К., Калинин М.А. Точность обработки заготовки и припуски в машиностроении: Справочник технолога. М.: Машиностроение, 1976. 288 с.

4. Маталин А.А. Технология машиностроения. Л.: Машиностроение, 1985. 496 с.

5. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. / под ред. А.М. Дальского, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова, А.Г. Суслова. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение-1, 2001. Т. 1. 912 с.

6. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. / под ред. А.М. Дальского, А.Г. Косиловой Р.К. Мещерякова, А.Г. Суслова. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение-1, 2001. Т. 2. 944 с.

7. Технология машиностроения: учеб. для вузов: в 2 т. / В.М. Бурцев, А.С. Васильев, И.Н. Гемба и др.; под ред. А.М. Дальского, А.И. Кондакова. 3-е изд., испр. и перераб. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. Т. 1. Основы технологии машиностроения. 478 с.

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СУММАРНОЙ ПОГРЕШНОСТИ ОБРАБОТКИ

3.1. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ

Суммарная погрешность механической обработки является следствием совокупного влияния ряда первичных факторов, каждый из которых вызывает появление отдельной первичной погрешности.

Суммарную погрешность выполняемого размера деталей, обработанных на настроенном станке методом автоматического получения размера (односторонняя обработка) с учетом погрешностей формы, определяют по формуле [4]

$$\Delta = \sqrt{\Delta_y^2 + \varepsilon^2 + \Delta_n^2 + 3\Delta_{и}^2 + 3\Delta_T^2 + \Sigma \Delta_{\phi}}, \quad (3.1)$$

где Δ_y — погрешность, возникающая в результате недостаточной жесткости технологической системы; ε — погрешность установки заготовки; Δ_n — погрешность настройки режущего инструмента; $\Delta_{и}$ — погрешность, вызываемая износом режущего инструмента; Δ_T — погрешность, обусловленная тепловой деформацией технологической системы; $\Sigma \Delta_{\phi}$ — погрешность формы детали.

При выполнении конкретной операции на нескольких станках одновременно постоянная систематическая составляющая Δ_{ϕ} рассматривается как случайная и тогда

$$\Delta = \sqrt{\Delta_y^2 + \varepsilon^2 + \Delta_n^2 + 3\Delta_{и}^2 + 3\Delta_T^2 + \Sigma \Delta_{\phi}^2}. \quad (3.2)$$

Суммарную погрешность размеров диаметров (симметричных) рассчитывают без учета погрешности установки заготовки ε :

$$\Delta = 2\sqrt{\Delta_y^2 + \Delta_{\text{и}}^2 + 3\Delta_{\text{и}}^2 + 3\Delta_{\text{т}}^2} + \sum \Delta_{\text{ф}}. \quad (3.3)$$

Обработку небольшой партии деталей ведут без смены инструмента, поэтому составляющую $\Delta_{\text{и}}$ исключают из приведенных формул. В этом случае суммарная погрешность как разность предельных размеров обработанных деталей уменьшится. Тогда поле рассеяния величины Δ сместится в ту или иную сторону в результате погрешности установки инструмента на размер, но величина этого смещения не будет оказывать влияния на поле рассеяния размеров деталей в партии. Расчет отдельных составляющих проводят по формулам, приведенным в гл. 2.

Суммарную погрешность размера при обработке методом пробных проходов и промеров (односторонняя обработка) определяют по формуле

$$\Delta = \Delta_y + \varepsilon_{\text{в}} + \varepsilon_{\text{з}} + \Delta_{\text{и}} + \Delta_{\text{т}} + \Delta_{\text{ст}}, \quad (3.4)$$

где $\varepsilon_{\text{в}}$ — погрешность выверки инструмента при настройке станка; $\Delta_{\text{ст}}$ — погрешность, обусловленная геометрическими неточностями станка.

Для расчета погрешности при симметричной обработке (для диаметров) формула (3.4) имеет вид

$$\Delta = \Delta_{\text{ф}} = \Delta_y + 2\varepsilon_{\text{в}} + \Delta_{\text{и}} + \Delta_{\text{т}} + \Delta_{\text{ст}}. \quad (3.5)$$

Все составляющие в формуле (3.5) являются погрешностями формы, полученными в результате копирования первичных погрешностей в условиях упругой технологической системы Δ_y , погрешности выверки режущего инструмента на размер $\varepsilon_{\text{в}}$, зависящей от точности мерительного инструмента и квалификации оператора; погрешности положения обработанной поверхности возникают от воздействия сил закрепления $\varepsilon_{\text{з}}$; в результате износа режущего инструмента $\Delta_{\text{и}}$; температурных деформаций технологической системы $\Delta_{\text{т}}$; геометрических неточностей станка $\Delta_{\text{ст}}$. Суммирование первичных погрешностей проводят алгебраически с учетом знака каждой составляющей.

3.2. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Пример 3.1. Определить ожидаемую суммарную погрешность при обработке наружной поверхности вала диаметром $d = 100$ мм, длиной $l = 1200$ мм, изготовленного из стали 45 твердостью НВ 200, при установке в центрах за один проход. Обработка производится методом пробных проходов и промеров с помощью микрометра на токарном станке. Режимы обработки: $t = 5$ мм, $S = 0,6$ мм/об. Материал режущей части инструмента — Т15К6, обработка с охлаждением.

Решение. Расчет погрешности размера проводим по формуле

$$\Delta = \Delta_y + 2\varepsilon_v + \Delta_{\text{и}} + \Delta_{\text{т}} + \Delta_{\text{ст}}.$$

Величину Δ_y погрешности формы, получаемой в результате копирования первичных погрешностей заготовки в условиях упругой технологической системы, определяем по формуле (2.3) как разность отжатий y в различных сечениях по длине заготовки:

отжатие y передней бабки

$$y_{\text{п.б}} = t_{\text{зад}} \left(1 - \frac{1}{\frac{Ck}{J_{\text{п.б}}} + \frac{Ck}{J_{\text{суп}}} + 1} \right);$$

отжатие y задней бабки

$$y_{\text{з.б}} = t_{\text{зад}} \left(1 - \frac{1}{\frac{Ck}{J_{\text{з.б}}} + \frac{Ck}{J_{\text{суп}}} + 1} \right).$$

По таблицам справочников [2, 3] находим параметры: $p = 0,0012$; $\gamma = 0,75$; $n = 2$. Затем вычисляем значение C :

$$C = 10C_p S^\gamma (HB)^n = 10 \cdot 0,0012 \cdot 0,6^{0,75} \cdot 200^2 = 331.$$

Величина коэффициента k зависит от $t_{\text{зад}}$ и $\left(\frac{C}{J_{\text{зад}}} + \frac{C}{J_{\text{ин}}} \right)$. В табл. 2.1 выбираем значение $k = 0,89$ для станка 16К20 с жесткостью передней бабки $J_{\text{п.б}} = 15\,000$ Н/мм, задней бабки $J_{\text{з.б}} = 12\,000$ Н/мм, суппорта $J_{\text{суп}} = 8000$ Н/мм. Вычисляем отжатия, мм, передней и задней бабок:

$$y_{п.б} = 5 \left(1 - \frac{1}{\frac{331 \cdot 0,89}{15000} + \frac{331 \cdot 0,89}{8000} + 1} \right) = 0,27;$$

$$y_{з.б} = 5 \left(1 - \frac{1}{\frac{331 \cdot 0,89}{12000} + \frac{331 \cdot 0,89}{8000} + 1} \right) = 0,29.$$

Определяем отжата в среднем сечении заготовки, т. е. при $x = l/2$, по формуле (2.6)

$$t_{отж,x=l/2} = t_{зал} \left[1 - \frac{1}{\frac{(1-x/l)^2 Ck}{J_{п.б}} + \frac{(x/l)^2 Ck}{J_{з.б}} + \frac{Ck}{J_{суп}} + \frac{x^2(l-x)^2 Ck}{3EJ_{зал}l} + 1} \right],$$

где $EJ_{зал} = 0,05Ed^4$.

Тогда

$$t_{отж,x=l/2} = 5 \left[1 - \left(\frac{0,25 \cdot 331 \cdot 0,89}{15000} + \frac{0,25 \cdot 331 \cdot 0,89}{12000} + \frac{331 \cdot 0,89}{8000} + \frac{600^2 \cdot 600^2 \cdot 331 \cdot 0,89}{3 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 0,05 \cdot 100^4 \cdot 1200} + 1 \right)^{-1} \right] = 0,275 \text{ мм.}$$

Следовательно, можно определить величину Δ_y , мм:

$$\Delta_y = 2(v_{з.б} - y_{п.б}) = 2(0,29 - 0,27) = 0,04.$$

Поскольку настройка ведется с помощью микрометра, принимаем величину $\epsilon_n = 0,02$ мм для микрометра 2-го класса точности. Погрешность формы ϵ_3 обработанной поверхности, возникающая в результате деформации технологической системы от действия сил закрепления, для рассматриваемого случая установки в центрах равна нулю, т. е. $\epsilon_3 = 0$.

Погрешность Δ_n , вызванную размерным износом инструмента, рассчитываем по формуле

$$\Delta_n = 2 \left(I_n + I_{отн} \frac{\pi dl}{S \cdot 10^6} \right).$$

Для стали 45 и материала режущей части инструмента Т15К6

находим величину $I_{\text{н}} = 8$ мкм и $I_{\text{отн}} = 10$ мкм/км [2]. Тогда износ инструмента

$$\Delta_{\text{и}} = 2 \left(8 + 10 \frac{3,14 \cdot 100 \cdot 1200}{0,6 \cdot 10^6} \right) = 0,03 \text{ мм.}$$

Величину погрешности $\Delta_{\text{т}}$, вызываемой тепловыми деформациями технологической системы, можем получить из экспериментальной зависимости $\Delta_{\text{т}} = 2Ct_0^{0,25}$ [1], где $C = 0,05$ — коэффициент; t_0 — основное время обработки, ч.

Для определения t_0 необходимо рассчитать скорость резания, м/мин,

$$v = \frac{C_v}{T^m t^x S^y \left(\frac{\text{HB}}{200} \right)^n}.$$

Для рассматриваемого случая (обработка с охлаждением) находим соответствующие параметры [3]: $C_v = 267$; $T = 60$ мин; $m = 0,15$; $x = 0,18$; $y = 0,35$; $n = 1,75$. Тогда

$$v = \frac{267}{60^{0,15} \cdot 5^{0,18} \cdot 0,6^{0,35} \cdot \left(\frac{200}{200} \right)^{1,75}} = 120 \text{ м/мин.}$$

Основное время обработки, ч,

$$t_0 = \frac{\pi dl}{1000vS} = \frac{3,14 \cdot 100 \cdot 1200}{1000 \cdot 120 \cdot 0,6} = 5,26 \text{ мин} \approx 0,1.$$

Определяем величину погрешности $\Delta_{\text{т}}$, мм:

$$\Delta_{\text{т}} = 2Ct_0^{0,25} = 2 \cdot 0,05 \cdot 0,1^{0,25} = 0,055.$$

Погрешность $\Delta_{\text{ст}}$, возникающую в результате геометрических неточностей станка, принимаем равной 0,04 мм с учетом износа направляющих.

Вычисляем окончательно ожидаемую точность обработки вала, мм:

$$\begin{aligned} \Delta &= \Delta_y + 2\epsilon_{\text{в}} + \Delta_{\text{и}} + \Delta_{\text{т}} + \Delta_{\text{ст}} = \\ &= 0,04 + 2 \cdot 0,02 + 0,03 + 0,055 + 0,04 = 0,205. \end{aligned}$$

Для размера $d = 100$ мм данная точность находится между 10-м и 11-м качествами.

Пример 3.2. Определить подачу для заданных условий обработки, если требуемая точность обработки $\Delta = 0,1$ мм на $d = 100$ мм. Также известны отдельные составляющие суммарной точности: $\Delta_{\text{и}} = 35$ мкм; $\Delta_{\text{н}} = 30$ мкм; $\varepsilon = 0$; $\Delta_{\text{г}} = 20$ мкм; $\Sigma\Delta_{\text{ф}} = 0$. Глубина резания $t_{\text{max/min}} = 0,7/0,5$ мм. Твердость обрабатываемого материала НВ 200/180. Кроме того, даны: $J_{\text{заг}} = 5000$ Н/мм; $J_{\text{ин}} = 5000$ Н/мм; $C_{P_{\text{max/min}}} = 0,03/0,02$ и показатели степени $n = 2$; $x_p = 0,9$; $y_p = 0,75$.

Решение. Подачу можно рассчитать по формуле (2.1)

$$\Delta_y = \left[C_{P_{\text{max}}} S^{yp} (\text{HB})_{\text{max}}^n t_{\text{зад max}}^{xp} - C_{P_{\text{min}}} S^{yp} (\text{HB})_{\text{min}}^n t_{\text{зад min}}^{xp} \right] \left(\frac{1}{J_{\text{заг}}} + \frac{1}{J_{\text{ин}}} \right).$$

Допустимое значение Δ_y при заданных условиях обработки определяем из формулы для расчета суммарной погрешности обработки:

$$\begin{aligned} \Delta_y &= \sqrt{(\Delta - \Sigma\Delta_{\text{ф}})^2 - 3\Delta_{\text{н}}^2 - \varepsilon^2 - \Delta_{\text{г}}^2 - 3\Delta_{\text{г}}^2} = \\ &= \sqrt{100^2 - 3 \cdot 35^2 - 30^2 - 3 \cdot 20^2} = 65 \text{ мкм} = 0,065 \text{ мм}. \end{aligned}$$

Таким образом, допустимая погрешность, обусловленная упругими деформациями технологической системы, составит 0,065 мм.

Тогда можем рассчитать искомую величину подачи, мм/об,

$$\begin{aligned} S &= \sqrt[yp]{\frac{\Delta_y}{\left(\frac{1}{J_{\text{заг}}} + \frac{1}{J_{\text{ин}}} \right) \left[C_{P_{\text{max}}} (\text{HB})_{\text{max}}^n t_{\text{зад max}}^{xp} - C_{P_{\text{min}}} (\text{HB})_{\text{min}}^n t_{\text{зад min}}^{xp} \right]}} = \\ &= \sqrt[0,75]{\frac{0,065}{\left(\frac{1}{5000} + \frac{1}{5000} \right) \cdot (0,03 \cdot 200^2 \cdot 0,7^{0,9} - 0,02 \cdot 180^2 \cdot 0,5^{0,9})}} = 0,21. \end{aligned}$$

Полученное значение подачи корректируем по имеющемуся на станке значению.

3.3. ЗАДАЧИ

Задача 3.3.1. Определить значение суммарной погрешности обработки диаметра вала, установленного в центрах, за один проход методом пробных проходов и установить качество точности обработки.

Погрешность, возникающую в результате тепловых деформаций, вычислить по экспериментальной зависимости $\Delta_1 = 2Ct_0^{0,25}$, где $C = 0,05$; t_0 — основное время обработки, ч.

Исходные данные	Вариант				
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	<i>д</i>
Диаметр вала <i>d</i> , мм	120	150	130	140	180
Длина вала <i>l</i> , мм	1 500	1 800	2 000	1 200	2 200
Материал детали / НВ	Серый чугун / 190	Сталь 45 / 220	Легирован- ный чугун / 230	Сталь 45 / 200	Серый чугун / 200
Режим резания: глубина <i>t</i> , мм подача <i>S</i> , мм/об	4,5 0,5	4,0 0,46	3,5 0,53	4,5 0,45	4,0 0,56
Жесткость, Н/мм: передней бабки $J_{п.б}$ задней бабки $J_{з.б}$ суппорта $J_{суп}$	18 000 13 000 8 000	14 000 10 000 7 000	12 000 11 000 8 000	15 000 13 000 7 000	17 000 12 000 9 000
Погрешность формы, обусловленная геомет- рической неточностью станка $\Delta_{ст}$, мм	0,05	0,06	0,035	0,07	0,055
Материал инструмента	ВК8	Т30К4	ВК3	Т15К6	ВК4

Задача 3.3.2. Вычислить значение суммарной погрешности обработки диаметра партии валов, установленных в центрах, за один проход на настроенном станке и определить качество точности обработки.

Исходные данные	Вариант				
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	<i>д</i>
Диаметр вала <i>d</i> , мм	50	80	100	70	60
Длина вала <i>l</i> , мм	200	250	300	200	250
Число деталей в партии <i>n</i> _{дет.} , шт.	50	80	50	100	40
Материал: детали	Сталь 45	Серый чугун	Сталь 45	Легиро- ванный чугун	Сталь 35
инструмента	T15K6	BK8	T30K4	BK3	T15K6
Режимы резания: глубина <i>t</i> , мм подача <i>S</i> , мм/об	2.5 0.3	3.0 0.36	2.8 0.42	3.2 0.3	2.0 0.26
Жесткость, Н/мм: передней бабки <i>J</i> _{п.б} задней бабки <i>J</i> _{з.б} суппорта <i>J</i> _{суп}	15 000 12 000 8 000	13 000 10 000 7 000	12 000 10 000 6 000	17 000 12 000 8 000	18 000 14 000 9 000
Метод настройки станка	По эта- лону	По пробным деталям, <i>n</i> _{дет.} = 5	По проб- ным де- талям, <i>n</i> _{дет.} = 10	По эта- лону	По эта- лону
Мерительный инстру- мент	—	Штан- генцир- куль (ц. д. 0,1 мм)	Штанген- циркуль (ц. д. 0,05 мм)	—	—
Цена деления лимба станка, мм	0,02	0,02	0,05	0,025	0,02
Погрешность, мм: вызываемая темпера- турными деформаци- ями Δ_1 формы готовых дета- лей $\Sigma\Delta_{\phi}$	0,032 0,027	0,041 0,03	0,036 0,023	0,025 0,02	0,04 0,025

Задача 3.3.3. Из числа обрабатываемых на настроенном токарном станке валов определить, для которого из них по порядку но-

меров увеличение диаметра d (рис. 3.1) в результате износа режущего инструмента $\Delta_{и}$ будет находиться в пределах допуска на готовую деталь Δ . Настройка станка ведется по методу пробных деталей, $n_{дет} = 5$ шт.

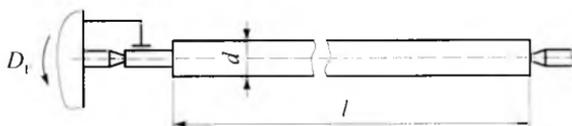


Рис. 3.1

Исходные данные	Вариант			
	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>
Диаметр вала d , мм	30	25	35	30
Допуск на диаметр вала Δ , мм	0,25	0,35	0,4	0,35
Длина вала l , мм	50	60	40	30
Число деталей в партии $n_{дет}$, шт.	50	80	50	100
Режимы резания: глубина $t_{зад}$ max/min, мм подача S , мм/об	1,5/1,2 0,25	1,8/1,5 0,36	1,5/1,2 0,40	1,3/1,0 0,28
Погрешность, мм: установки ε обусловленная температурными деформациями Δ_t формы готовой детали $\Sigma\Delta_{ф}$	0,010 0,015 0,015	0,020 0,012 0,020	0,00 0,018 0,025	0,020 0,025 0,020
Коэффициент для расчета силы резания $C_{p_{max/min}}$	1 200 / 1 000	1 300 / 1 100	1 500 / 1 200	1 300 / 1 000
Жесткость системы, Н/мм, связанной: с заготовкой $J_{заг}$ с инструментом $J_{ин}$	7 000 8 500	7 000 7 000	7 000 10 000	7 500 8 000
Материал: детали инструмента	Чугун ВК4	Сталь Т30К4	Сталь ЦМ-332	Сталь ВК8
Цена деления лимба станка, мм	0,02	0,01	0,02	0,01
Мерительный инструмент	Микрометр (ц. д. 0,01 мм)			

Задача 3.3.4. Необходимо обработать торцы нежесткого диска, который установлен на консольной оправке. Определить допустимый диаметр $2R$ диска, исходя из условий точности обработки толщины диска Δh (рис. 3.2).

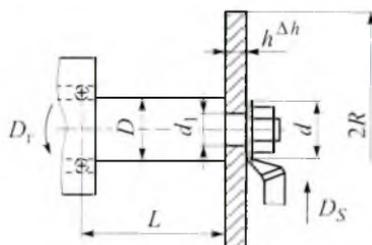


Рис. 3.2

Исходные данные	Вариант				
	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	<i>д</i>
Минимальный диаметр обработки d , мм	30	30	25	35	30
Диаметр оправки D , мм	50	35	30	38	40
Толщина диска h , мм	8	5	6	7	5,8
Допуск на толщину Δh , мм	0,07	0,08	0,09	0,085	0,06
Расстояние от передних подшипников до торца диска L , мм	80	70	100	90	120
Режимы резания: глубина t , мм подача S , мм/об	1,5 0,1	2,0 0,18	2,5 0,16	2,0 0,2	2,3 0,24
Жесткость, Н/мм: передней бабки $J_{п.б}$ задней бабки $J_{з.б}$ суппорта $J_{суп}$ шпиндельного узла в осевом направлении $J'_{п.б}$	12 000 8 000 6 000 8 000	11 000 10 000 7 000 7 500	15 000 13 000 7 000 12 000	14 000 11 000 8 000 9 000	11 000 9 000 6 000 7 000
Коэффициент: используемый при определении радиальной силы C_r учитывающий соотношение осевой и радиальной сил k'	280 0,7	300 0,7	320 0,7	350 0,75	300 0,8
Твердость материала диска НВ	170	200	220	200	180

Задача 3.3.5. Рассчитать подачу S для заданных условий обработки вала и определить, будет ли обеспечена при этом необходимая шероховатость поверхности Ra .

Исходные данные	Вариант				
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	<i>д</i>
Диаметр вала D , мм	120	90	80	110	80
Допуск на диаметр вала Δ , мм	0,12	0,08	0,09	0,11	0,1
Заданная шероховатость поверхности Ra , мкм	2,5	1,25	2,5	5,0	1,25
Глубина резания $t_{\max/\min}$, мм	0,8/0,5	0,4/0,3	0,6/0,4	0,7/0,4	0,8/0,6
Жесткость системы, Н/мм, связанная:					
с заготовкой $J_{\text{шт}}$	6 000	7 000	6 000	5 000	6 000
с инструментом $J_{\text{инс}}$	8 000	9 000	9 000	7 000	5 000
Твердость материала вала $HV_{\max/\min}$	220/180	240/200	180/160	220/180	200/180
Погрешность, мм:					
установки заготовки ε	0,012	0,008	0,01	0,0	0,009
вызываемая размерным износом инструмента $\Delta_{\text{и}}$	0,032	0,026	0,032	0,026	0,025
настройки $\Delta_{\text{н}}$	0,026	0,018	0,024	0,02	0,03
обусловленная температурными деформациями $\Delta_{\text{т}}$	0,02	0,012	0,01	0,016	0,015
формы готовой детали $\Sigma\Delta_{\text{ф}}$	0,015	0,01	0,02	0,0	0,012
Коэффициент, используемый при определении радиальной силы $C_{P_{\max/\min}}$	0,03 / 0,02				
<p><i>Примечание.</i> При точении величину Ra определять по формуле</p> $Ra = k_0 \frac{S^{k_1} (90 + \gamma)^{k_2}}{r^{k_3} v^{k_4}},$ <p>где k_0, \dots, k_4 — коэффициенты, выбираемые по табл. 2.2 [4]; γ — передний угол резца, град; r — радиус при вершине резца (0,5...2 мм); v — скорость резания, м/мин.</p>					

Задача 3.3.6. Определить число обработанных шайб, обтачиваемых последовательно с одного станка до момента, когда величина удлинения резца при установившемся тепловом состоянии будет компенсирована величиной износа.

Исходные данные	Вариант				
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	<i>д</i>
Диаметр шайбы <i>d</i> , мм	80	50	40	30	60
Длина <i>l</i> , мм	30	22	18	20	15
Режимы резания: глубина <i>t</i> , мм подача <i>S</i> , мм/об скорость <i>v</i> , м/мин	1,2 0,2 100	1,5 0,15 120	1,3 0,18 90	1,0 0,12 110	0,9 0,25 100
Материал: заготовки инструмента	Сталь Т15К6	Чугун ВК4	Закаленный чугун Пластина ЦМ332	Сталь Т30К4	Чугун ВК8
Вылет резца из суппорта L_p , мм	40	30	35	28	40
Поперечное сечение державки резца $b \times h$, мм	15×15	15×18	15×16	12×15	18×18
Коэффициент, используемый при определении температурной деформации системы <i>C</i>	4,5				

Задача 3.3.7. Определить число переточек инструмента при обработке партии колец $n_{дет}$ с обеспечением заданного допуска Δd . Настройка станка производится методом обработки пробной партии деталей $n_{дет} = 5$ шт. с использованием микрометра с ценой деления 0,01 мм.

Исходные данные	Вариант				
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	<i>д</i>
Диаметр кольца <i>d</i> , мм	30	40	50	60	45
Заданный допуск Δ , мм	0,16	0,17	0,18	0,20	0,21
Длина кольца <i>l</i> , мм	40	45	30	25	35

Исходные данные	Вариант				
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	<i>д</i>
Число деталей в партии $n_{\text{дет}}$ шт.	580	750	420	800	460
Материал: заготовки инструмента	Чугун ВКЗ	Сталь Т5К10	Чугун ВК8	Сталь Т30К4	Сталь Т15К6
Установка заготовок	В цанге	В трех- кулачко- вом пат- роне	На оправке с зазором $S_{\text{max}} =$ $= 0,04$ мм	В трех- кулачко- вом патроне	На оправке с зазором $S_{\text{max}} =$ $= 0,04$ мм
Погрешность, мм: вызываемая упруги- ми деформациями Δ_y обусловленная тем- пературными де- формациями Δ_t формы готовой де- тали $\Sigma\Delta_{\text{ф}}$	0,024	0,02	0,018	0,026	0,016
	0,020	0,023	0,025	0,018	0,028
	0,031	0,025	0,020	0,018	0,029
Цена деления лимба станка, мм	0,02	0,02	0,05	0,02	0,02

Задача 3.3.8. Сравнить методы настройки станка по пробным деталям и по эталонам при обтачивании ступени вала заданного диаметра, необходимой точности. Выбрать наилучший метод. Погрешность изготовления эталона принять в пределах 10...20 мкм, погрешность установки инструмента на размер — 20...30 мкм.

Исходные данные	Вариант				
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	<i>д</i>
Диаметр вала d , мм	30	40	50	60	80
Заданная точность Δ , мм	0,15	0,12	0,14	0,08	0,11
Установка заготовок	В четырех- кулачковом патроне с выверкой	В трех- кулачко- вом пат- роне	В цанге	В цент- рах	В цанге

Исходные данные	Вариант				
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	<i>д</i>
Погрешность, мм: вызываемая упругими деформациями Δ_3 возникающая в результате износа инструмента $\Delta_{и}$ обусловленная температурными деформациями Δ_t	0.030	0.030	0.050	0.060	0.05
	0.034	0.054	0.030	0.048	0.045
	0.013	0.024	0.018	0.030	0.015
Погрешность, мм: формы готовой детали $\Sigma\Delta_{ф}$	0.020	0.024	0.036	0.028	0.044
Цена деления лимба станка, мм	0.02	0.02	0.05	0.05	0.05
Мерительный инструмент	Микрометр	Микрометр	Штангенциркуль (ц. д. 0.1 мм)	Штангенциркуль (ц. д. 0.05 мм)	Микрометр

Задача 3.3.9. На токарном станке обрабатывается деталь типа диска по наружному диаметру d за два перехода обработки. Проверить, правильно ли назначена подача S_2 чистового перехода обработки диаметра d , если заданы погрешность формы заготовки $\Delta_{ф. за}$ и готовой детали $\Delta_{ф. дет}$. При необходимости откорректировать величину S_2 при чистовом переходе обработки.

Исходные данные	Вариант				
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	<i>д</i>
Диаметр диска d , мм	80	60	70	60	75
Допуск на форму, мм: заготовки $\Delta_{ф. за}$ готовой детали $\Delta_{ф. дет}$	2,1	3,0	2,8	2,5	2,0
	0,02	0,03	0,022	0,015	0,023
Режимы обработки на первом переходе: глубина t_1 , мм подача S_1 , мм/об	3,0	4,5	4,0	5,0	3,5
	0,6	0,8	0,5	0,4	0,54

Исходные данные	Вариант				
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	<i>д</i>
Режимы обработки на втором переходе: глубина t_2 , мм подача S_2 , мм/об	1,0 0,25	0,6 0,18	1,2 0,2	1,0 0,16	0,8 0,18
Материал диска	Сталь 45	Чугун СЧ15	Сталь 50Г	Сталь 40Х	Сталь 20ХН4А
Жесткость системы, Н/мм, связанной: с заготовкой $J_{заг}$ с инструментом $J_{инс}$	10 000 8 000	8 000 7 000	12 000 8 000	9 000 7 000	11 000 9 000

Задача 3.3.10. Можно ли расточить отверстие диаметром d в тонкостенном кольце с заданной точностью Δ при закреплении в трехкулачковом патроне на токарном станке? Если нельзя, то указать способ закрепления и обосновать его с помощью расчета.

Исходные данные	Вариант				
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	<i>д</i>
Диаметр кольца, мм: наружный D внутренний d	110 90	128 110	145 130	118 100	140 120
Допуск на внутренний диаметр Δ , мм	0,07	0,054	0,08	0,054	0,07
Ширина кольца B , мм	20	28	30	24	32
Момент трения $M_{тр}$, Н·м	120	180	150	190	200
Коэффициент трения $f_{тр}$	0,2	0,18	0,16	0,22	0,2
Модуль упругости обрабатываемого материала E , Н/мм ²	$2 \cdot 10^5$				

Задача 3.3.11. Какое количество деталей может быть обработано без подналадки и переточки ножей торцевой фрезы с соблюдением требуемых точности размера по высоте Δ и точности формы $\Sigma\Delta_{\phi}$ плоской поверхности? Обработка ведется за один проход методом автоматического получения размеров на станке, настраиваемом по эталону.

Исходные данные	Вариант				
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	<i>д</i>
Размеры детали, мм: высота <i>H</i> ширина <i>B</i> длина <i>L</i>	100 80 280	75 60 175	80 100 250	60 100 380	90 70 500
Допуск на высоту Δ , мм	0,2	0,18	0,16	0,24	0,15
Точность формы плоской поверхности $\Sigma\Delta_{\text{ф}}$, мм	0,06	0,05	0,035	0,08	0,025
Материал детали	Серый чугун	Сталь 45	Ковкий чугун	Сталь 40	Сталь легиро- ванная
Режимы резания: глубина <i>t</i> , мм подача S_z , мм/об	4 0,25	4,5 0,22	5 0,35	6 0,3	4 0,17
Материал режущей части фрезы	ВК4	T15K6	ВК8	T5K10	T30K4
Фреза: диаметр <i>D</i> , мм число ножей <i>z</i>	100 10	100 8	125 12	160 10	100 8
Погрешность, мм: установки ϵ вызываемая упругими деформациями Δ_y обусловленная температурными деформациями Δ_t	0,03 0,02 0,04	0,02 0,032 0,035	0,04 0,025 0,042	0,025 0,04 0,04	0,03 0,028 0,03

ЛИТЕРАТУРА

1. Корсаков В.С. Точность механической обработки. М.: Машгиз, 1961. 379 с.
2. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. / под ред. А.М. Дальского, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова, А.Г. Сулова. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение-1, 2001. Т. 1. 912 с.
3. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. / под ред. А.М. Дальского, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова, А.Г. Сулова. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение-1, 2001. Т. 2. 944 с.
4. Технология машиностроения: учеб. для вузов : в 2 т. / В.М. Бурцев, А.С. Васильев, И.Н. Гемба и др.; под ред. А.М. Дальского, А.И. Кондакова. 3-е изд., испр. и перераб. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011. Т. 1. Основы технологии машиностроения. 478 с.

4. ТОЧНОСТЬ КООРДИНАТНОЙ ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЙ НА АГРЕГАТНЫХ СТАНКАХ И АВТОМАТИЧЕСКИХ ЛИНИЯХ

4.1. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ

Точность координатной обработки отверстий на агрегатных станках и автоматических линиях обеспечивается точностью направления режущего инструмента и условиями его силового нагружения. Связь инструмента со шпинделем станка при обработке отверстий может быть жесткой и плавающей. При жесткой связи определяется время работы кондукторной втулки до достижения величины допустимого износа.

4.1.1. Обработка жестко закрепленным инструментом

Смещение оси обработанного отверстия $\Delta_{см}$ относительно номинального положения (позиционный допуск по ГОСТ 24642–81) при многопереходной обработке с направлением в кондукторной втулке складывается из двух величин [1, 2, 5]:

$$\Delta_{см} = \Delta_{г.и} + n_3 \Delta_{у.и} = n_1 S_{\max} \left(0,5 + \frac{l_x}{l_{вт}} \right) + n_2 n_3 \frac{\Delta P_R l_x^3}{3EJ}, \quad (4.1)$$

где $\Delta_{г.и}$ — геометрическое смещение оси инструмента в зазорах между последним и втулкой; $n_3 = 1,1 \dots 1,4$ — коэффициент, учитывающий жесткость кондукторной плиты; $\Delta_{у.и}$ — упругое смещение оси инструмента.

Значение $\Delta_{г.и}$ рассчитывают по формуле

$$\Delta_{г.и} = n_1 S_{\max} \left(0,5 + \frac{l_x}{l_{вт}} \right). \quad (4.2)$$

Здесь n_1 — коэффициент, который учитывает влияние зазоров, вносимых сменной втулкой, $n_1 = 1,1$ для сверления и зенкерования, $n_1 = 1,2$ для развертывания (конструктивное оформление невращающихся кондукторных втулок показано на рис. 4.1, твердосплавные втулки для обработки точных отверстий приведены на рис. 4.2); S_{\max} — максимальный зазор между втулкой и инструментом (приложение 4.2) [5]; l_x — вылет инструмента за торец втулки (приложение 4.1); $l_{\text{вт}}$ — длина кондукторной втулки (приложения 4.3—4.6) [5].

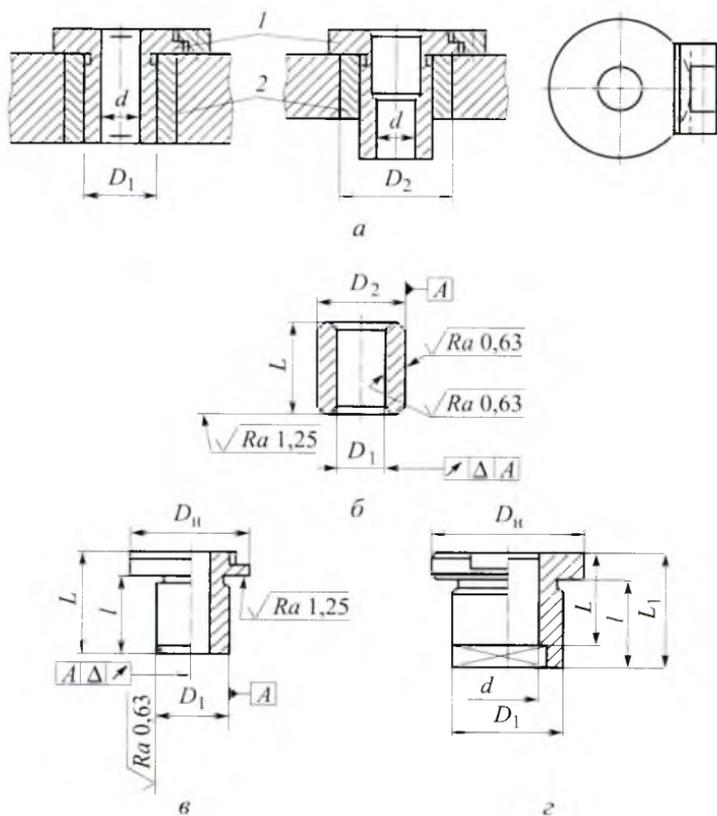


Рис. 4.1. Невращающиеся кондукторные втулки: *а* — крепление сменной втулки *1* в отверстии постоянной втулки *2*; *б* — постоянная кондукторная втулка *2*; *в* — сменная кондукторная втулка; *з* — сменная кондукторная втулка со стружколомом

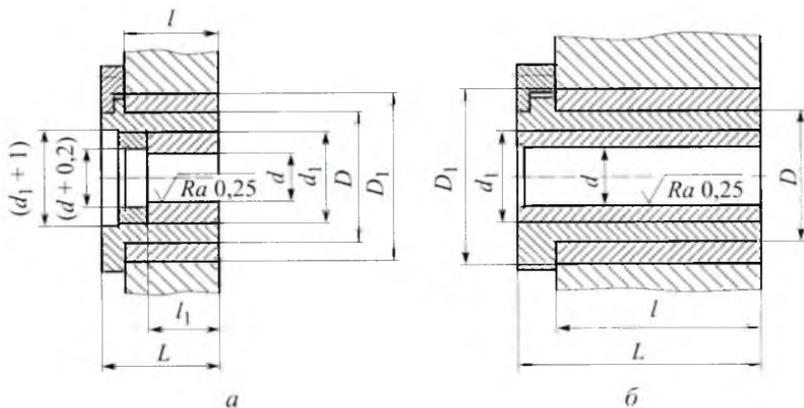


Рис. 4.2. Твердосплавные кондукторные втулки для обработки точных отверстий диаметром:
a — 5...10 мм; *б* — 14...25 мм

Упругое смещение оси инструмента находят из выражения

$$\Delta_{y,и} = n_2 n_3 \frac{\Delta P_R l_x^3}{3EJ}$$

Здесь $n_2 = 1,38...1,42$ — коэффициент, учитывающий действие продольного изгиба, который образуется в результате приложения осевых сил; E — модуль упругости материала; $J = Cd^4$ — момент инерции поперечного сечения инструмента; ΔP_R — равнодействующая от неуравновешенных составляющих сил резания — радиальной ΔP_r и тангенциальной ΔP_τ , определяемая по формуле

$$\Delta P_R = 0,5z \sqrt{\Delta_{пр}^2 + \Delta_p^2 + \epsilon_{факт}^2} \times \sqrt{\left[10C_1 S_k^{1,1} (\text{НВ})^{n_4}\right]^2 + \left[10C_2 S_k^{1,2} (\text{НВ})^{n_5}\right]^2}, \quad (4.3)$$

где z — число зубьев режущего инструмента; $\Delta_{пр}$ — позиционное отклонение $\Delta_{см}$ на предшествующем переходе обработки; $\Delta_p = 0,02...0,05$ мм — погрешность параметра преемственности двух и более технологических связанных позиций; $\epsilon_{факт}$ — фактическая погрешность установки заготовки (или спутника с заготовкой) в позиции; НВ — твердость обрабатываемого материала; C_1, C_2 — коэффициенты, зависящие от условий обработки; y_1, y_2, n_4, n_5 — показатели степени (табл. 4.1).

**Значения коэффициентов и показателей степени
в формуле (4.3)**

Коэффициенты и показатели степени	Обрабатываемый материал		
	Чугун	Сталь	Алюминиевый сплав
C_1	5,14	3,57	27,9
C_2	0,045	0,0027	0,0027
ν_1	0,75	0,75	0,75
ν_2	0,75	0,75	0,75
n_4	0,55	0,75	0,35
n_5	1,3	2,0	2,0

Фактическую погрешность $\varepsilon_{\text{факт}}$ установки заготовки в позиции определяют по формуле

$$\varepsilon_{\text{факт}} = \varepsilon_{\text{т}} (1 + k_{\text{д}} + k_{\text{факт}}) + \varepsilon_{\text{л}} (1 + k_{\text{л}}); \quad (4.4)$$

здесь $\varepsilon_{\text{т}}$ — теоретическая погрешность установки (по зазорам посадки) [5]; $\varepsilon_{\text{л}}$ — теоретический люфт в выдвигных фиксаторах (конструкции выдвигных фиксаторов и их элементов показаны на рис. 4.3, принятые размеры и посадки в сопряжениях выдвигных фиксаторов $D = 30 \dots 45$ мм приведены в табл. 4.2). Значение теоретического люфта в выдвигных фиксаторах $\varepsilon_{\text{л}}$ находится в пределах $0,026 \dots 0,037$ мм; $k_{\text{д}}$, $k_{\text{факт}}$, $k_{\text{л}}$ — коэффициенты, учитывающие износ базовых отверстий $k_{\text{д}}$, фиксаторов $k_{\text{факт}}$ и увеличенные люфты $k_{\text{л}}$ в направляющих элементах фиксаторов в зависимости от обрабатываемого материала. При обработке заготовок из серого чугуна или стали $k_{\text{д}} = 0,7 \dots 0,8$; $k_{\text{факт}} = 0,6 \dots 0,7$; $k_{\text{л}} = 1,7$. Если обработке подвергают алюминий, то $k_{\text{д}} = 0,9$; $k_{\text{факт}} = 0,15$; $k_{\text{л}} = 1,8$.

Погрешность расположения оси отверстия относительно базовой поверхности $\Delta_{\text{см.б}}$ рассчитывают по формуле

$$\Delta_{\text{см.б}} = \pm \sqrt{\Delta_{\text{см}}^2 + \Delta_{\text{р}}^2 + \varepsilon_{\text{факт}}^2}. \quad (4.5)$$

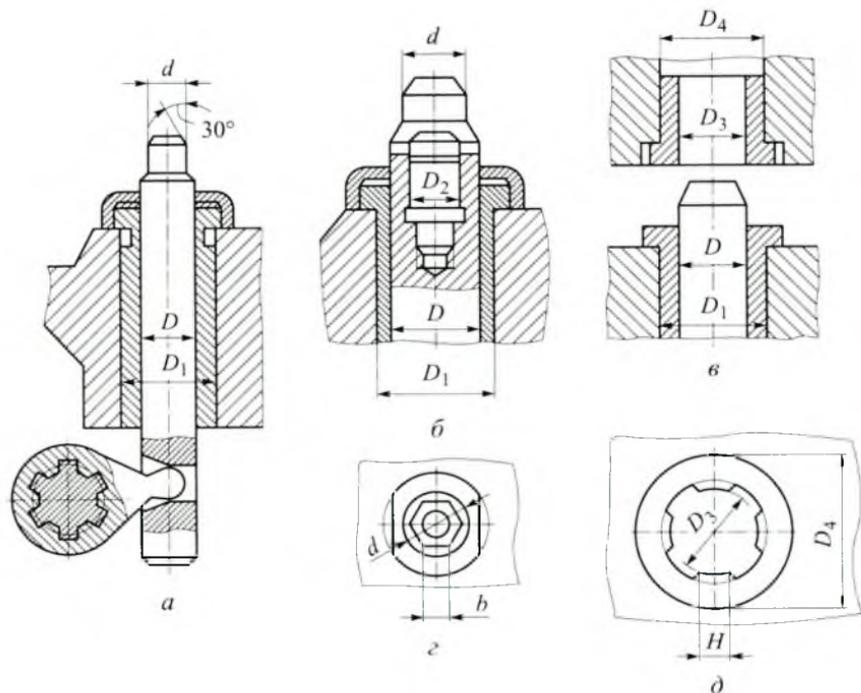


Рис. 4.3. Выдвижные фиксаторы и их элементы:
а, б — для фиксации заготовок; *в* — для фиксации спутников; *г, д* — срезанные фиксатор и втулка

Таблица 4.2

**Размеры выдвижных фиксаторов
и посадки в сопряжениях, мм**

Сопряжение	Посадки	Размеры фиксаторов при креплении, мм	
		заготовки	спутника
Фиксатор — втулка	$D \frac{H6}{h5}$	32	32; 40
Втулка — корпус	$D_1 \frac{H7}{h6}$	45	45; 60

Примечание. Допустимые значения радиального биения втулки механизма фиксации (D относительно D_1) не более 0,005 мм.

Погрешность обработки межосевых расстояний отверстий при обработке в одной позиции

$$\Delta_{\text{мор}} = \pm \sqrt{\Delta_{\text{см1}}^2 + \Delta_{\text{см2}}^2 + \Delta_{\text{плмор}}^2},$$

где $\Delta_{\text{см1}}$ и $\Delta_{\text{см2}}$ — позиционные отклонения соответственно первого и второго отверстий; $\Delta_{\text{плмор}}$ — погрешность расположения осей обеих кондукторных втулок в плите. Точность межосевых расстояний $\Delta_{\text{плмор}}$ отверстий в плитах, достигаемая обработкой на координатно-расточных станках за один установ. составляет $\pm 0,01$ мм.

Погрешность обработки межосевых расстояний при обработке отверстий в разных позициях

$$\Delta_{\text{мор}} = \pm \sqrt{\Delta_{\text{см1}}^2 + \Delta_{\text{см2}}^2 + \varepsilon_{\text{факт1}}^2 + \varepsilon_{\text{факт2}}^2 + \Delta_{\rho1}^2 + \Delta_{\rho2}^2}, \quad (4.6)$$

где $\varepsilon_{\text{факт1}}$ и $\varepsilon_{\text{факт2}}$ — фактические погрешности установки заготовки в первой и второй позициях; $\Delta_{\rho1}$ и $\Delta_{\rho2}$ — погрешности параметра преувеличенности в этих же позициях.

Отклонение от соосности $\Delta_{\text{ис}}$ двух отверстий при обработке с двух сторон в одной позиции определяют из выражения [5, с. 256]

$$\Delta_{\text{ис}} = \sqrt{\Delta_{\text{см1}}^2 + \Delta_{\text{см2}}^2 + \Delta_0^2}, \quad (4.7)$$

где $\Delta_0 = 0,005 \dots 0,015$ мм — отклонение от соосности (несовпадение осей) постоянных кондукторных втулок.

4.1.2. Погрешности расположения осей отверстий при обработке инструментом, имеющим плавающее соединение со шпинделем станка

Инструмент, в данном случае борштанга, направляется в неподвижных или вращающихся одно-, двух- или многоопорных втулках. Для обработки отверстий высокой точности и диаметром свыше 120 мм применяют борштанги типа «скользящие втулки»: борштанга вращается в подшипниках качения и скользит в неподвижной направляющей втулке [1, 2, 5]. Смещение оси отверстия от номинального положения (позиционное отклонение) при зенкерованием рассчитывают по формуле [5]

$$\Delta_{\text{см}} = \sqrt{\Delta_{\text{г.и}}^2 + \Delta_{\text{у}}^2 + \Delta_{\text{у.и}}^2}; \quad (4.8)$$

при черновом растачивании резцом

$$\Delta_{\text{см}} = \sqrt{\Delta_y^2 + \Delta_{y,\text{н}}^2}; \quad (4.9)$$

при чистовом развертывании

$$\Delta_{\text{см}} = \sqrt{\Delta_{\text{г.н}}^2 + \Delta_{y,\text{н}}^2}. \quad (4.10)$$

В формулах (4.8)—(4.10) $\Delta_{\text{г.н}}$ — перекося инструмент в отверстии втулки на зазоре посадки, определяемый по формуле (4.2), при этом $n_1 = 1,0$ [5]; Δ_y — упругое смещение оси отверстия с номинального положения многозубным инструментом; $\Delta_{y,\text{н}}$ — геометрическая погрешность узла направления, которую определяют в зависимости от типа узла направления инструмента [5].

Для одноопорного узла направления типа неподвижной втулки (рис. 4.4) величину $\Delta_{y,\text{н}}$ вычисляют как погрешность положения оси отверстия втулки $O_{\text{вт}}$ — $O_{\text{вт}}$ в среднем ее сечении относительно номинального положения (ось O — O):

$$\Delta_{y,\text{н}} = \sqrt{1,69(\delta_1^2 + \delta_2^2) + 3e_1^2 + 1,21(\delta_0^2 + \delta_{\text{вт}}^2) + 1,5e_2^2 + 1,44\delta_3^2 + 1,96\delta_4^2}. \quad (4.11)$$

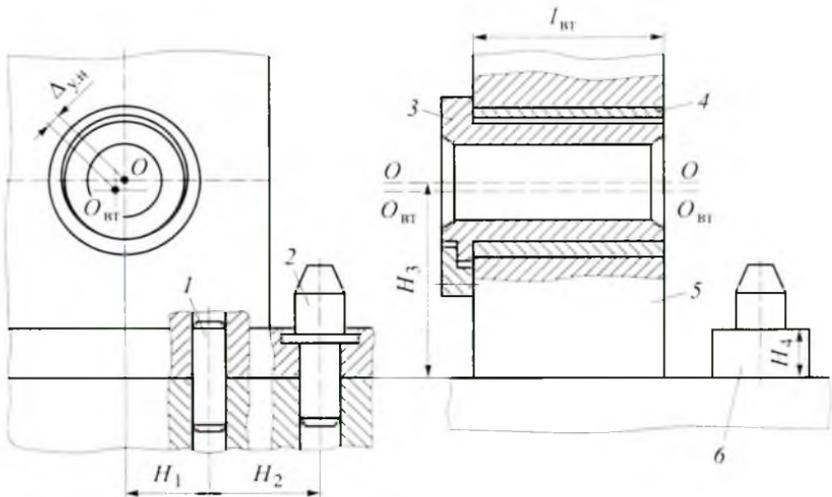


Рис. 4.4. Одноопорный узел направления типа неподвижной втулки: 1 — штифт; 2 — фиксирующий палец; 3 — сменная втулка; 4 — постоянная втулка; 5 — корпус; 6 — установочная планка

где δ_1 — половина допуска на расстояние между осями отверстий под штифт 1 (см. рис. 4.4) и под постоянную втулку 4 (размер H_1) в корпусе 5; e_1 — смещение осей наружной и внутренней поверхностей постоянной втулки 4; δ_0 и $\delta_{вт}$ — смещение оси отверстия направляющей втулки 3 за счет зазора посадки (половина поля допуска соответственно на диаметр отверстия постоянной втулки и на диаметр наружной поверхности сменной втулки); e_2 — смещение осей наружной и внутренней поверхностей сменной втулки 3; δ_2 — половина допуска на расстояние между осями отверстий под установочный штифт 1 и фиксирующий палец 2 (размер H_2); δ_3 — половина допуска на размер от опорной поверхности до оси отверстия в корпусе 5 под постоянную втулку 4 (размер H_3); δ_4 — половина допуска на размер H_4 между базовой и опорной поверхностями установочной планки 6.

Погрешность одноопорного узла направления типа вращающейся втулки (рис. 4.5) определяют как погрешность расположения оси вращения втулки $O_{вт} - O_{вт}$ в ее среднем сечении относительно номинального положения оси $O - O$:

$$\Delta_{y,н} = \sqrt{1,69(\delta_1^2 + \delta_2^2) + 1,44\delta_3^2 + 1,5(e_2^2 + e_4^2) + 1,96\delta_4^2}, \quad (4.12)$$

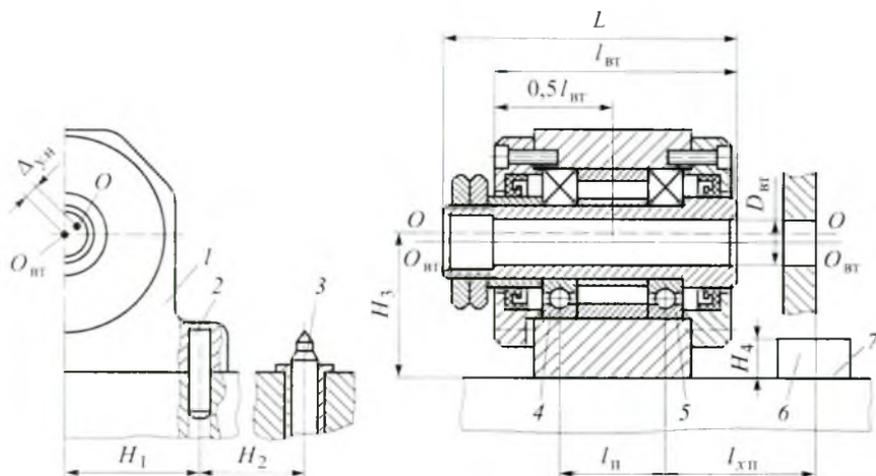


Рис. 4.5. Погрешность одноопорного узла направления типа вращающейся втулки:

1 — корпус; 2 — штифт; 3 — базовый палец; 4, 5 — подшипники; 6 — базовые планки; 7 — опорная плоскость

где δ_1 — половина допуска на размер между осью штифта 2 и осью отверстия под подшипники в корпусе 1 (размер H_1); δ_2 — половина допуска на размер между осью отверстия под штифт 2 установки корпуса 1 и осью отверстия под базовый палец 3 (размер H_2); δ_3 — половина допуска на размер от опорной плоскости 7 до оси отверстия под подшипники (размер H_3); δ_4 — половина допуска на расстояние между базовой и опорной 7 плоскостями базовых планок 6 (размер H_4); e_3, e_4 — смещения центра беговой дорожки относительно наружного диаметра наружного кольца подшипников 4 и 5.

Погрешность двухопорного узла направления типа вращающейся втулки (рис. 4.6) рассчитывают как погрешность расположения общей оси вращения $O_{1,2}—O_{1,2}$ направляющих втулок, проходящей через центры вращения средних сечений втулок, относительно ее номинального положения $O—O$:

$$\Delta_{y,н1-2} = \frac{1}{L} \sqrt{\Delta_{y,н1}^2 (L - l_{хп})^2 + \Delta_{y,н2}^2 l_{хп}^2}, \quad (4.13)$$

где $\Delta_{y,н1}, \Delta_{y,н2}$ — смещения оси вращения от номинального положения соответственно 1-й и 2-й опоры, вычисляемые по формуле (4.12); L — расстояние между серединами опор; $l_{хп}$ — расстояние от середины 1-й опоры до рассматриваемого сечения обрабатываемого отверстия. Следует отметить, что $\Delta_{y,н1-2}$ меньше, чем $\Delta_{y,н1}$

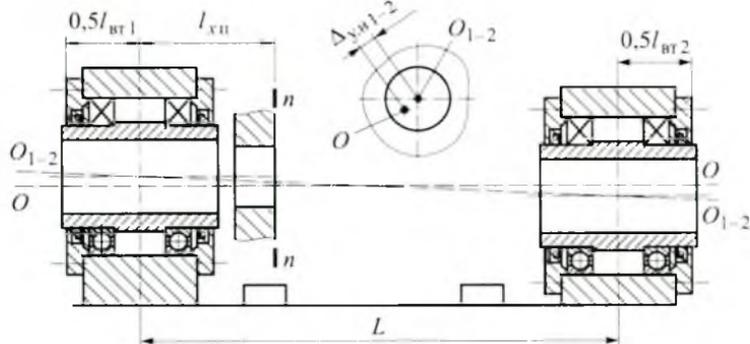


Рис. 4.6. Погрешность двухопорного узла направления типа вращающейся втулки

или $\Delta_{y,n2}$. Если $\Delta_{y,n1} > \Delta_{y,n2}$, то $\Delta_{y,n1} > \Delta_{y,n1-2} > \Delta_{y,n2}$. Для двухопорного узла направления типа неподвижной втулки $\Delta_{y,n1-2}$ определяют также по зависимости (4.13), при этом лишь $\Delta_{y,n1}$ и $\Delta_{y,n2}$ вычисляют по формуле (4.11).

В выражениях (4.8) и (4.9) упругое смещение Δ_y оси отверстия с номинального положения многозубным инструментом находят по формуле

$$\Delta_y = P_{R \min} W \left(k_{\Delta_c}^{x_p} - 1 \right),$$

где $P_{R \min}$ — равнодействующая радиальной ($P_{y \min}$) и тангенциальной ($P_{z \min}$) составляющих силы резания при минимальной глубине срезаемого слоя $t_{\min} = t - a$; W — податливость расточной позиции;

$k_{\Delta_c} = \frac{t+a}{t-a}$ — коэффициент неравномерности загрузки режущего лезвия на один оборот; x_p — показатель степени при глубине резания составляющей P_y [5]; t — заданная (номинальная) глубина резания; a — несовпадение центра вращения режущей точки инструмента и центра предварительного отверстия,

$$a_i = \sqrt{\Delta_{cm(i-1)}^2 + \varepsilon_i^2 + \Delta'_{v,i}{}^2 + \Delta_{y,i(i)}^2}.$$

Здесь $\Delta_{cm(i-1)}$ — смещение оси отверстия обрабатываемой детали, полученное на предшествующем переходе, определяют по ТУ на заготовку или при расчете точности обработки на предшествующем ($i-1$) переходе; значения погрешностей ε_i , $\Delta'_{v,i(i)}$, $\Delta_{y,i(i)}$ на выполняемом i -м переходе берут из справочника [5].

Если $\Delta_{cm(i-1)} > 0,5$ мм, то можно принимать $a \approx \Delta_{cm(i-1)}$.

Податливость расточной позиции W [5] представляет собой сумму:

$$W = W_{y,n} + W_n,$$

где $W_{y,n}$ — податливость узла направления инструмента; W_n — податливость инструмента; податливость заготовки составляет не более $0,05(W_{y,n} + W_n)$, поэтому ее не учитывают.

Податливость, мкм/Н, одноопорного узла направления типа вращающейся втулки, имеющего шарикоподшипники, определяют по следующей приближенной формуле:

$$W_{y,и} = \frac{(0,7 - 0,002d) \left[(1 + l_{\text{вн}}/l_{\text{и}})^{5/3} + (l_{\text{вн}}/l_{\text{и}})^{5/3} \right]}{P_R^{1/3}}, \quad (4.14)$$

где d — диаметр отверстия внутреннего кольца подшипника, мм; $l_{\text{вн}}$ — вылет режущего инструмента, мм, относительно ближнего подшипника (см. рис. 4.5); $l_{\text{и}}$ — расстояние между подшипниками, мм; P_R — сила резания, Н.

Податливость вспомогательного инструмента с постоянной жесткостью (гладкий вал постоянного диаметра) в одноопорном узле направления рассчитывают по соотношению

$$W_{и} = 0,0324 \frac{l_x^3}{d^4}, \quad (4.15)$$

Податливость двухступенчатого инструмента в одноопорном узле направления

$$W_{и} = 10^{-4} \frac{l_x^3 + 2l_1^3 (J_2/J_1 - 1)}{3EJ_2}, \quad (4.16)$$

В формулах (4.15), (4.16) l_x — вылет инструмента за торец втулки, см; d — диаметр вспомогательного инструмента, см; l_1 — длина ступени меньшего диаметра, см; J_1 и J_2 — осевые моменты инерции площади поперечного сечения вспомогательного инструмента соответственно ступени меньшего и большего диаметров, см⁴; E — модуль упругости первого рода материала вспомогательного инструмента.

Погрешность расположения оси отверстия относительно базовой поверхности

$$\Delta_{\text{см.б}} = \pm \sqrt{\Delta_{r,и}^2 + \Delta_y^2 + \Delta_{y,и}^2 + \epsilon_{\text{факт}}^2}.$$

Погрешность обработки межосевых расстояний двух отверстий в одной позиции в зависимости от выполняемой операции находят по следующим формулам:

при зенкеровании

$$\Delta_{\text{мор}} = \pm \sqrt{\Delta_{r,и1}^2 + \Delta_{r,и2}^2 + \Delta_{y1}^2 + \Delta_{y2}^2 + \Delta_{y,и,мор}^2},$$

где $\Delta_{y,и,мор}$ — погрешность межосевого расстояния двух втулок узла направления;

при растачивании резцом

$$\Delta_{\text{мор}} = \pm \sqrt{\Delta_{y1}^2 + \Delta_{y2}^2 + \Delta_{y,и.мор}^2}$$

Погрешность межосевого расстояния двух отверстий, обработанных в разных позициях, обусловлена кроме перечисленных факторов также влиянием погрешности установки заготовки во второй позиции $\epsilon_{\text{факт2}}$.

4.1.3. Определение времени работы кондукторной втулки в зависимости от заданной точности расположения оси обрабатываемого отверстия $\Delta_{\text{см,доп}}$

Значение допустимого износа втулки [5] рассчитывают по формуле

$$h_{\text{доп}} = \frac{\Delta_{\text{см,доп}} - \Delta_{y,и}}{0,5 + l_x / l_{\text{вт}}} - n_1 S_1, \quad (4.17)$$

где S_1 — начальный зазор в сопряжении втулка — сверло, втулка — зенкер или втулка — развертка.

Упругие отжатия $\Delta_{y,и}$ режущих инструментов определяют в зависимости от сил, действующих на инструмент и втулку, для сверления, зенкерования и развертывания.

При сверлении (табл. 4.3) упругие деформации зависят от длины кондукторной втулки, длины вылета сверла и зазора; при зенкерования (табл. 4.4) и развертывании (табл. 4.5) основными факторами смещения служат вылет инструмента и неравномерность припуска.

Значение допустимого износа втулки $h_{\text{доп}}$ находят методом итераций, так как она зависит от упругого отжатия $\Delta_{y,и}$, а последнее, в свою очередь, является функцией суммы значений зазора S_1 и износа h_1 , т. е. $\Delta_{y,и} = f(S_1 + h_1)$. Поэтому при определении $h_{\text{доп}}$ в первый раз значение $\Delta_{y,и}$ берут из табл. 4.3—4.5 в соответствии с начальным зазором S_1 для сверления, зенкерования или развертывания при известных значениях l_x и $l_{\text{вт}}$ и подставляют в формулу (4.17). Далее полученное в результате расчета значение $h_{\text{доп}}$ суммируют с начальным значением зазора S_1 и определяют для нового значения $(S_1 + h_{\text{доп}})$ размер $\Delta_{y,и}$ по табл. 4.3. Подставив это новое

значение $\Delta_{y,н}$ в формулу (4.17), вновь находят значение $h_{доп}$. После трех итераций получают истинное значение $h_{доп}$.

Таблица 4.3

Значения упругих отжатий $\Delta_{y,н}$ при сверлении

$l_{в1}, \text{ мм}$	$l_{г}, \text{ мм}$	$S_1 + h_1, \text{ мм}$			$l_{в1}, \text{ мм}$	$l_{г}, \text{ мм}$	$S_1 + h_1, \text{ мм}$		
		0,04	0,10	0,20			0,04	0,10	0,20
18	6	$d = 6 \text{ мм}$			30	10	$d = 15 \text{ мм}$		
	9	0,006	0,019	0,068		15	0,005	0,014	0,052
	12	0,012	0,025	0,074		20	0,008	0,017	0,055
	15	0,017	0,030	0,079		25	0,011	0,021	0,058
24	6	0,024	0,037	0,086	45	10	0,003	0,013	0,050
	9	0,004	0,017	0,066		15	0,005	0,015	0,052
	12	0,008	0,021	0,070		20	0,008	0,018	0,055
	15	0,015	0,028	0,077		25	0,010	0,020	0,057
30	6	0,022	0,035	0,084	50	10	0,002	0,012	0,049
	9	0,002	0,015	0,064		15	0,003	0,013	0,050
	12	0,007	0,020	0,069		20	0,006	0,016	0,053
	15	0,013	0,026	0,075		25	0,008	0,018	0,055
22	7	$d = 10 \text{ мм}$			45	15	$d = 25 \text{ мм}$		
	10	0,007	0,015	0,056		20	0,013	0,021	0,043
	15	0,009	0,018	0,058		25	0,016	0,024	0,046
	20	0,014	0,022	0,063		30	0,018	0,026	0,048
30	7	0,018	0,026	0,067	60	15	0,007	0,015	0,040
	10	0,004	0,014	0,053		20	0,010	0,018	0,042
	15	0,006	0,015	0,055		25	0,012	0,020	0,043
	20	0,010	0,018	0,059		30	0,014	0,022	0,044
40	7	0,014	0,022	0,063	70	15	0,003	0,011	0,033
	10	0,003	0,012	0,051		20	0,006	0,014	0,036
	15	0,004	0,013	0,053		25	0,008	0,016	0,038
	20	0,007	0,016	0,056		30	0,010	0,018	0,040
		0,011	0,020	0,060					

Примечание. В расчетах принята подача $S = 0,1 \text{ мм/об}$. Обозначения $l_{в1}$, $l_{г}$ и S_1 , h_1 указаны на рис. 4.7.

Значения упругих отжатий $\Delta_{y,и}$ при зенкеровании

Номинальный диаметр инструмента, мм	Неравномерность припуска $\Delta_{y,и}$, мм	Длина вылета инструмента l_v , мм					
		20	30	40	50	60	75
15	0,4	0	0,01	0,02	0,05	0,10	–
25		0	0	0	0,01	0,01	0,02
15	0,8	0	0,02	0,05	0,13	0,25	–
25		0	0	0	0,02	0,03	0,06
15	1,6	0,02	0,06	0,16	0,21	0,27	–
25		0	0	0,01	0,03	0,06	0,09
15	2,4	0,03	0,10	0,24	0,35	0,57	–
25		0	0,01	0,03	0,06	0,08	0,17
15	3,2	0,04	0,14	0,32	0,55	–	–
25		0	0,02	0,06	0,09	0,13	0,28

Примечание. В расчетах принята подача $S = 0,5$ мм/об.

Таблица 4.5

Значения упругих отжатий $\Delta_{y,и}$ при развертывании

Номинальный диаметр инструмента, мм	Неравномерность припуска $\Delta_{y,и}$, мм	Длина вылета инструмента l_v , мм					
		20	30	40	50	60	75
15	0,2	0	0	0,015	0,020	0,040	–
25		0	0	0	0	0,005	0,010
15	0,4	0,005	0,010	0,035	0,045	0,070	–
25		0	0	0	0,005	0,015	0,025
15	0,6	0,005	0,020	0,045	0,080	0,130	–
25		0	0	0,005	0,010	0,025	0,040

Примечание. В расчетах принята подача $S = 1,0$ мм/об.

При сверлении отверстия (рис. 4.7) режущий инструмент касается торца обрабатываемой поверхности под углом θ_1 в результате действия осевой силы P_{oc} и ее поперечной составляющей $P_{пн}$, тем самым смещая ось инструмента с оси отверстия кондукторной втулки. Под действием зазора S_1 ось инструмента отклонится от оси втулки на угол θ_2 , а образующая инструмента коснется втулки на входном торцевом сечении в точке C . На выходном сечении кондукторной втулки инструмент коснется ее в точке A , где действует реакция R_1 .

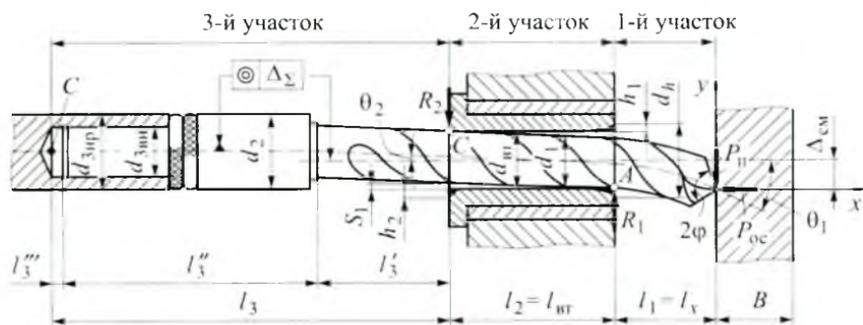


Рис. 4.7. Общий вид инструментальной наладки при сверлении

Осевую силу вычисляют по формуле [3]

$$P_{oc} = 10 C_p D^{q_p} S^{y_p} k_p,$$

где D — диаметр отверстия, мм; S — подача, мм/об; C_p , q_p , y_p , k_p — коэффициенты и показатели степеней, определяемые условиями обработки ($C_p = 42,7$; $q_p = 1$; $y_p = 0,8$; $k_p = 1$) [4]. Поперечная составляющая осевой силы

$$P_{пн} = P_{oc} \frac{\operatorname{tg} \theta_2 k_3}{\operatorname{tg} \left(90^\circ - \frac{2\varphi}{2} \right)}, \quad (4.18)$$

где $\theta_2 = \frac{S_1}{l_{вт}}$ — угол наклона инструмента во втулке, град;

$k_3 = 1,7$ — коэффициент, учитывающий несимметричность заточки и прогиб сверла при врезании в заготовку.

При расчете реакций инструментальную наладку рассматривают как ступенчатую балку (см. рис. 4.7), состоящую из трех участков разной жесткости с различной силовой нагрузкой. Участок l_1 равен вылету инструмента за торец втулки, участок l_2 — длине направляющей втулки. Ступенчатый участок l_3 измеряют от ближайшей опоры шпинделя до входа инструмента во втулку, его размер включает: конец шпинделя ($l_3''', d_{3\text{вн}}, d_{3\text{нр}}$), удлинитель (l_3'', d_2) и часть длины инструмента (l_3', d_1). Реакции R_1 и R_2 определяют на основе теории расчета сжато-изогнутых стержней при малых перемещениях.

Составленные уравнения перемещений и изгибающих моментов для всех участков ступенчатой балки позволяют найти реакции R_2 на входном торце втулки (точка C) и R_1 на выходном торце (точка A) для любого вида обработки (сверление, зенкерование, развертывание). Упругое смещение оси инструмента рассчитывают по реакции R_1 , так как наибольшее смещение определяется зазором в выходном сечении втулки.

Реакция R_1 возникает под действием поперечной составляющей силы резания и зависит от конструктивно-технологических параметров инструментальной наладки и условий обработки: чем больше реакция R_1 , тем интенсивнее износ направляющей поверхности в выходном сечении втулки.

Для 3-го участка инструментальной наладки, на котором отмечаются три разных диаметра, необходимо определить эквивалентный момент инерции J_3 , см⁴. С этой целью данный участок заменяют гладким стержнем (рис. 4.8, $a, б$) диаметром $d = f(d_1, d_2, d_3, l_3', l_3'', l_3''')$ с учетом стыков, прорезей и зазоров. Тогда

$$J_3 = \frac{l_3^3}{6} \left[\frac{1}{J_3'} (l_3')^3 + \frac{1}{J_3'' k_1} (l_3' + \frac{2}{3} l_3'')^2 + l_3' l_3'' \left(l_3' + \frac{1}{2} l_3'' \right) + \frac{2 (l_3''')^3 \left(l_3'' + l_3' + \frac{2}{3} l_3''' \right) + l_3''' (l_3'' + l_3') \cdot \left(l_3'' + l_3' + \frac{1}{2} l_3''' \right)}{J_3''' k_1} \right]^{-1}$$

где l'_3, l''_3, l'''_3 — размеры участков инструментальной наладки: J'_3, J''_3, J'''_3 — осевые моменты инерции поперечных сечений отдельных участков наладки (значения моментов инерции получают из следующих зависимостей: $J'_3 = Cd_1^4$; $J''_3 = 0,05d_2^4$; $J'''_3 = 0,05(d_{3\text{нр}}^4 - d_{3\text{вн}}^4)$; $d_1, d_2, d_{3\text{нр}}, d_{3\text{вн}}$ показаны на рис. 4.7); k_1 — коэффициент, учитывающий наличие стыков, прорезей и зазоров, для инструментальных наладок, используемых на сверлильных позициях, рекомендуется принимать $k_1 = 0,5$. Для различных видов режущего инструмента выбирают следующие значения C : для сверл $C = 0,011$, для трехзубых зенкеров $C = 0,018$, для четырехзубых зенкеров $C = 0,023$, для разверток $C = 0,026$ [5].

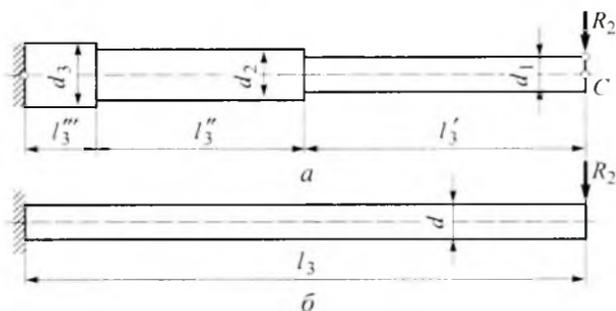


Рис. 4.8. Расчетная схема для определения эквивалентного момента инерции инструментальной наладки на 3-м участке:

a — схема реальной наладки; *б* — заменяющий стержень эквивалентного сечения

В связи с большой трудоемкостью и сложностью теоретического определения реакций практические расчеты проводят по экспериментальной формуле

$$R_{1\text{св}} = 10(a_1J + a_2S + a_3l_{\text{вт}}^2 + b_3l_{\text{вт}} + a_4\Delta_{\Sigma} + a_5r_{\text{н}} + a_6S_1 - A)k_{\text{м}}, \quad (4.19)$$

где S — подача, мм/об; S_1 — зазор в сопряжении втулка — инструмент, мм; Δ_{Σ} — несовпадение осей втулки и шпинделя, мм; $r_{\text{н}}$ — радиальное биение инструментальной наладки, мм; $k_{\text{м}}$ — ко-

эффицент, зависящий от материала обработки. Значения коэффициента k_m приведены ниже:

Чугун:	
серый, HB 190	1,0
ковкий, HB 150	0,9
Алюминиевый сплав, HB 90	0,7
Сталь, HB > 200	1,1

Коэффициенты a_1, \dots, a_6 и b_3 в выражении (4.19) находят из экспериментальных зависимостей с учетом влияния каждого параметра на значение реакции (табл. 4.6).

Таблица 4.6

Значения коэффициентов для расчета реакции при сверлении

$d_{\text{ном}}, \text{мм}$	a_1	a_2	a_3	b_3	a_4	a_5	a_6	A
6	250	3	0,0042	0,24	1,3	12	9,3	0,28
10	81	3	0,0050	0,43	7,3	66	62,5	8,24
15	34	3	0,0036	0,46	20	120	110	20,5
25	10	3	0,0012	0,19	37	145	119	34,5

Реакции сил при зенкерованием $R_{1\text{зен}}$ и развертывании $R_{1\text{рзв}}$ определяют в соотношении с реакцией сил при сверлении $R_{1\text{св}}$:

$$R_{1\text{зен}} = R_{\text{св}} \frac{\Delta P_R}{P_{\text{II}}} k_{\text{зен}}; \quad R_{1\text{рзв}} = R_{1\text{св}} \frac{\Delta P_R}{P_{\text{II}}} k_{\text{рзв}},$$

где ΔP_R — равнодействующая неуравновешенных сил для зенкерования и развертывания, определяемая по формуле (4.3); P_{II} — поперечная составляющая осевой силы при сверлении, вычисляемая по формуле (4.18); $k_{\text{зен}}$ и $k_{\text{рзв}}$ — коэффициенты, зависящие от вида обработки, $k_{\text{зен}} = 1,22$; $k_{\text{рзв}} = 1,3$.

В условиях эксплуатации необходимо определять время работы втулок или число обработанных заготовок до наступления предельно допустимого износа втулки $h_{\text{доп}}$. Износ кондукторной втулки при данных условиях работы зависит только от суммарной длины обработанных инструментом деталей.

Суммарная длина L_c , м, до наступления предельно допустимого износа $h_{\text{доп}}$, мкм, нелинейно связана с расчетной реакцией R_1 :

$$L_c = \left(c_1 \frac{R_1}{10} + c_2 \right) h_{\text{доп}}^2 + \left(c_3 \frac{R_1}{10} + c_4 \right) h_{\text{доп}},$$

где c_1, c_2, c_3, c_4 — экспериментальные коэффициенты (табл. 4.7).

Таблица 4.7

Значения коэффициентов для расчета суммарной длины L_c

$d_{\text{ном}}$, мм	c_1	c_2	c_3	c_4
6	-0,000384	0,00772	-0,0635	0,229
10	-0,000014	0,00851	-0,047	0,846
15	0,0000508	0,00633	-0,051	1,786
25	0,0000742	0,00763	-0,0781	3,15

Суммарная длина L_c связана с числом обработанных на линии деталей следующей зависимостью:

$$N_{h \text{ доп}} = \frac{L_c \cdot 1000}{l_p},$$

где l_p — расчетная длина обработки, мм.

Время работы кондукторной втулки, мин, составляет

$$T_{\text{доп}} = \frac{t_0 N_{h \text{ доп}}}{60},$$

где t_0 — основное время обработки, мин.

4.2. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Пример 4.1. Определить допустимую погрешность расположения оси отверстия $\Delta_{\text{пр}}$ в отливке, если по чертежу детали известно, что у отверстия $\varnothing 42H8$ позиционное отклонение $\Delta_{\text{см}}$ составляет 0,065 мм. Заготовка выполнена из серого чугуна марки СЧ20 (HB = 200). Отверстие подвергают черновому и чистовому зенкерованию, а также развертыванию. Инструмент жестко связан со шпинделем станка и направляется по кондукторным втулкам.

Исходные данные	Вид обработки		
	Черновое зенкование литого отверстия	Чистовое зенкование	Развертывание
Максимальное поле рассеяния зазора S_{\max} , мм	0,125	0,047	0,025
Длина, мм: втулки $l_{вт}$ вылета инструмента за торец втулки l_i	80 160	80 160	100 160
Подача на зуб S_z , мм/зуб	0,3	0,17	0,17
Число зубьев z инструмента	4	4	8
Коэффициент C при расчете $J_{ин}$	0,023	0,023	0,026
Погрешность параметра преемственности Δ_p , мм	0,04		
Фактическая погрешность установки заготовки $\epsilon_{факт}$, мм	0,09	0,09	0,06
<p><i>Примечание.</i> При определении момента инерции поперечного сечения $J = Cd^4$, коэффициент C характеризует различные виды инструментов: $C_{(св)} = 0,011$; $C_{(зен)} = 0,023$ и $C_{(прв)} = 0,026$ (см. гл. 3).</p>			

Решение. Допустимую погрешность расположения оси отверстия $\Delta_{пр}$ в отливке определяем по формуле (4.2), для чего подставляем в эту формулу выражение (4.3) равнодействующей силы ΔP_R и решаем полученное уравнение относительно $\Delta_{пр}$:

$$\Delta_{пр} = \sqrt{\left\{ \frac{[\Delta_{см} - n_1 S_{\max} (0,5 + l_x / l_{вт})] 6EJ}{n_2 n_3 k l_x^3 U} \right\}^2 - (\Delta_p^2 + \epsilon_{факт}^2)},$$

где $U = \sqrt{[10C_1 S_k^{1/3} (\text{НВ})^{1/4}]^2 + [10C_2 S_k^{1/2} (\text{НВ})^{1/5}]^2}$.

Рассчитаем величину погрешности $\Delta_{\text{пр}}$, мм, по каждому технологическому переходу, начиная с последнего — развертывания. Принимаем $n_1 = 1,2$; $n_2 = 1,4$; $n_3 = 1,3$. Коэффициенты и показатели степени в выражении для определения величины U выбираем согласно табл. 4.1:

$$U = \sqrt{(10 \cdot 5,14 \cdot 0,17^{0,75} \cdot 200^{0,55})^2 + (10 \cdot 0,045 \cdot 0,17^{0,75} \cdot 200^{1,3})^2} = 277,0;$$

$$\Delta_{\text{пр}} = \left\{ \left\{ \frac{[0,065 - 1,2 \cdot 0,025 \cdot (0,5 + 160 \cdot 100)] \cdot 6 \cdot 2,2 \cdot 10^5 \cdot 0,026 \cdot 42^4}{1,4 \cdot 1,3 \cdot 8 \cdot 160^3 \cdot 277} \right\}^2 - 0,04^2 - 0,06^2 \right\}^{1/2} = 0,106.$$

Аналогично вычисляем погрешность предшествующего перехода $\Delta_{\text{пр}}$ при черновом зенкеровании, подставив в формулу в качестве позиционного отклонения $\Delta_{\text{см}}$ величину $\Delta_{\text{пр}}$, при развертывании равную 0,106 мм.

Сначала находим величину U , которая, как и при развертывании, равна 277. Тогда, приняв $n_1 = 1,1$; $n_2 = 1,4$; $n_3 = 1,3$, получаем, мм,

$$\Delta_{\text{пр}} = \left\{ \left\{ \frac{[0,106 - 1,1 \cdot 0,047 \cdot (0,5 + 160 \cdot 80)] \cdot 6 \cdot 2,2 \cdot 10^5 \cdot 0,023 \cdot 42^4}{1,4 \cdot 1,3 \cdot 4 \cdot 160^3 \cdot 277} \right\}^2 - 0,04^2 - 0,09^2 \right\}^{1/2} = 0,28.$$

Подставив в исходную формулу вместо $\Delta_{\text{см}}$ вычисленное значение $\Delta_{\text{пр}}$, находим допустимую погрешность расположения оси отверстия в литой заготовке:

$$U = \sqrt{(10 \cdot 5,14 \cdot 0,3^{0,75} \cdot 200^{0,55})^2 + (10 \cdot 0,045 \cdot 0,3^{0,75} \cdot 200^{1,3})^2} = 423,0;$$

$$\Delta_{\text{ир}} = \left\{ \left\{ \frac{[0,28 - 1,1 \cdot 0,125 \cdot (0,5 + 160/80)] \cdot 6 \cdot 2,2 \cdot 10^5 \cdot 0,023 \cdot 42^4}{1,4 \cdot 1,3 \cdot 4 \cdot 160^3 \cdot 423} \right\}^2 - 0,04^2 - 0,09^2 \right\}^{1/2} = 0,87.$$

Назначим допустимое отклонение на расположение оси отверстия в заготовке $\Delta_{\text{ир}} = 0,87$ мм.

Пример 4.2. Рассчитать время работы кондукторных втулок $T_{\text{доп}}$ при заданных конструктивно-технологических параметрах. Погрешность расположения оси отверстия $\Delta_{\text{см.доп}} = 0,125$ мм; диаметр обрабатываемого отверстия 10 мм; длина обработки $l_p = 20$ мм; начальный зазор в сопряжении втулка — инструмент $S_1 = 0,04$ мм; вылет инструмента за торец втулки $l_x = 10$ мм. Частота вращения шпинделя $n = 320$ об/мин; подача инструмента $S = 0,12$ мм/об ($S_{\text{мин}} = 38,4$ мм/мин); длина втулки $l_{\text{вт}} = 30$ мм; несовпадение осей втулки и шпинделя $\Delta_2 = 0,1$ мм; радиальное биение наладки $r_n = 0,1$ мм; размерные соотношения участков наладки (см. рис. 4.7) $l_3 = 235$ мм; $l'_3 = 40$ мм; $l''_3 = 185$ мм; $l'''_3 = 10$ мм; $d_{3\text{ир}} = 32$ мм; $d_{3\text{вт}} = 20$ мм; $d_2 = 18$ мм; материал заготовки — СЧ15.

Решение. Допустимую величину износа рассчитаем методом итераций:

$$h_{\text{доп}} = \frac{\Delta_{\text{см.доп}} - \Delta_{\text{у.и}}}{0,5 + l_x/l_{\text{вт}}} - n_1 S_1.$$

В результате расчета получаем, мм,

$$h_{\text{доп}} = \frac{0,125 - 0,022}{0,833} - 1,1 \cdot 0,04 = 0,0785.$$

Определяем эквивалентную жесткость J_3 , см⁴, 3-го участка инструментальной наладки:

$$J'_3 = Cd^4 = 0,011 \cdot 1^4 = 0,011 \text{ см}^4;$$

$$J_3'' = 0,05d_2^4 = 0,05 \cdot 1,8^4 = 0,52 \text{ см}^4;$$

$$J_3''' = 0,05(d_{3\text{нр}}^4 - d_{3\text{вн}}^4) = 0,05 \cdot (3,2^4 - 2^4) = 4,4 \text{ см}^4;$$

$$J_3 = \frac{l_3^3}{6} \left[\frac{1}{3} (l_3')^3 + \frac{1}{2} (l_3'')^2 \left(l_3' + \frac{2}{3} l_3'' \right) + l_3' l_3'' \left(l_3' + \frac{1}{2} l_3'' \right) + \frac{2(l_3''')^3 \left(l_3'' + l_3' + \frac{2}{3} l_3''' \right) + l_3''' (l_3'' + l_3') \cdot \left(l_3'' + l_3' + \frac{1}{2} l_3''' \right)}{J_3'' k_1} \right]^{-1};$$

$$J_3 = \frac{23,5^3}{6} \left[\frac{1}{3} \cdot 4^3 + \frac{1}{2} \cdot 18,5^2 \cdot \left(4 + \frac{2}{3} \cdot 18,5 \right) + 4 \cdot 18,5 \cdot \left(4 + \frac{1}{2} \cdot 18,5 \right) + \frac{2 \cdot 1^3 \cdot \left(18,5 + 4 + \frac{2}{3} \cdot 1 \right) + 1 \cdot (18,5 + 4) \cdot \left(18,5 + 4 + \frac{1}{2} \cdot 1 \right)}{4,4 \cdot 0,5} \right]^{-1} = 0,162.$$

Величину реакции R_1 , Н, в выходном сечении втулки определяем по формуле

$$R_1 = 10(a_1 J_3 + a_2 S + a_3 l_{\text{вг}}^2 + b_3 l_{\text{вг}} + a_4 \Delta_{\Sigma} + a_5 r_{\text{н}} + a_6 S_1 - A) k_{\text{м}} =$$

$$= 10 \cdot (81 \cdot 0,162 + 3 \cdot 0,12 + 0,005 \cdot 30^2 + 0,43 \cdot 30 + 7,3 \cdot 0,1 +$$

$$+ 66 \cdot 0,1 + 62,5 \cdot 0,04 - 8,24) \cdot 10 \cong 472.$$

Суммарная длина, м, обработки

$$L_{\Sigma} = \left(c_1 \frac{R_1}{10} + c_2 \right) h_{\text{дон}}^2 + \left(c_3 \frac{R_1}{10} + c_4 \right) h_{\text{дон}} =$$

$$= (-0,000014 \cdot 47,2 + 0,0851) \cdot 78,5^2 + (-0,047 \cdot 47,2 + 0,846) \cdot 78,5 =$$

$$= 412,61.$$

Число деталей, шт., подлежащих обработке при износе втулки на допустимую величину,

$$N_{h \text{ доп}} = \frac{412,61 \cdot 1000}{20} \cong 20\,630.$$

Время работы, ч, втулки до ее замены

$$T_{\text{доп}} = \frac{t_o N_{h \text{ доп}}}{60} = \frac{0,52 \cdot 20\,630}{60} \cong 178,8,$$

т. е. ~22 смены.

4.3. ЗАДАЧИ

Задача 4.3.1. Определить погрешность расположения оси отверстия относительно базовой поверхности $\Delta_{\text{см.б}}$ в позиции автоматической линии при жесткой связи инструмента со шпинделем (рис. 4.9). Направляющий элемент — кондукторная втулка. Установка заготовки детали производится на два отверстия и перпендикулярную им плоскость ($L_{\text{мор}} = 340$ мм). Установочные элементы приспособления: два выдвижных фиксатора и две опорные пластины.

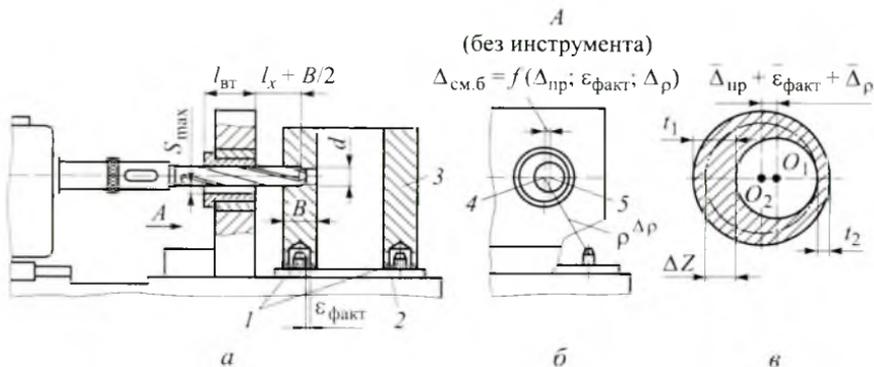


Рис. 4.9. Схемы обработки отверстия (а), образования погрешности $\Delta_{\text{см.б}}$ (б) и образования неравномерного припуска (в): 1 — выдвижные фиксаторы; 2 — базовые планки; 3 — заготовка; 4 — ось кондукторной втулки; 5 — ось обработанного отверстия

Исходные данные	Вариант				
	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	<i>д</i>
Диаметр отверстия <i>d</i> , мм	18	20	22	25	28
Режущий инструмент	Зенкер	Развертка	Зенкер	Зенкер	Развертка
Поле зазора между втулкой и инструментом S_{\max} , мм	0,044	0,035	0,063	0,055	0,032
Длина, мм: втулки $l_{вт}$ вылета за торец инструмента l_x	30 35	38 38	40 45	42 50	50 64
Погрешность предыдущей обработки $\Delta_{пр}$, мм	0,9	0,8	1,0	1,3	0,6
Параметр прецизионности Δ_p , мм	0,035	0,05	0,05	0,04	0,03
Подача на зуб S_z , мм/зуб	0,27	0,5	0,12	0,11	0,4
Число зубьев <i>z</i> инструмента	3	4	4	4	6
Базовые элементы: диаметр отверстия, мм точность фиксатора в позиции, мм посадка фиксатор — направляющая втулка на фиксаторе	14H7 -0,006 -0,014	16H8 -0,007 -0,016	12H8 -0,006 -0,014	14H7 -0,005 -0,011	16H8 -0,007 -0,016
	$30 \frac{H6}{h5}$				
Твердость обрабатываемого материала HB	200	180	220	240	260
Коэффициент <i>C</i> для определения момента инерции инструмента	0,018	0,026	0,023	0,023	0,026

Задача 4.3.2. Определить погрешность межосевых расстояний $\Delta_{\text{мор}}$ для двух отверстий в позициях автоматической линии при жесткой связи инструмента со шпинделем (рис. 4.10). Направляющий элемент — кондукторные втулки. Установку заготовки детали осуществляют на два отверстия и перпендикулярную им плоскость ($L_{\text{мор}} = 280$ мм). Установочные элементы приспособления: два выдвижных фиксатора и две опорные пластины.

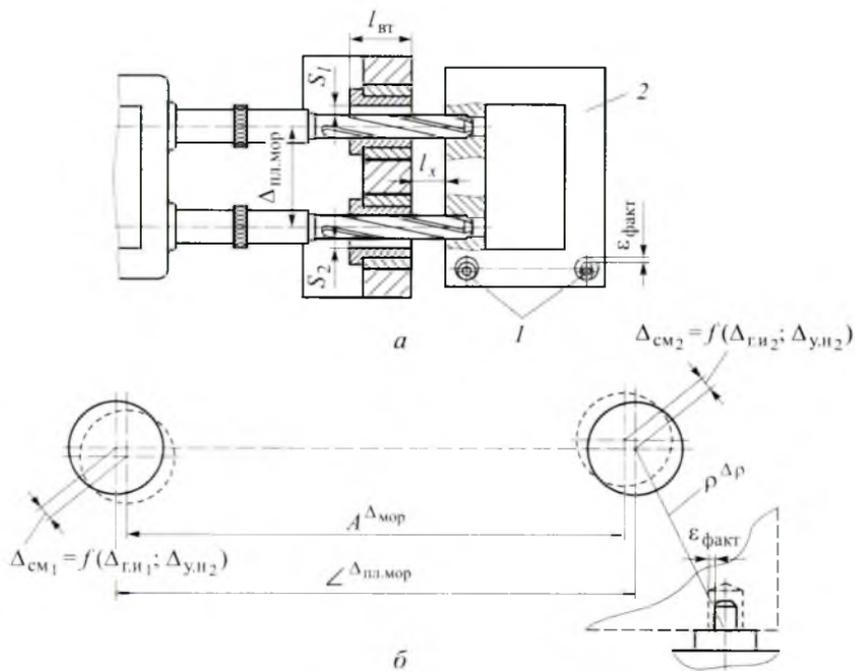


Рис. 4.10. Схемы одновременной обработки двух отверстий (а) и образования погрешности $\Delta_{\text{мор}}$ двух отверстий (б):

l — фиксаторы; 2 — заготовка; $A^{\Delta_{\text{мор}}}$ — межосевое расстояние отверстий после обработки; $\angle \Delta_{\text{пл.мор}}$ — межосевое расстояние кондукторных втулок

Исходные данные	Вариант				
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	<i>д</i>
Схема обработки	В одной позиции	В двух позициях		В одной позиции	
Диаметр отверстия <i>d</i> , мм	20	25	28	22	30
Режущий инструмент	Развертка	Зенкер	Развертка	Зенкер	Зенкер
Поле зазора между втулкой и инструментом S_{\max} , мм	0,03 / 0,04	0,042 / 0,04	0,032 / 0,03	0,055 / 0,06	0,063 / 0,05
Длина, мм: втулки $l_{вт}$ вылета за торец инструмента l_1	35 68	40 42	45 55	42 40	38 65
Погрешность предшествующей обработки $\Delta_{пр}$, мм	0,3	0,9	0,45	0,7	1,2
Параметр преемственности Δ_p , мм	0,04	0,03 / 0,035	0,03 / 0,04	0,03	0,05
Подача на зуб S_z , мм/зуб	0,40	0,20	0,35	0,12	0,10
Число зубьев <i>z</i> инструмента	4	4	6	3	4
Погрешность $\Delta_{пл\ мор}$, мм	0,037	—	—	0,04	0,03
Коэффициент <i>C</i> для определения момента инерции инструмента	0,026	0,023	0,026	0,018	0,023
Твердость обрабатываемого материала НВ	240	190	260	200	220
Базовые элементы: сопряжение фиксатор — базовое отверстие	$14 \frac{H7}{-0.006 / -0.014}$		$16 \frac{H8}{-0.007 / -0.017}$		
посадка фиксатор — направляющая втулка фиксатора	$28 \frac{H7}{h6}$				

Задача 4.3.3. Определить допустимую погрешность расположения оси отверстия $\Delta_{пр}$ на предшествующем технологически связанном переходе обработки в позиции автоматической линии, если задана точность позиционного отклонения $\Delta_{см}$ в данной позиции при жесткой связи инструмента со шпинделем (рис. 4.11). Установка спутника с заготовкой в позициях производится по двум выдвижным фиксаторам и плоскости (заданы ϵ_T и ϵ_A).

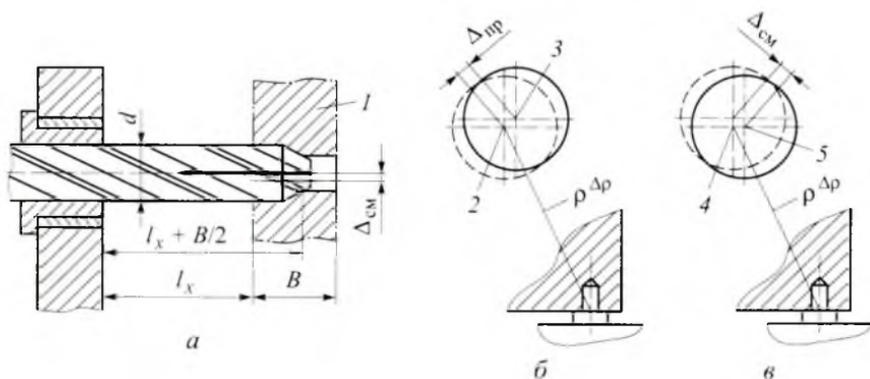


Рис. 4.11. Схемы обработки в позиции (а), положения осей втулки и отверстия $\Delta_{пр}$ на предшествующем переходе (б) и положения осей втулки и отверстия $\Delta_{см}$ на данной позиции (если задана величина позиционного отклонения $\Delta_{см}$) (в):

1 — заготовка; 2 — ось кондукторной втулки на предшествующем переходе; 3 — ось отверстия на предшествующем переходе; 4 — ось кондукторной втулки на данной позиции; 5 — ось отверстия на данной позиции

Исходные данные	Варианты задания				
	а	б	в	г	д
Диаметр отверстия d , мм	14	18	22	35	30
Вид обработки	Чистовое зенкерование	Чистовое развертывание	Получистовое зенкерование	Чистовое зенкерование	Чистовое развертывание
Погрешность расположения оси от базы $\Delta_{см.б}$, мм	0,16	0,085	0,25	0,18	0,1

Исходные данные	Варианты задания				
	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	<i>д</i>
Вылет инструмента l_n , мм	30	40	45	38	52
Тип исполнения кондукторной втулки	Точное	Высокоточное	Нормальное	Точное	Точное
Параметр преемственности Δ_p , мм	0,03	0,02	0,025	0,03	0,02
Обрабатываемый материал	Сталь 45	СЧ18	СЧ15	КЧ35	СЧ18
Твердость обрабатываемого материала НВ	190	210	200	260	180
Теоретические значения: погрешность установки ϵ_s , мм	0,025	0,016	0,020	0,010	0,018
погрешность, вызванная наличием люфта ϵ_p , мм	0,010	0,012	0,010	0,014	0,080
Подача на зуб S_z , мм/зуб	0,17	0,35	0,15	0,12	0,45
Число зубьев z инструмента	3	4	4	4	6
Коэффициент C для определения момента инерции инструмента	0,018	0,023	0,023	0,023	0,026

Задача 4.3.4. Определить допустимую погрешность расположения оси отверстия Δ_{np} при сверлении (варианты *a*, *б*) или полученного в заготовке отверстия (варианты *в*, *г* и *д*), если задано позиционное отклонение по чертежу детали (на последнем переходе) $\Delta_{см}$. Многопереходная обработка отверстий в заготовке производится в позициях автоматической линии инструментом, направляемым по кондукторным втулкам и жестко связанным со шпинделем станка (рис. 4.12).

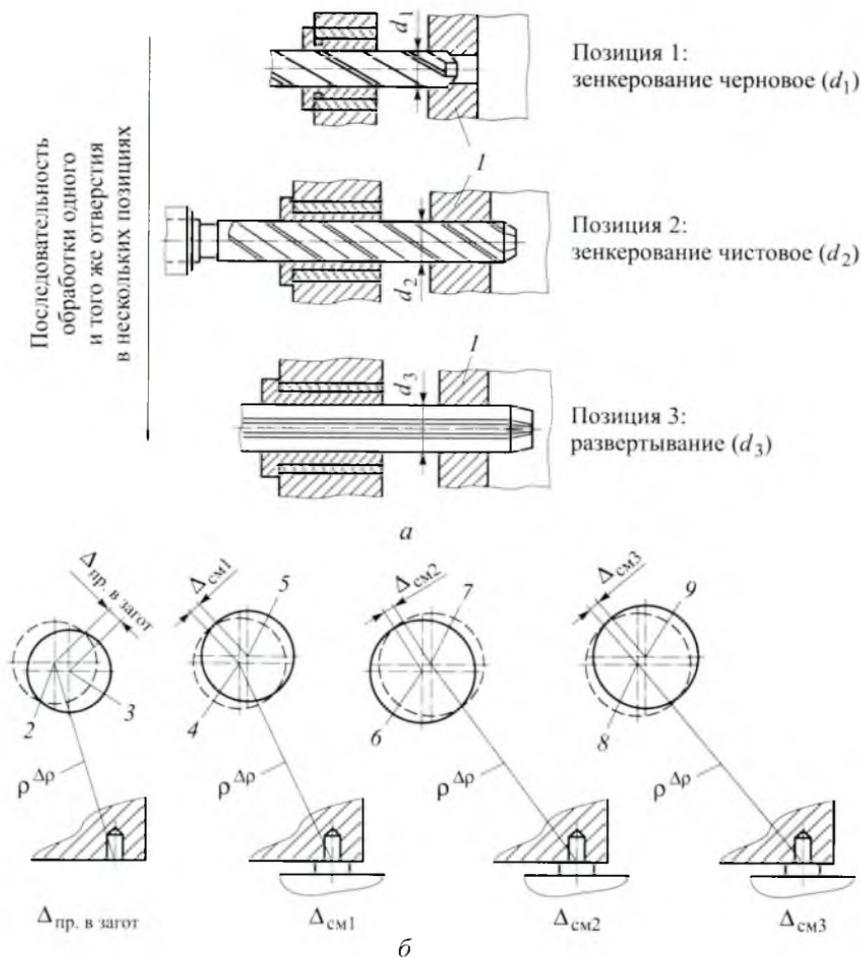


Рис. 4.12. Схемы многопереходной обработки на примере трех позиций (*a*) и для расчета $\Delta_{см}$ по позициям и в заготовке (*б*):

1 — заготовка; 2 — номинал оси относительно базы в заготовке; 3 — ось отверстия в заготовке; 4, 7 — ось кондукторной втулки; 5 — ось отверстия после чернового зенкерования (позиция 1); 6 — ось отверстия после чистового зенкерования (позиция 2); 8 — оси кондукторных втулок в позициях 2 и 3 соответственно; 9 — ось отверстия после развертывания (позиция 3)

Исходные данные	Вариант				
	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	<i>д</i>
Диаметр отверстия d , мм	14H7	18H7	35H8	40H8	45H8
Вид обработки: <i>1</i>	Зенкерование после сверления	Зенкерование после сверления	Черновое зенкерование литого отверстия	Черновое зенкерование литого отверстия	Черновое зенкерование литого отверстия
<i>2</i>	Предварительное развертывание	Предварительное развертывание	Чистовое зенкерование	Чистовое зенкерование	Чистовое зенкерование
<i>3</i>	Окончательное развертывание	Окончательное развертывание	Развертывание	Развертывание	Развертывание
Обрабатываемый материал	СЧ20	СЧ25	Сталь 45	СЧ15	Сталь 45
Твердость обрабатываемого материала НВ	190	210	200	180	210
Позиционное отклонение на последнем переходе $\Delta_{см}$, мм	0,05	0,07	0,085	0,07	0,08
Зазор между втулкой и инструментом S_{max} , мм, для видов обработки:					
<i>1</i>	0,1	0,12	0,13	0,12	0,12
<i>2</i>	0,07	0,06	0,07	0,07	0,07
<i>3</i>	0,06	0,025	0,07	0,02	0,03

Исходные данные	Вариант				
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>v</i>	<i>ε</i>	<i>δ</i>
Длина, мм: втулки $l_{\text{вт}}$					
1	28	35	70	80	90
2	35	45	90	80	90
3	35	45	90	100	120
вылета инструмента за торец втулки $l_{\text{в}}$	60	80	160	180	200
$l, 2, 3$					
Подача на зуб S_z , мм/зуб:					
1	0,12	0,15	0,2	0,3	0,25
2	0,25	0,3	0,15	0,2	0,17
3	0,2	0,25	0,15	0,2	0,1
Число зубьев z инструмента:					
1	3	3	4	4	4
2	8	8	4	4	4
3	8	8	12	12	12
Коэффициент C :					
1	0,018	0,018	0,023	0,023	0,023
2	0,026	0,026	0,023	0,023	0,023
3	0,026	0,026	0,026	0,028	0,028
Параметр преемственности Δ_p , мм:					
1	0,04	0,05	0,05	0,04	0,05
2	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03
3	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03
Погрешность установки $\epsilon_{\text{факт}}$, мм:					
1	0,09	0,1	0,08	0,08	0,1
2	0,06	0,06	0,05	0,06	0,07
3	0,06	0,06	0,05	0,06	0,07

Задача 4.3.5. Определить отклонение от соосности двух отверстий $\Delta_{нс}$ при обработке с двух сторон в одной позиции автоматической линии инструментом, направляемым по кондукторным втулкам и жестко связанным со шпинделем станка (рис. 4.13). Установка заготовки в позиции — на два отверстия и перпендикулярную им плоскость. Установочные элементы: два выдвижных фиксатора и две опорные пластины.

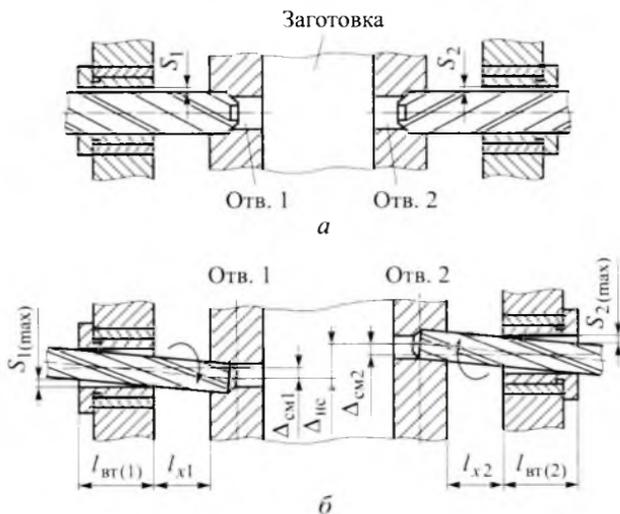
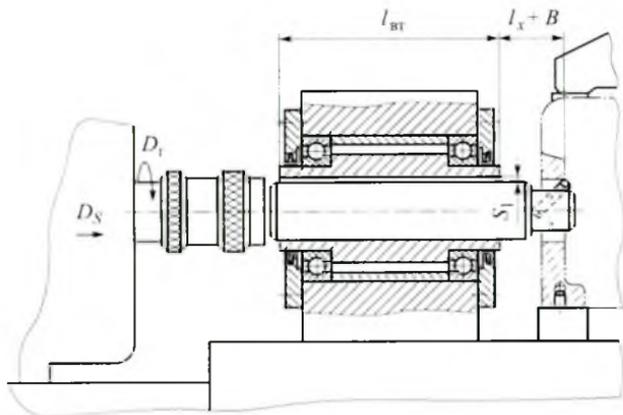


Рис. 4.13. Схемы обработки двух соосных отверстий с двух сторон в одной позиции (а) и образования отклонения от соосности $\Delta_{нс}$ двух отверстий (б)

Исходные данные	Вариант				
	а	б	в	г	д
Диаметр отверстия d , мм	16	20	25	30	35
Вид обработки	Зенкерование	Развертывание	Зенкерование	Развертывание	Зенкерование
Материал заготовки	Сталь 45	СЧ15	Сталь 45	СЧ25	Сталь 45

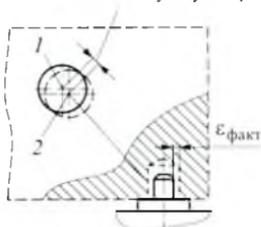
Исходные данные	Вариант				
	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	<i>д</i>
Твердость обрабатываемого материала НВ	180	190	200	210	210
Поле зазора между втулкой и инструментом S_{\max} , мм	0,05	0,03	0,06	0,04	0,07
Длина, мм: втулки $l_{вт}$ вылета за торец инструмента l_i	30 50	40 70	50 80	60 100	70 120
Подача на зуб S_z , мм/зуб	0,12	0,25	0,17	0,35	0,20
Число зубьев z инструмента	3	10	3	10	3
Коэффициент C для определения момента инерции инструмента	0,018	0,026	0,018	0,026	0,018
Отклонение от соосности постоянных втулок Δ_n , мм	0,03	0,02	0,04	0,03	0,05
Погрешность предшествующей обработки $\Delta_{пр}$, мм	0,4	0,2	0,7	0,3	0,9
Параметр преемственности Δ_p , мм	0,05	0,02	0,04	0,03	0,05
Базовые элементы: сопряжение базовое отверстие — фиксатор	$\varnothing 12$ $\frac{H8}{d6}$	$\varnothing 16$ $\frac{H7}{g6}$	$\varnothing 14$ $\frac{H8}{d6}$	$\varnothing 16$ $\frac{H8}{d6}$	$\varnothing 12$ $\frac{H7}{d6}$
посадка направляющая втулка — выдвигной фиксатор	$\varnothing 30 \frac{H6}{h6}$				

Задача 4.3.6. Определить погрешность расположения оси отверстия относительно базы $\Delta_{см.б}$ и погрешность межосевых расстояний двух отверстий $\Delta_{мор}$ одного диаметра при обработке на авто-



a

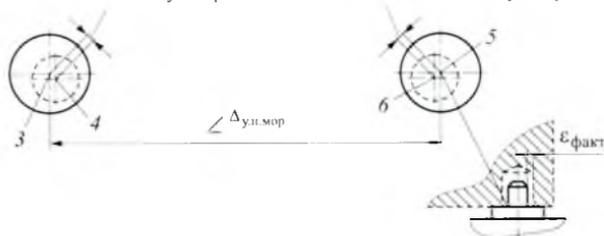
$$\Delta_{см.б} = f(\Delta_{г.и}, \Delta_{у}, \Delta_{у.и}, \epsilon_{факт})$$



б

$$\Delta_{см1} = f(\Delta_{г.и1}, \Delta_{у1}, \epsilon_{факт1})$$

$$\Delta_{см2} = f(\Delta_{г.и2}, \Delta_{у2}, \epsilon_{факт2})$$



в

Рис. 4.14. Схемы обработки (*a*) и расчетные (*б*, *в*):

1 — ось кондукторной втулки; *2* — ось обработанного отверстия;
3 — ось кондукторной втулки *1*; *4* — ось обработанного отверстия *1*; *5* — ось кондукторной втулки *2*; *6* — ось обработанного отверстия *2*

матической линии плавающим инструментом при одноопорном направлении (рис. 4.14). Установка заготовки в позиции производится по двум отверстиям и перпендикулярной им плоскости.

Исходные данные	Вариант				
	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	<i>д</i>
Диаметр отверстия <i>d</i> , мм	85Н12	65Н7	75Н8	70Н10	50Н9
Вид обработки	Черновое зенкерование	Тонкое растачивание	Чистовое растачивание	Чистовое зенкерование	Получистовое растачивание
Материал режущей части инструмента	Твердый сплав				
Число режущих кромок <i>z</i> инструмента	4	1	2	4	2
Материал детали	Сталь 45	СЧ15	КЧ35	СЧ18	КЧ35
Тип направляющей втулки	Вращающаяся	Вращающаяся	Неподвижная	Неподвижная	Вращающаяся
Теоретические значения: погрешность установки $\epsilon_{\text{теор}}$, мм	0,021	0,010	0,016	0,018	0,012
погрешность, обусловленная наличием люфта $\epsilon_{\text{л}}$, мм	0,012	0,008	0,012	0,014	0,010
Длина, мм: втулки $l_{\text{в1}}$	200	180	180	170	150
вылета за торец инструмента l_x	100	80	90	85	75
Зазор в сопряжении втулка — инструмент S_1 , мм	0,067	0,030	0,040	0,042	0,038
Глубина резания <i>t</i> , мм	4,5	0,2	0,5	2,0	1,0
Подача <i>S</i> , мм/об	0,95	0,12	0,30	0,75	0,45

Исходные данные	Вариант				
	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	<i>д</i>
Величина несоответствия оси инструмента и оси отверстия <i>a</i> , мм	1,8	0,05	0,2	0,7	0,4
Погрешность $\Delta_{v,и}$, мм	0,050	0,025	0,030	0,030	0,034
Погрешность $\Delta_{у.и,мор}$, мм	0,050	0,032	0,035	0,036	0,045
Податливость системы <i>W</i> , мкм/Н	0,040	0,050	0,060	0,045	0,055

Задача 4.3.7. Определить отклонение от соосности обрабатываемого отверстия D_1 относительно базовой цилиндрической поверхности D (рис. 4.15) в двухместном приспособлении. Обработку двух отверстий D_1 каждой заготовки выполняют одновременно зенкерами, установленными на борштанги типа скользящая втулка (соединение инструмента со шпинделем плавающее).

Исходные данные	Вариант				
	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	<i>д</i>
Диаметр отверстия, мм: обрабатываемого D предварительного d_0	62 56	35 30	70 64	72 65	65 58
Подача <i>S</i> , мм/об	1,1	0,88	1,3	1,8	1,4
Материал заготовки	Сталь 45	Сталь 45	Сталь 30	СЧ15	СЧ25
Твердость материала заготовки НВ	224	279	175	224	245
Число зубьев <i>z</i> зенкера	4	3	6	6	4
Эксцентриситет отверстия относительно поверхности, полученной на предшествующем переходе $\Delta_{пр}$, мм	0,5	0,3	0,4	0,35	0,45
Податливость узла «скользящая втулка» и узла направления <i>W</i> , мкм/Н	0,12	0,08	0,11	0,14	0,13

Исходные данные	Вариант				
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>v</i>	<i>z</i>	<i>d</i>
Диаметр базовой поверхности заготовки D_1 , мм	90	60	100	110	95
Поле допуска T_{D1}	$h12$	$h13$	$h11$	$h11$	$h10$
Диаметр направляющей части вспомогательного инструмента «скользящей втулки» D_{II} , мм	120	75	130	130	120
Посадка направляющая втулка — инструмент	$\frac{H7}{g6}$	$\frac{H5}{g5}$	$\frac{H6}{g6}$	$\frac{H7}{g7}$	$\frac{H6}{g6}$
Смещение оси отверстия под передний и задний подшипники в узле «скользящая втулка», мкм, $e_1 = e_3$	12	5	8	12	8
Смещение центра беговой дорожки относительно наружной поверхности наружного кольца переднего и заднего подшипников, мкм, $e_2 = e_4$	10	4	5	10	5
Расстояние, мм: между подшипниками l_{II} от переднего подшипника до торца обрабатываемого отверстия l_{VII}	250 140	150 90	270 110	270 110	250 120
Длина, мм: вылета режущего инструмента l_x направляющей втулки l_{VII}	100 280	50 180	70 300	60 300	80 280
Погрешность, мкм: узла направления $\Delta_{y,II}$ индексации барабана при повороте $\Delta\omega$	35 35	30 25	40 30	25 35	32 30
Угол установочной и зажимной призм α , град	90	100	120	80	110

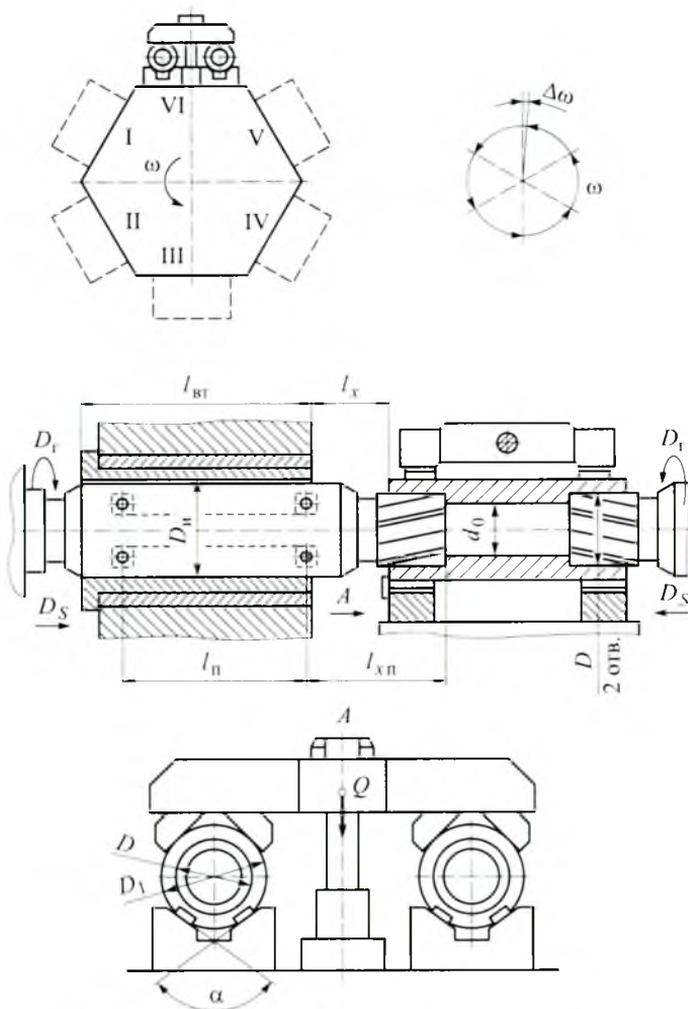


Рис. 4.15. Схема обработки к задаче 4.3.7

Задача 4.3.8. Определить время работы кондукторных втулок $T_{\text{доп}}$ в позиции автоматической линии в зависимости от заданной точности расположения отверстия $\Delta_{\text{см.доп}}$ при сверлении заготовок (см. рис. 4.7).

Исходные данные	Вариант				
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>в</i>	<i>с</i>	<i>д</i>
Диаметр отверстия <i>d</i> , мм	10	10	15	15	25
Погрешность расположения $\Delta_{\text{см.доп}}$, мм	0,15	0,10	0,15	0,25	0,20
Материал заготовки	СЧ15	Сталь 45	Алюминий	СЧ15	СЧ15
Длина, мм: штулки $l_{\text{вт}}$ вылета инструмента за торец $l_x (l_1)$	22 25	30 30	30 35	45 28	60 38
Длина отверстия <i>B</i> , мм	10	15	20	25	30
Зазор S_1 , мм	0,04	0,04	0,05	0,055	0,06
Подача <i>S</i> , мм/об	0,12	0,12	0,12	0,12	0,10
Число оборотов <i>n</i> , об/мин	300	300	240	240	200
Несовпадение осей шпинделей и втулок Δ_{Σ} , мм	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Радиальное биение наладки $r_{\text{п}}$, мм	0,12	0,12	0,14	0,10	0,12
Размерные соотношения участков инструментальной наладки, мм:					
l_3	275	175	400	405	440
l_3'	40	40	70	70	80
l_3''	225	125	325	325	350
l_3'''	10	10	5	10	10
d_2	30	32	30	32	32
$d_{3 \text{ вн}}$	20	20	20	20	20
$d_{3 \text{ нр}}$	30	32	30	32	32

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 4.1

Рекомендуемые расстояния между торцами кондукторных втулок и обрабатываемой детали (вылет инструмента за торец кондукторной втулки)

Диаметр отверстия, мм	Сверление и зенкерование			Развертывание		
	Рекомендуемое расстояние, мм, при обработке					
	чугуна	алюминия	стали	чугуна	алюминия	стали
До 4	5	6	8	—	—	—
Свыше 4 до 6	6	8	10	—	—	—
» 6 » 8	7	10	12	6	8	6
» 8 » 10	8	12	14	10	10	10
» 10 » 12	9	13	16	10	10	10
» 12 » 14	11	15	18	12	12	12
» 14 » 20	14	20	23	12	12	12
» 20 » 25	16	22	27	15	15	15
» 25 » 30	18	25	30	15	15	15
» 30 » 40	20	28	35	15	15	15
» 40 » 50	22	32	38	20	20	20
» 50 » 60	26	36	42	20	20	20
» 60 » 70	30	44	50	20	20	20
» 70 » 90	—	—	—	25	25	25

Параметры для определения максимального зазора между втулкой и инструментом

Метод обработки отверстия	Диаметр обрабатываемого отверстия, мм	Допуск на изготовление инструмента, мм	Допуск на внутренний диаметр, мм, втулки исполнения				Значения зазоров S_j , мкм, для различных втулок											
			нормально-маленького	высоко-точного	нормально-точного	высоко-точного	S_{\max}					S_{\min}					$S_{\text{ср}}$	
							нормально-точных	нормально-точных	нормально-точных	нормально-точных	нормально-точных	нормально-точных	нормально-точных	нормально-точных	нормально-точных	нормально-точных	нормально-точных	нормально-точных
Сверление	6—10	-0,022	+0,03	+0,015	—	52	37	—	14	5	—	37	22	—	—	—	—	—
			+0,014	+0,005		62	47		16	8		39	27,5					
	10—18	-0,027	—	+0,035	+0,02	—	66	58	10	10	—	38	33,5	—	—	—	—	—
				+0,016	+0,008		78		69			22						
	18—30	-0,033	—	+0,033	+0,025	—	78	69	12	10	—	45	39,5	—	—	—	—	—
				+0,01	+0,01													
	30—50	-0,039	—	+0,039	+0,03	—	89	66	23	10	—	66	39,5	—	—	—	—	—
				+0,012	+0,01													
	30—50	-0,039	—	+0,05	+0,01	—	89	66	23	10	—	66	39,5	—	—	—	—	—
				+0,023	+0,01													

Зенкeroвa- ннe	10—18	-0,024	+0,035 +0,016	+0,02 +0,008	+0,003 +0,008	59	44	32	16	8	3	38,5	26	17,5	
	18—30	-0,03	+0,033	+0,025 +0,01	+0,004 +0,01	63	55	40	10	10	4	36,5	37,5	22	
			+0,045 +0,022			75						48,5			
	30—50	-0,036	+0,039	+0,03 +0,01	+0,004 +0,011	75 86	66	47	12	10	10	4	43,5	38	25,5
			+0,012												
			+0,05 +0,023												
Развертывa- ннe	10—18	-0,009		+0,02 +0,008	+0,003 +0,008	29	17			8	3		18,5	8	
	18—30	-0,01	—	+0,025 +0,01	+0,004 +0,01	—	35	20	—	10	4	—	22	12	
				+0,03 +0,01	+0,004 +0,011	42									23
30—50	-0,012					42	23			10	4		26	13,5	

Примечания: 1. Верхнее отклонение диаметра инструмента равно нулю. 2. Радиальное биение по легточкам для сверл диаметром до 10 мм составляет 0,08...0,12 мм; >10 мм — 0,12...0,16 мм; для зенкеров диаметром 10...18 мм — 0,04 мм; 18...30 мм — 0,05 мм; 30...50 мм — 0,06 мм. Радиальное биение разверток диаметром до 30 мм — 0,012...0,025 мм; >30 мм — 0,015...0,03 мм.

Втулки постоянные (см. рис. 4.1, б)

D_1 , мм	Допуск, мм, для втулок			D_2 , мм	Допуск, мм, для втулок		Длина L , мм, втулок		
	нормальной точности	точных	высокоточных		нормальной точности	точных	нормальной точности	точных	высокоточных
8	—	+0,015	—	12	—	+0,024	—	12/16	—
12	—	+0,005	—	18	+0,024 +0,012	+0,012	10	12/20	—
16	+0,019	—	+0,005	25	+0,03 +0,015	—	16	—	20/25
18	—	+0,02 +0,008	—	28	—	+0,03 +0,015	—	16/25	20/35
20	—	—	—	30	+0,03 +0,015	—	24	—	20/35
22	—	—	—	32	—	—	—	—	20/40
25	+0,023	+0,025 +0,01	+0,006	34 36	—	+0,035 +0,018	30	25/35	20/45
28	—	—	—	38	+0,035 +0,018	—	—	—	30/60
30	—	—	—	40	—	—	—	—	30/70
32	+0,027	—	+0,007	42	—	—	30/40	—	30/70
34	—	+0,025 +0,01	—	45	—	+0,035 +0,018	—	25/35	30/90

36			+0,007	48	+0,035		—		30/90
38				48	+0,018		—		
40				50—			35/50		
42	+0,027		+0,008	52			—		
45		+0,03		55—	+0,04	+0,04	—	35/45	
48		+0,01		58	+0,02	+0,02	—		30/110
52				65			40/60		
58	+0,03	+0,03	+0,01	70		+0,04	—	—	
60		+0,01		75		+0,02	—		
65				80			45/75		

Примечания: 1. Радиальное биение D_1 относительно D_2 для втулок нормальной точности составляет $\leq 0,01 \dots 0,012$ мм; точных $\leq 0,005$ мм; высокоточных $\leq 0,002$ мм. 2. В числителе приведена длина коротких втулок, в знаменателе — длинных. 3. Диаметр D_2 для высокоточных втулок подгоняют по действительному диаметру отверстия в кондукторной плите с натягом 2...10 мкм.

Втулки смещные (см. рис. 4.1, а и в)

d, мм	Допуск, мм, для втулок			D ₁ , мм	Допуск, мм, для втулок		
	нормальной точности	точных	высокоточных		нормальной точности	точных	высокоточных
До 4	+0,025	+0,012	—	8—12	-0,006	-0,006	—
	+0,012	+0,003					
4—6				12—16		-0,008	
6—8	+0,03 +0,014			16—18	-0,006 -0,014	-0,008	-0,005
8—10		+0,015 +0,005		18—20			
10—12	+0,035 +0,016			25—28	-0,007 -0,016	-0,009	-0,006
12—18		+0,02 +0,008		30—36	-0,009 -0,02	-0,011	-0,007

18—24	+0,033 +0,01	+0,025 +0,01	+0,004 +0,01	36—40			
24—30	+0,045 +0,022			40—45	-0,009 -0,02	-0,011	-0,007
30—34			+0,004	45—52			
34—40	+0,038 +0,012	+0,03 +0,01		52—58	-0,01 -0,023	-0,010	-0,008
40—45	+0,05 +0,023		+0,011	58—65			
45—50		—					

Примечание. Радиальное биеение поверхностей d и D_1 для втулок нормальной точности составляет $\leq 0,01 \dots 0,012$ мм; для точных $\leq 0,005$ мм; высокоточных $\leq 0,002$ мм.

Длина L , мм, сменных кондукторных втулок по направляющей поверхности при различных видах обработки (см. рис. 4.1, в и г)

Диаметр направляющей части инструмента d , мм	Сверление отверстий		Зенкерование	Развертывание с направлением	
	нормальной глубины	глубоких		одним	двумя
Свыше 4 до 6	16	30	16	26	18
» 6 » 8	20	35	22	31	22
» 8 » 10	30	45	30	35	35
» 10 » 12	40	55	40	45	45
» 12 » 14	50	60	45	55	45
» 14 » 16	60	70	50	55	45
» 16 » 18	70	—	55	—	—
» 18 » 22	85	—	—	—	—
» 22 » 24					
» 24 » 28					
» 28 » 30					
» 30 » 34					
» 34 » 40					
» 40 » 42					
» 42 » 50					

**Размеры, мм, твердосплавных втулок
для обработки точных отверстий (см. рис. 4.2)**

d		D	D_1	L	l_1	l
Свыше 5 до 6,4	+0,025 +0,012	18	28	32	22	10
» 6,4 » 8,4		20	30	35	25	20
» 8,4 » 10		22	32	40	30	25
Свыше 14	+0,005	28	38	45	—	35
» 16		32	42	50	—	40
» 18		36	48	55	—	45
» 20	+0,006	38	48	60	—	50
» 22		40	50	70	—	60
» 25		45	55	75	—	65
<p align="center"><i>Примечание.</i> Радиальное биение наружного и внутреннего диаметров твердосплавной втулки составляет $\leq 0,004 \dots 0,005$ мм.</p>						

ЛИТЕРАТУРА

1. Косилова А.Г. Точность обработки деталей на автоматических линиях. М.: Машиностроение, 1976. 224 с.
2. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. / под ред. А.М. Дальского, А.Г. Косиловой, Р.К. Мешерякова, А.Г. Суслова. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение-1, 2001. Т. 1. 912 с.
3. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. / под ред. А.М. Дальского, А.Г. Косиловой, Р.К. Мешерякова, А.Г. Суслова. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение-1, 2001. Т. 2. 944 с.
4. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. / под ред. А.Н. Малова. 3-е изд. М.: Машиностроение, 1972. Т. 2. 568 с.
5. Справочник технолога по автоматическим линиям / А.Г. Косилова, А.Г. Лыков, О.М. Деев и др.; под ред. А.Г. Косиловой. М.: Машиностроение, 1982. 320 с.

5. ВЫБОР СХЕМ УСТАНОВКИ ЗАГОТОВОК, ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТИ БАЗИРОВАНИЯ И ПЕРЕСЧЕТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ

5.1. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ

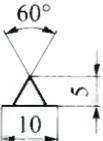
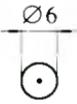
5.1.1. Выбор схем установки заготовок и лишаемые при этом степени свободы

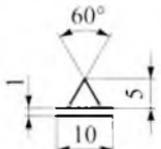
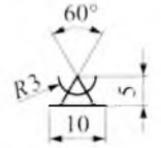
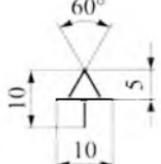
При выборе схем установки заготовок используется основной принцип совмещения установочной и измерительной баз, что обеспечивает отсутствие погрешности базирования ($\epsilon_b = 0$) [2]. При несовмещении этих баз появляется погрешность базирования, величину которой находят из геометрических связей. В этом случае заготовку можно устанавливать на искусственную базу, поэтому технолог должен уметь пересчитывать технологические размеры и вводить их в технологический процесс [1, 3].

Согласно ГОСТ 3.1107–81 при изображении схем установки используют графические обозначения опор (табл. 5.1).

Таблица 5.1

Обозначения опор

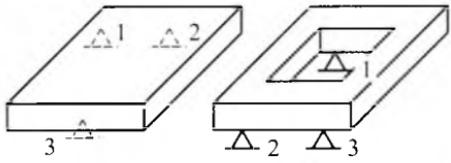
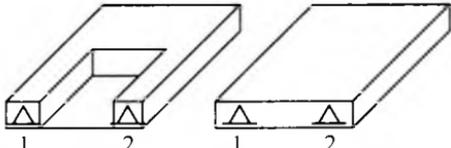
Наименование опоры	Обозначение опоры на видах		
	спереди, сзади	сверху	снизу
Неподвижная			

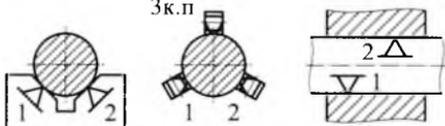
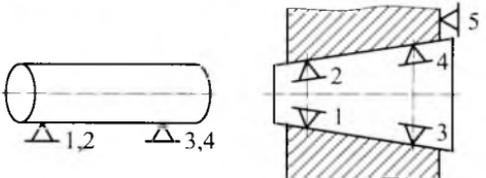
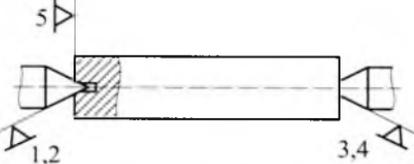
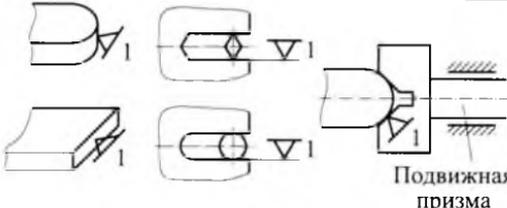
Наименование опоры	Обозначение опоры на видах		
	спереди, сзади	сверху	снизу
Подвижная			
Плавающая			
Регулируемая			

Типовые схемы установки и лишаемые при этом степени свободы приведены в табл. 5.2 [1, 2].

Таблица 5.2

Типовые схемы установки деталей в приспособление

Установочная поверхность	Лишаемые степени свободы	Изображение
Установочная плоскость	Три степени свободы: два вращения и одно перемещение	
Плоскость ориентации	Две степени свободы: одно вращение и одно перемещение	

Установочная поверхность	Лишаемые степени свободы	Изображение
Короткая поверхность центрирования	Две степени свободы: два перемещения	
Удлиненная поверхность центрирования (коническая или цилиндрическая)	Цилиндрическая поверхность — четыре степени свободы: два вращения и два перемещения	
	Коническая поверхность — пять степеней свободы	
Упорная поверхность (наружная или внутренняя)	Одна степень свободы: одно вращение или одно перемещение	

5.1.2. Пересчет технологических размеров

Вместо конструкторских размеров проводят пересчет технологических размеров минимаксным методом, предварительно переводя все размеры в симметричные. Например, размер $21_{-0,3}$ будет симметричным $20,85 \pm 0,15$. Иными словами, у симметричного размера допуск расположен симметрично относительно номинала.

Пересчет технологических размеров может быть частичным или полным [2].

5.2. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Пример 5.1. При *частичном пересчете* (рис. 5.1) основным условием является выполнение неравенства $\Delta_{PC} > 0$.

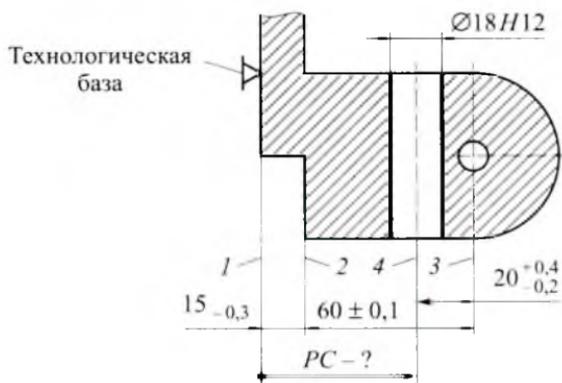


Рис. 5.1. Схема для пересчета размеров

Требуется обработать отверстие $\varnothing 18H12$ (сечение 4) с технологической базы (поверхность 1), хотя связи этих поверхностей на чертеже отсутствуют. Поэтому необходимо ввести новый размер PC , связывающий технологическую базу (поверхность 1) и обрабатываемую поверхность 4. Выполняем следующие действия:

- 1) обозначаем цифрами размерную цепь, представленную конструктором — 1, 2, 3, 4;
- 2) строим граф размеров (рис. 5.2);

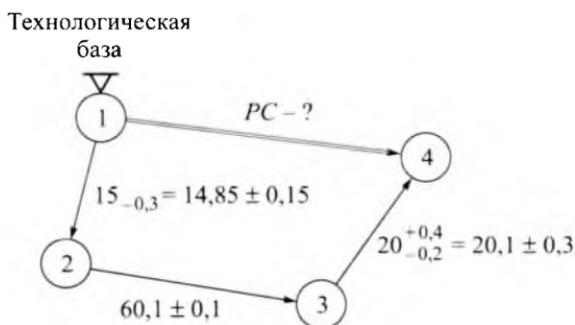


Рис. 5.2. Построение графа размеров

3) переводим все размеры в симметричные (поле допуска должно располагаться симметрично относительно номинала):

$$15_{-0,3} \rightarrow 14,85 \pm 0,15 \text{ мм.}$$

$60 \pm 0,1 \text{ мм} \rightarrow$ размер с симметричным полем допуска,

$$20_{-0,2}^{+0,4} \rightarrow 20,1 \pm 0,3 \text{ мм.}$$

4) отмечаем, что заменяемый размер $20,1 \pm 0,3 \text{ мм}$;

5) вычисляем номинал нового размера PC , мм:

$$PC = 14,85 + 60 - 20,1 = 54,75;$$

6) определяем допуск на новый размер PC , мм, если заменяемый размер $\Delta_{\text{зам}} = 20,1$ имеет допуск $\pm 0,3 \text{ мм}$:

$$\Delta_{PC} = \Delta_{\text{зам}} - \sum_{i=1}^{n=2} \Delta_i = \underbrace{(\pm 0,3)}_{(\pm 0,3)} - \underbrace{[(\pm 0,1) + (\pm 0,15)]}_{(\pm 0,25)} = (\pm 0,3) - (\pm 0,25) = \pm 0,05.$$

Как видим, допуск заменяемого размера $(\pm 0,3)$ больше суммы допусков размеров, оставшихся в цепи $(\pm 0,25)$: $(\pm 0,3) > (\pm 0,25)$, что позволяет записать $\Delta_{PC} = \pm 0,05 \text{ мм}$.

Таким образом, поскольку $\Delta_{PC} = (\pm 0,05) > 0$, можем сделать вывод, что основное условие частичного пересчета $\Delta_{PC} > 0$ соблюдается. Следовательно, в результате пересчета получили новый размер PC : $54,75 \pm 0,05 \text{ мм}$.

Пример 5.2. При *полном пересчете* основным условием является $\Delta_{PC} \leq 0$. Необходимо определить новый размер PC (рис. 5.3),

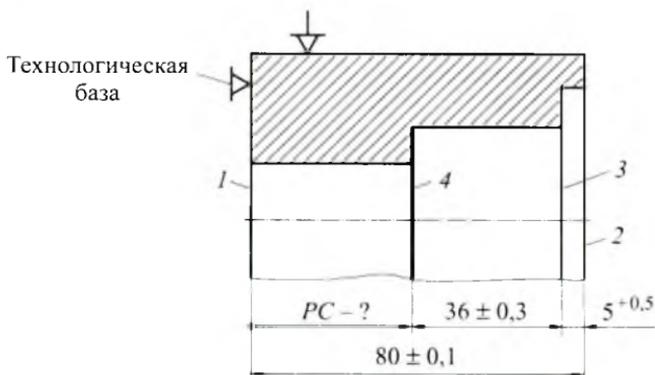


Рис. 5.3. Схема для полного пересчета

если с использованием технологической базы (поверхность 1) обрабатывается торец (поверхность 4), а размер, связывающий эти поверхности, отсутствует на чертеже.

Сначала последовательно выполняем пункты 1—4, приведенные в примере 5.1 при частичном пересчете. Затем

5) вычисляем номинал нового размера PC , мм (рис. 5.4):

$$PC = 80 - 5,25 - 36 = 38,75;$$

6) определяем допуск на размер PC ($\Delta_{зам} = 36 \pm 0,3$):

$$\Delta_{PC} = \Delta_{зам} - \sum_{i=1}^{n=2} \Delta_i = (\pm 0,3) - [(\pm 0,1) + (\pm 0,25)] = (\pm 0,3) - (\pm 0,35) < 0.$$

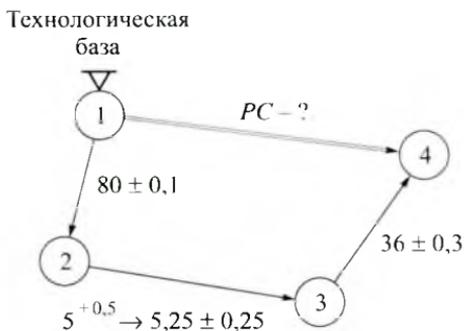


Рис. 5.4. Построение графа размеров

Таким образом, допуски на заменяемый размер $36 \pm 0,3$ не достаточно для того, чтобы разность между допуском на заменяемый размер $(\pm 0,3)$ и суммой допусков, оставшихся в цепи $(\pm 0,35)$, была положительной, т. е. получается, что $\Delta_{PC} = (\pm 0,3) - (\pm 0,35) < 0$. В этом случае нельзя изменять (увеличивать) поле допуска на заменяемый размер (его задал конструктор детали), но можно уменьшить поля допусков на оставшиеся в цепи размеры.

В примере 5.2 можно уменьшить величину поля допуска на размер 5,25 с $(\pm 0,25)$ до $(\pm 0,15)$, т. е. размер 5,25 будет выполняться точнее, чем это указано на чертеже. Тогда

$$\Delta_{PC} = \Delta_{зам} - \sum_{i=1}^{n=2} \Delta_i = (\pm 0,3) - [(\pm 0,1) + (\pm 0,15)] = (\pm 0,3) - (\pm 0,25) = \pm 0,05 > 0.$$

Окончательно получим $PC = 38,75 \pm 0,05$ мм при условии, что размер 5,25 будет выполняться с новым допуском $\pm 0,15$, т. е. $5,25 \pm 0,15$ мм.

Пример 5.3. Выбор схемы базирования для обработки шпоночного паза (рис. 5.5). Требуется обеспечить выполнение размеров $12 \pm 0,1$; $8 \pm 0,1$; $25 \pm 0,2$ и 6P9.

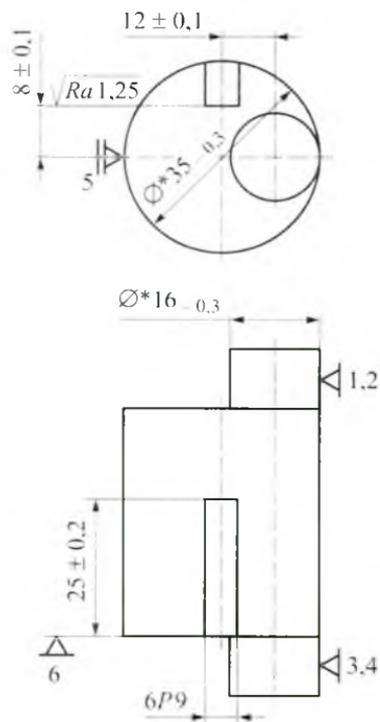


Рис. 5.5. Выбор схемы базирования при обработке паза 6P9:
* — ранее обработанные размеры

Используя данные, приведенные в табл. 5.2, выбираем в качестве баз:

1, 2, 3, 4 — длинную цилиндрическую поверхность центрирования, лишаящую четырех степеней свободы и обеспечивающую выполнение размеров $8 \pm 0,1$ и $12 \pm 0,1$; $\epsilon_{\delta_{12}} = 0$; $\epsilon_{\delta_8} = 0$;

5 — упор по диаметру $35_{0,3}$ (подводящая призма), лишаящий одной степени свободы;

6 — упор, лишаящий одной степени свободы и обеспечивающий выполнение размера $25 \pm 0,2$; $\epsilon_{\delta_{25}} = 0$.

Выбранная схема базирования лишает всех шести степеней свободы, и для всех обрабатываемых поверхностей погрешности базирования равны нулю.

Ширину шпоночного паза 6P9 обеспечивают с помощью инструмента, поэтому для системы размер — инструмент погрешность базирования всегда равна нулю, т. е. $\epsilon_{\delta_6} = 0$.

5.3. ЗАДАЧИ

Выбор схем базирования

Задачи 5.3.1—5.3.23. Выбрать схему базирования для обработки поверхности ① согласно эскизу (рис. 5.6—5.28), указать лиша-

емые при этом степени свободы и наличие (или отсутствие) погрешности базирования ϵ_6 на выполняемые размеры.

Примечание. Размеры, помеченные знаком *, получены ранее, т. е. являются справочными размерами.

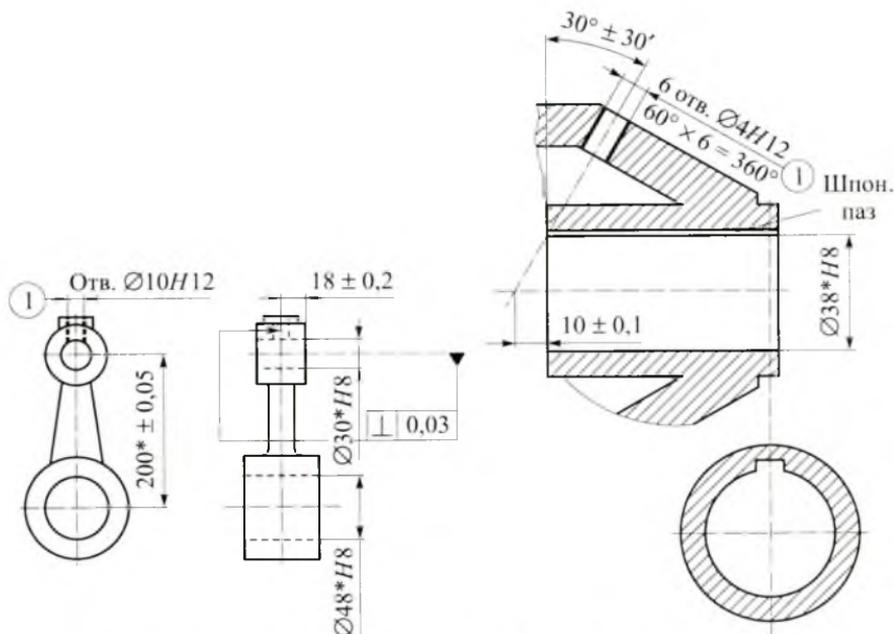


Рис. 5.6. Эскиз к задаче 5.3.1

Рис. 5.7. Эскиз к задаче 5.3.2

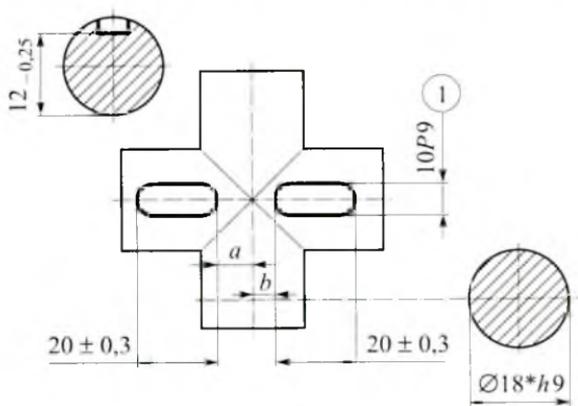


Рис. 5.8. Эскиз к задаче 5.3.3

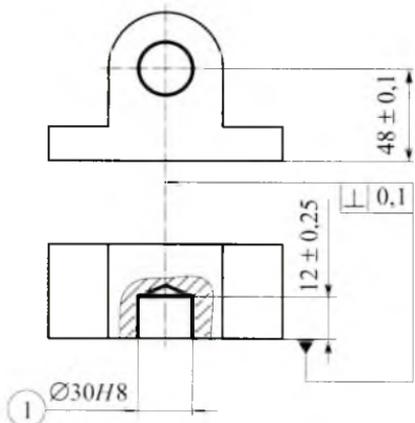


Рис. 5.9. Эскиз к задаче 5.3.4

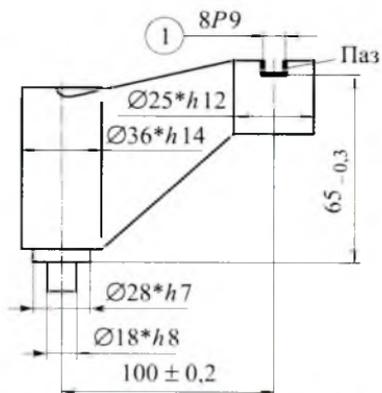


Рис. 5.10. Эскиз к задаче 5.3.5

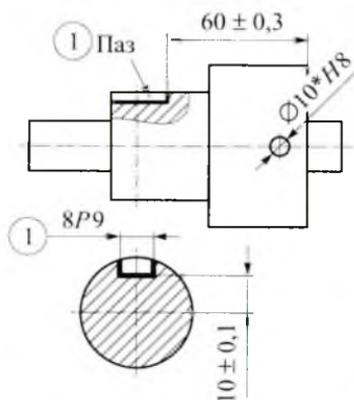


Рис. 5.11. Эскиз к задаче 5.3.6

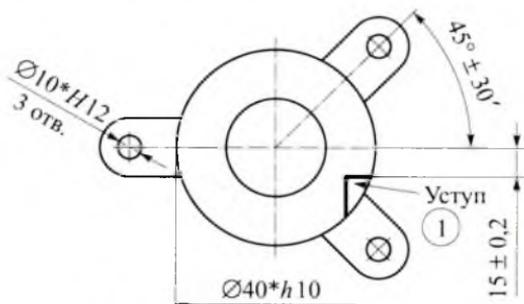
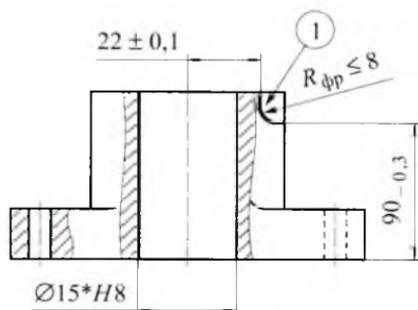


Рис. 5.12. Эскиз к задаче 5.3.7

Рис. 5.13. Эскиз к задаче 5.3.8

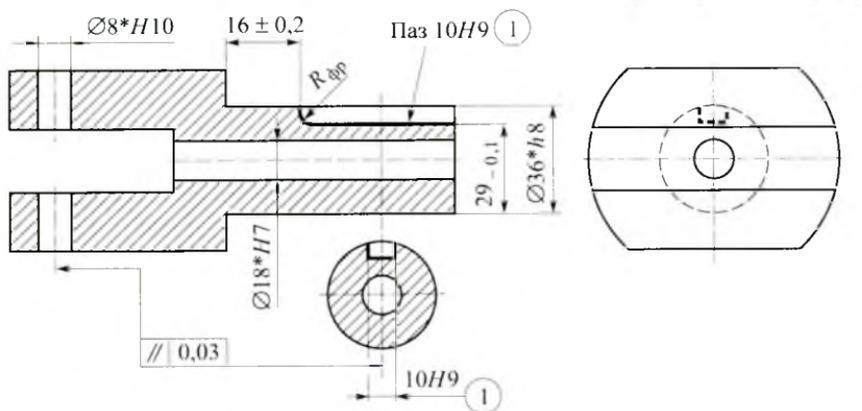


Рис. 5.14. Эскиз к задаче 5.3.9

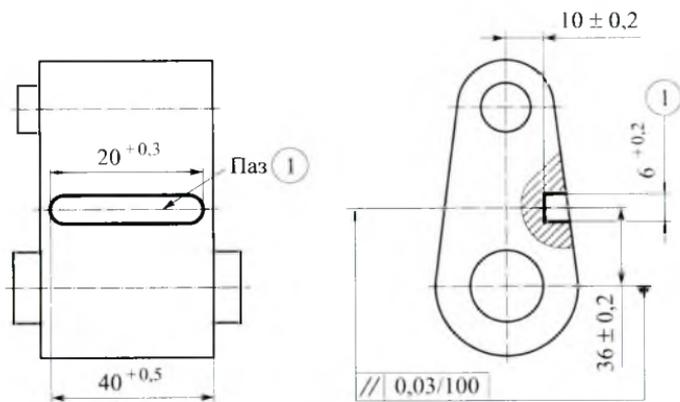


Рис. 5.15. Эскиз к задаче 5.3.10

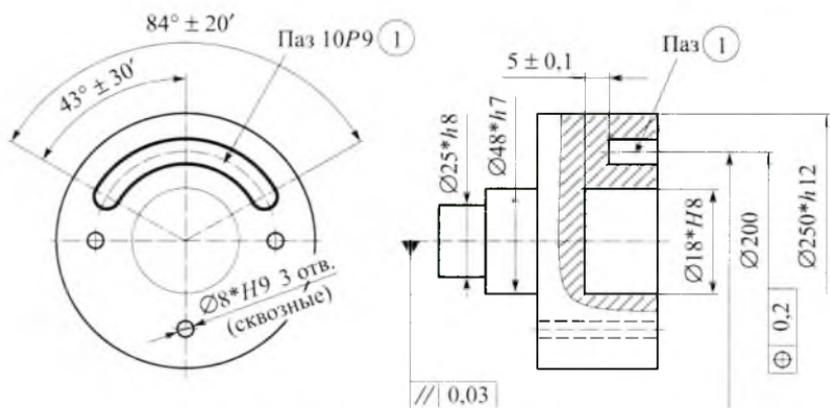


Рис. 5.16. Эскиз к задаче 5.3.11

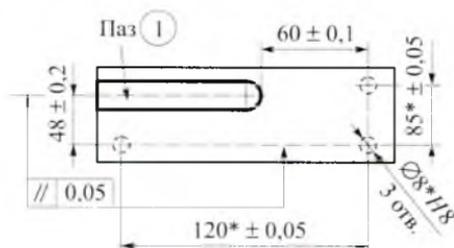
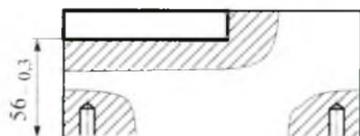


Рис. 5.17. Эскиз к задаче 5.3.12

Рис. 5.18. Эскиз к задаче 5.3.13

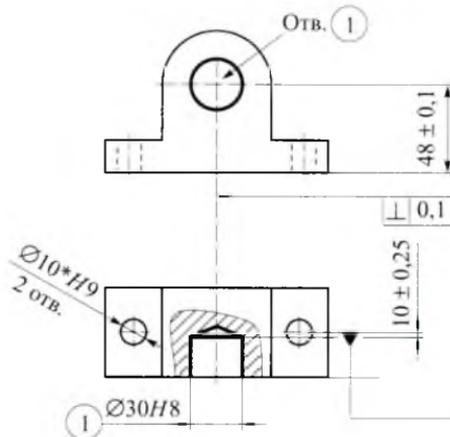


Рис. 5.19. Эскиз к задаче 5.3.14

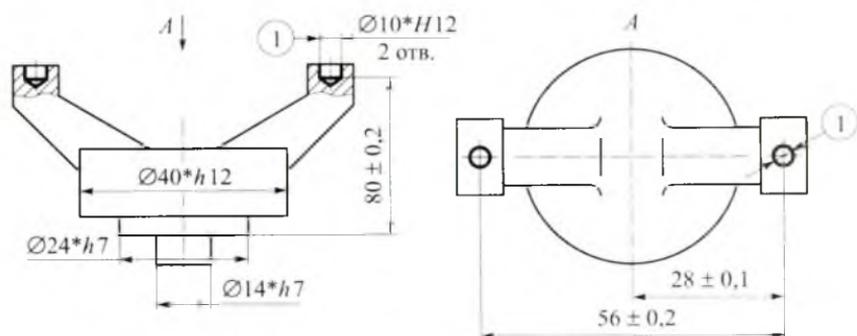
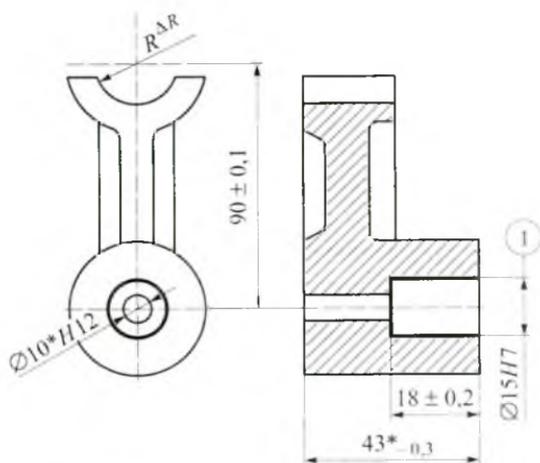


Рис. 5.20. Эскиз к задаче 5.3.15

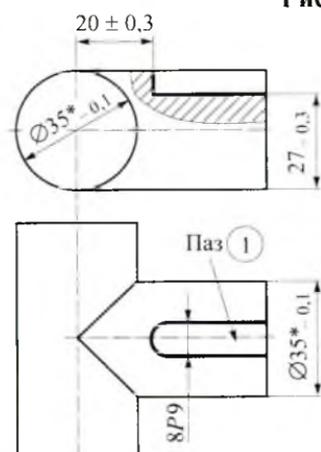


Рис. 5.21. Эскиз к задаче 5.3.16

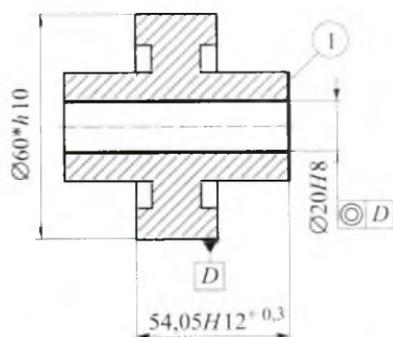


Рис. 5.22. Эскиз к задаче 5.3.17

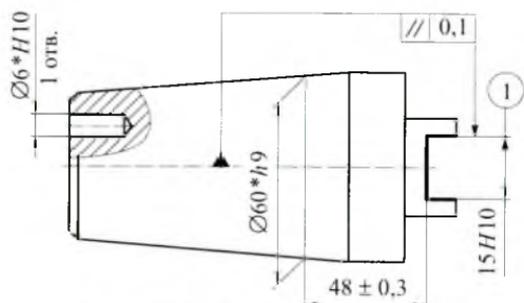


Рис. 5.23. Эскиз к задаче 5.3.18

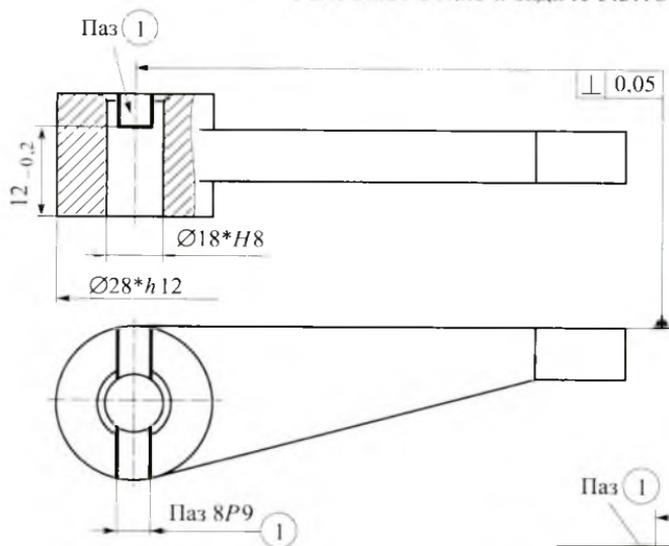


Рис. 5.24. Эскиз к задаче 5.3.19

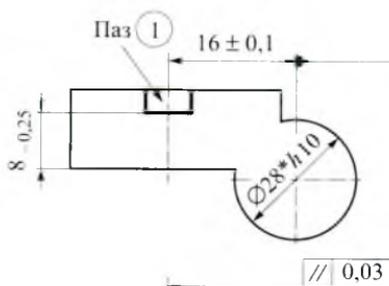
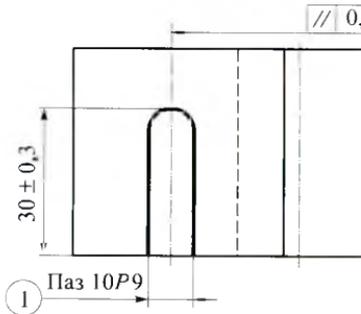


Рис. 5.25. Эскиз к задаче 5.3.20



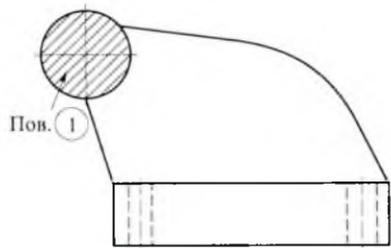


Рис. 5.26. Эскиз к задаче 5.3.21

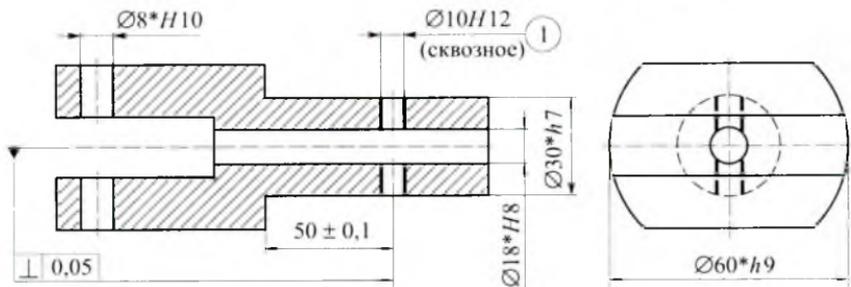
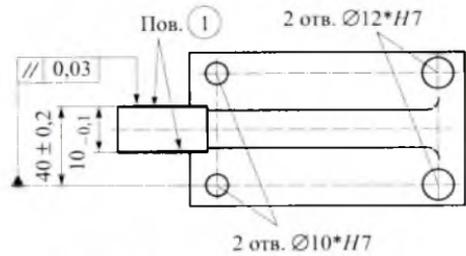


Рис. 5.27. Эскиз к задаче 5.3.22

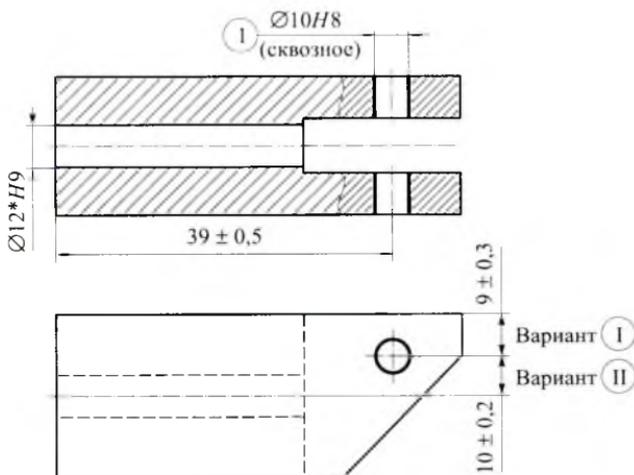


Рис. 5.28. Эскиз к задаче 5.3.23

Выбор схем контроля

Задачи 5.3.24—5.3.31. Предложить схему контроля указанных параметров (рис. 5.29—5.36), отметить лишаемые при этом степени свободы. Выбрать меритель (цену деления) и показать направление перемещения мерителя или детали.

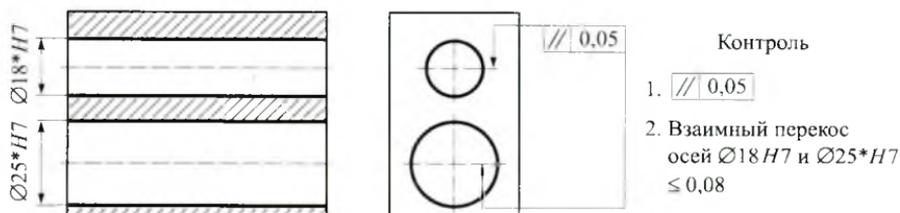


Рис. 5.29. Эскиз к задаче 5.3.24

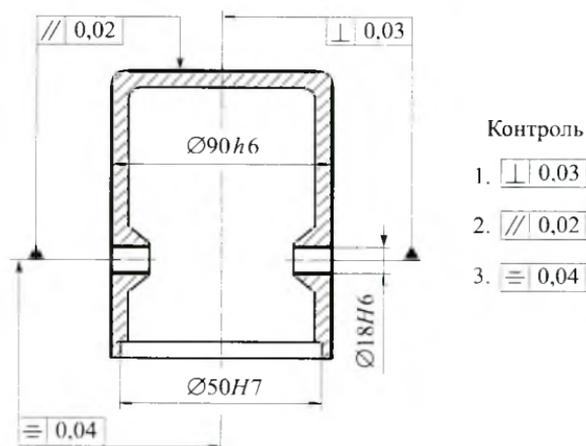


Рис. 5.30. Эскиз к задаче 5.3.25

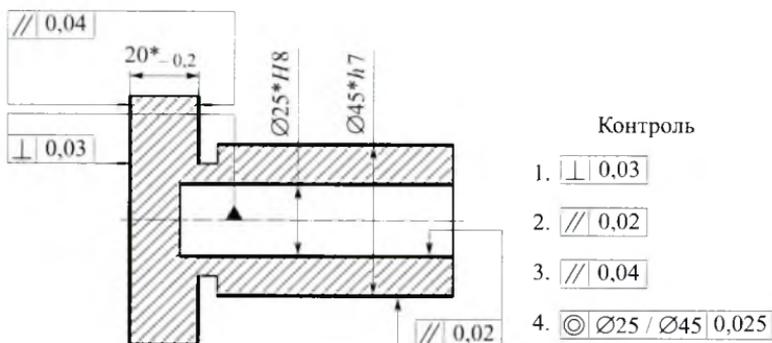
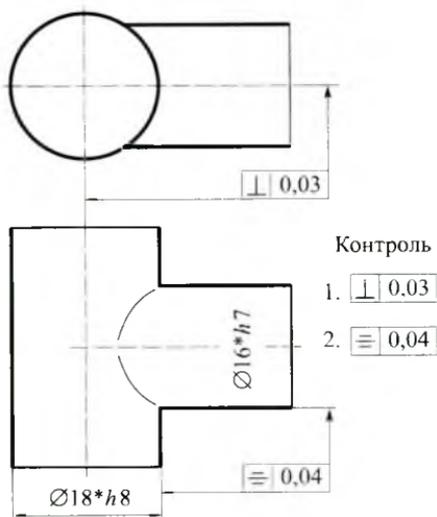


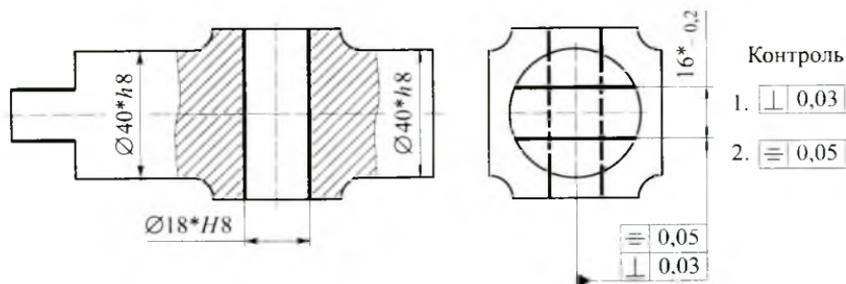
Рис. 5.31. Эскиз к задаче 5.3.26

Рис. 5.32. Эскиз к задаче 5.3.27



Контроль

1. $\perp 0,03$
2. $\equiv 0,04$



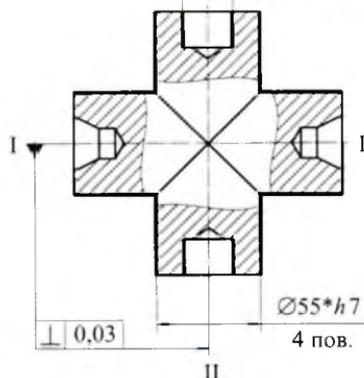
Контроль

1. $\perp 0,03$
2. $\equiv 0,05$

Рис. 5.33. Эскиз к задаче 5.3.28

2 отв. $\varnothing 28 \text{ H}7$

$\odot 0,03$ между собой



Контроль

1. $\odot 0,03$ двух поверхностей $\varnothing 28 \text{ H}7$
2. $\odot 0,04$ двух поверхностей $\varnothing 55 \text{ h}7$
3. $\perp 0,03$ осей I-I и II-II
4. $\equiv 0,05$ осей I-I и II-II

Рис. 5.34. Эскиз к задаче 5.3.29

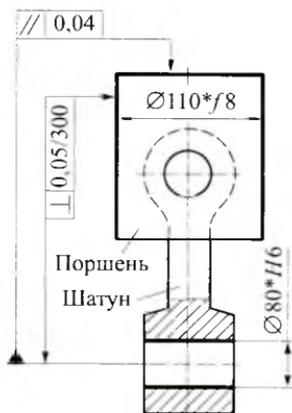
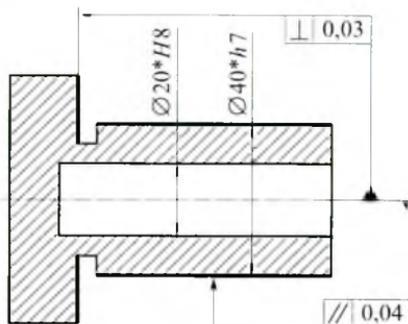


Рис. 5.36. Эскиз к задаче 5.3.31

Контроль

1. $\parallel 0,04$
2. $\perp 0,05/300$

Рис. 5.35. Эскиз к задаче 5.3.30



Контроль

1. $\perp 0,03$
2. $\parallel 0,04$

Определение погрешности базирования ε_b

Задача 5.3.32. При установке заготовок по предложенной схеме (рис. 5.37) определить наличие (отсутствие) погрешности базирования ε_b для выполняемых размеров: $106 \pm 0,2$; $19^{+0,1}_{-0,15}$; $10^{+0,15}$; $35^{+0,1}_{-0,2}$ и $12 \pm 0,12$. Обработка ведется последовательно: паз $10^{+0,15}$ и отверстие $\varnothing 8H12$.

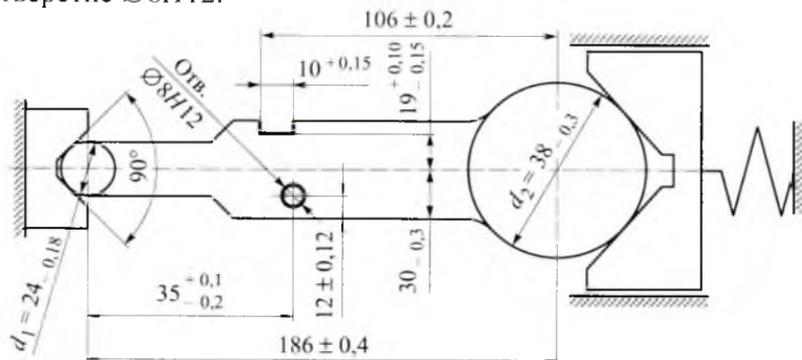


Рис. 5.37

Задача 5.3.33. Для данной схемы (рис. 5.38) установки определить наличие (отсутствие) погрешности базирования ϵ_6 для выполняемых размеров: $20 \pm 0,1$; $40^{+0,1}_{-0,2}$; $35 \pm 0,1$; $36 \pm 0,2$. При данной схеме установки обработка ведется последовательно: отверстие $\varnothing 10H12$ с размерами $20 \pm 0,1$ и $40^{+0,1}_{-0,2}$; уступ с размерами $35 \pm 0,1$ и $36 \pm 0,2$.

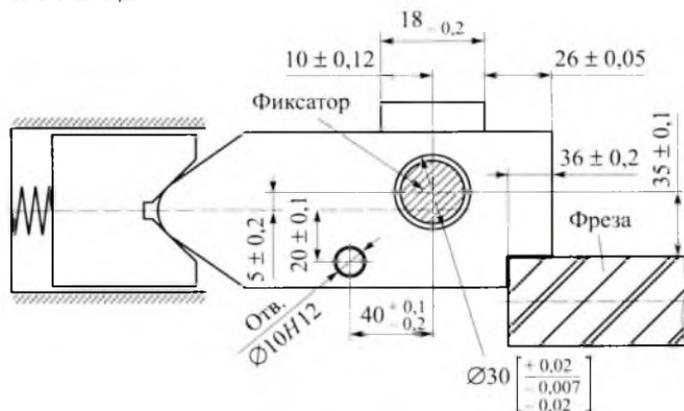


Рис. 5.38

Задача 5.3.34. Определить наличие (отсутствие) погрешности базирования ϵ_6 для выполняемых размеров: $80 \pm 0,2$; $10^{+0,15}$ и $19^{+0,1}_{-0,15}$ (рис. 5.39).

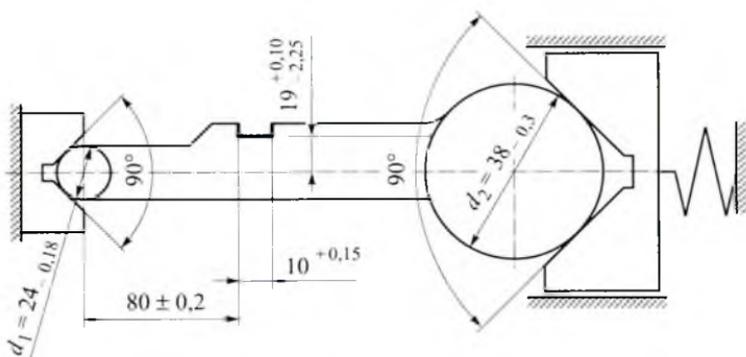


Рис. 5.39

Задача 5.3.35. Определить наличие (отсутствие) погрешности базирования ϵ_6 для выполняемых размеров A_1 , A_2 , A_3 для двух ва-

риантов установки (рис. 5.40) при одновременной обработке двумя фрезами с двух сторон. Выбрать лучшую схему установки.

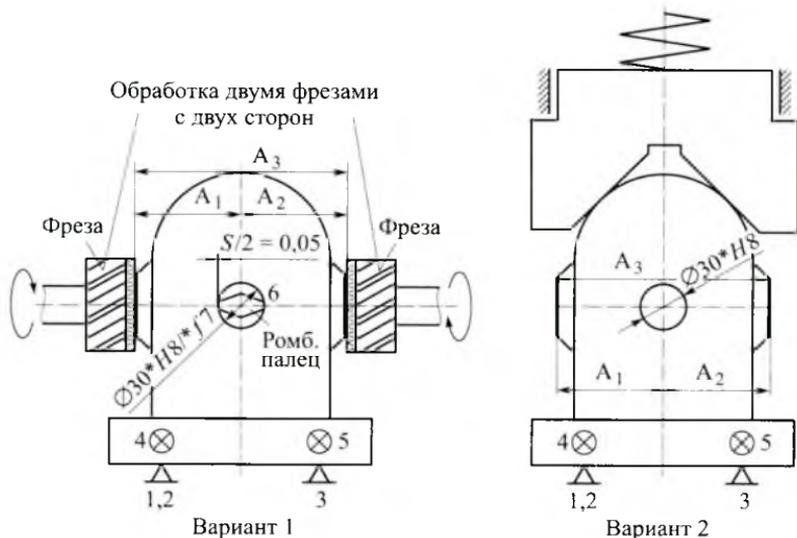


Рис. 5.40

Задача 5.3.36. Определить наличие (отсутствие) погрешности базирования ϵ_6 для выполняемых размеров: $10 \pm 0,1$; $20 \pm 0,12$; $200 \pm 0,15$; $6H10$ и $2 \pm 0,1$ (рис. 5.41). Обработка ведется последовательно: отв. (1), отв. (2) и паз (3); $\alpha = 90^\circ$.

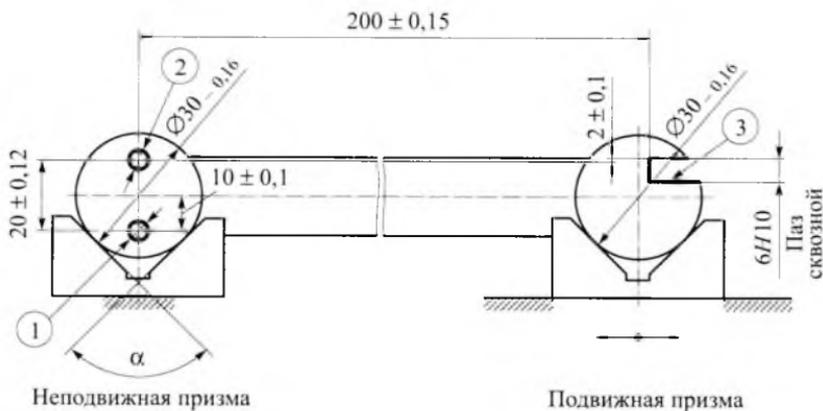


Рис. 5.41

Задача 5.3.37. При схеме установки, приведенной на рис. 5.42, определить наличие (отсутствие) погрешности базирования ϵ_6 для выполняемых размеров $A_1 \dots A_8$.

Задача 5.3.38. Определить при данной схеме установки (рис. 5.43) наличие (отсутствие) погрешности базирования ϵ_6 для выполняемых размеров. При наличии ϵ_6 найти ее величину.

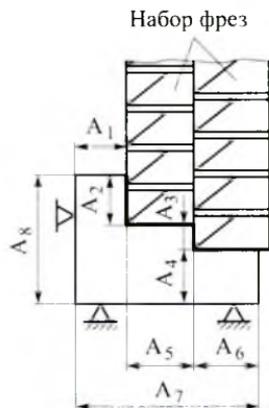


Рис. 5.42

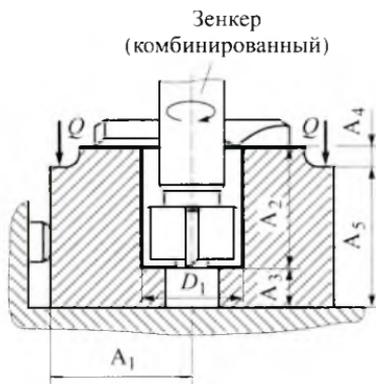


Рис. 5.43

Пересчет конструкторских размеров

Задача 5.3.39. Сделать пересчет технологических размеров PC_1 и PC_2 от единой технологической базы (рис. 5.44).

Задача 5.3.40. Пересчитать конструкторские размеры (рис. 5.45) по двум вариантам их простановки для обработки канавки 8 мм и выбрать наилучший из них.

Задача 5.3.41. Определить технологический размер для обработки оси отверстия $\varnothing 18H8^{(+0,1)}$ в бобышке (рис. 5.46), если базой является поверхность ①. Новый размер должен иметь допуск не менее 0,15 мм.

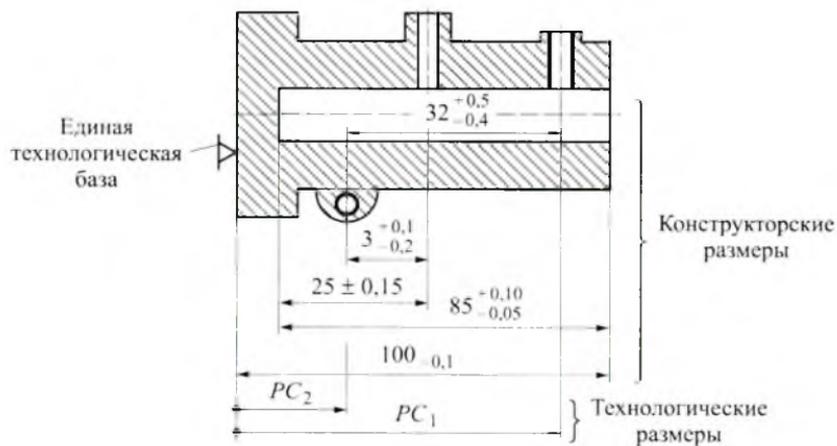


Рис. 5.44

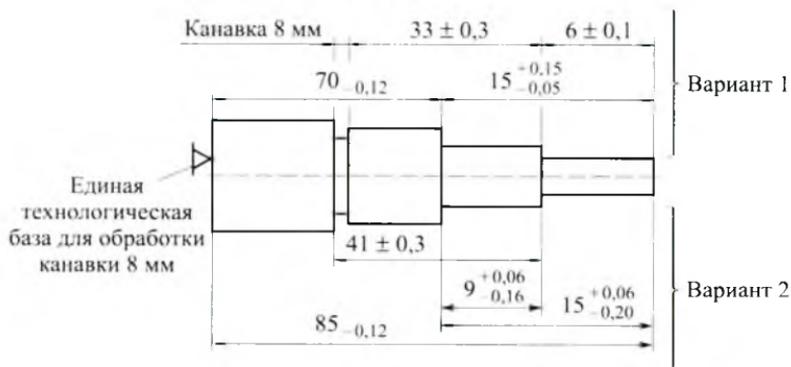


Рис. 5.45

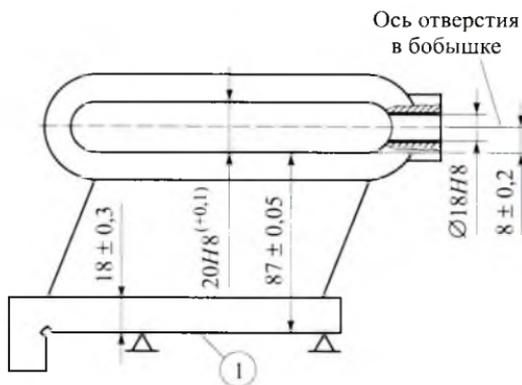


Рис. 5.46

Задача 5.3.42. Заменить конструкторские размеры технологическими размерами (рис. 5.47): PC_1, \dots, PC_4 , выполняемыми с единой технологической базы.

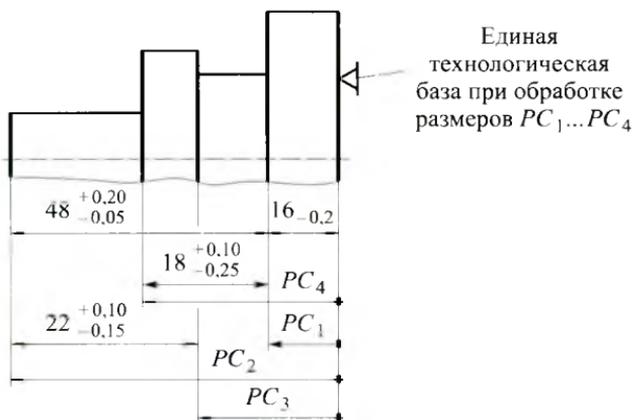


Рис. 5.47

Задача 5.3.43. Провести пересчет конструкторских размеров, заменив их технологическими размерами PC_1, \dots, PC_4 , обрабатываемыми с единой технологической базы (рис. 5.48).

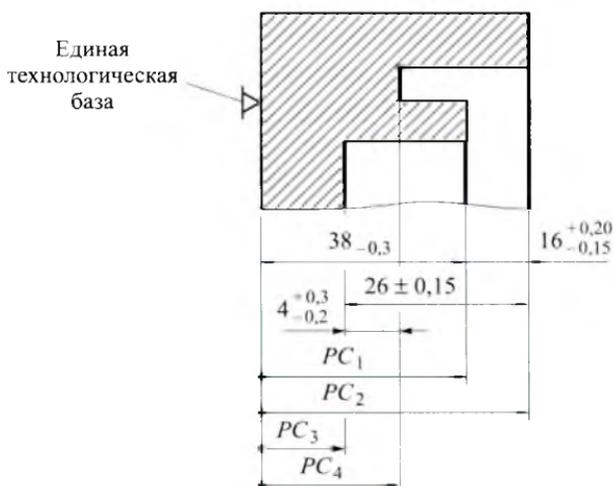


Рис. 5.48

Задача 5.3.44. Определить технологические размеры в двух направлениях (рис. 5.49) при обработке отверстия ① согласно выбранным базам.

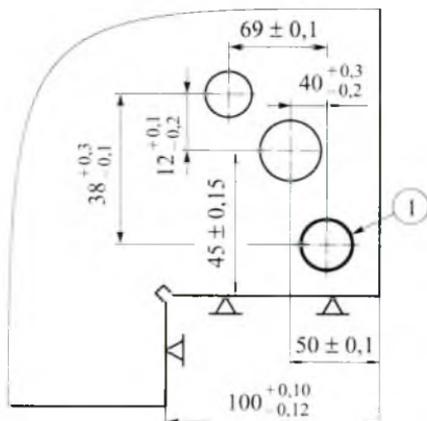


Рис. 5.49

Задача 5.3.45. Сделать пересчет конструкторских размеров, заменив их технологическими размерами согласно схеме обработки канавки 10P9 канавочным резцом (рис. 5.50).

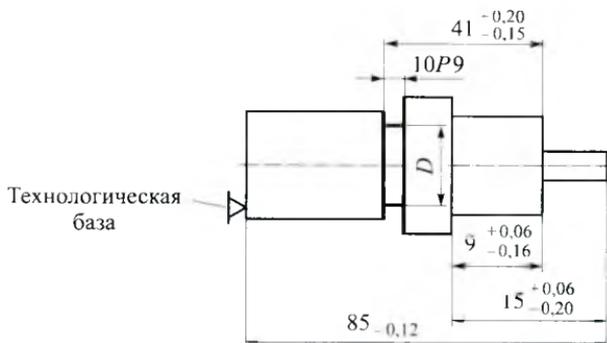


Рис. 5.50

Задача 5.3.46. Пересчитать конструкторские размеры в горизонтальном и вертикальном направлениях (рис. 5.51) при обработке отверстия ①, если заданы технологические базы.

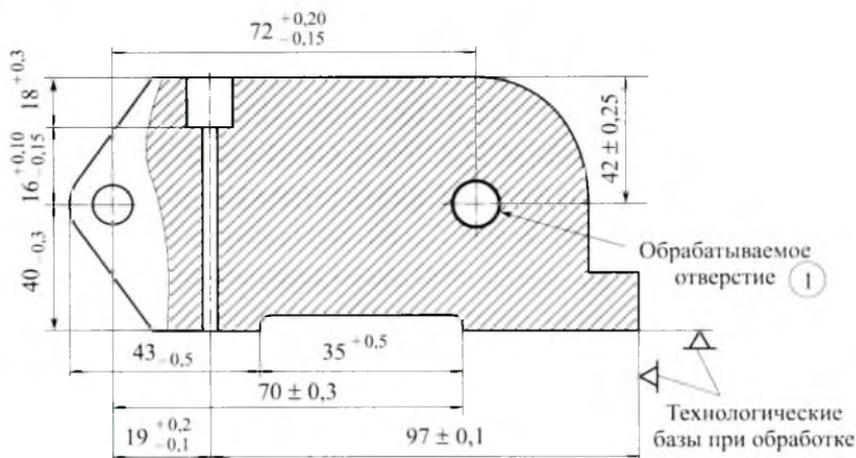


Рис. 5.51

ЛИТЕРАТУРА

1. Маталин А.А. Технология машиностроения. Л.: Машиностроение, 1985. 496 с.
2. Технология машиностроения: учеб. для вузов: в 2 т. / В.М. Бурцев, А.С. Васильев, И.Н. Гемба и др.; под ред. А.М. Дальского, А.И. Кондакова. 3-е изд., испр. и перераб. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. Т. 1. Основы технологии машиностроения. 478 с.
3. Технология машиностроения: сборник задач и упражнений: 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, 2006. 288 с.

6. РАСЧЕТЫ ПРИ КОНСТРУИРОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Конструирование и расчет приспособлений тесно связаны с проектированием технологических процессов изготовления детали. Поэтому конструктор оснастки получает все исходные данные от технолога. В основу проектирования приспособления положена теория расчета точности обработки [4]. Теория расчетов (формулы, схемы и т. п.) подробно изложена в [1, 2, 4].

При проектировании технологической оснастки конструктор последовательно решает следующие задачи:

выбор схемы установки заготовки, определение погрешности базирования при выполнении размеров, выбор типов базовых элементов приспособления [2];

выбор места и направления сил закрепления, определение сил резания, наложение их на схему установки заготовки и расчет необходимой величины силы закрепления;

выбор типа зажимного механизма и расчет его исполнительных размеров, например диаметра резьбы, размеров эксцентрика, поршня, толщины диафрагмы и др.;

непосредственное конструирование и назначение технических требований на приспособление; назначение посадок на основные соединения элементов.

В данной главе приведены примеры расчетов и основные типы задач, встречающиеся при конструировании технологической оснастки.

6.1. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Пример 6.1. Рассчитать фрезерное приспособление для станка с ЧПУ с последующей разработкой конструкции данного приспособления.

Необходимо обработать треугольный контур размером $13 \pm 0,3$ мм, расположенный под углом 120° к оси детали. Считаем, что остальные поверхности заготовки обработаны окончательно на предыдущих операциях. Схема установки заготовки и выдерживаемые размеры показаны на рис. 6.1, а, б. Заготовка выполнена из стали 45. Фреза концевая диаметром 20 мм; материал фрезы 6PM5;

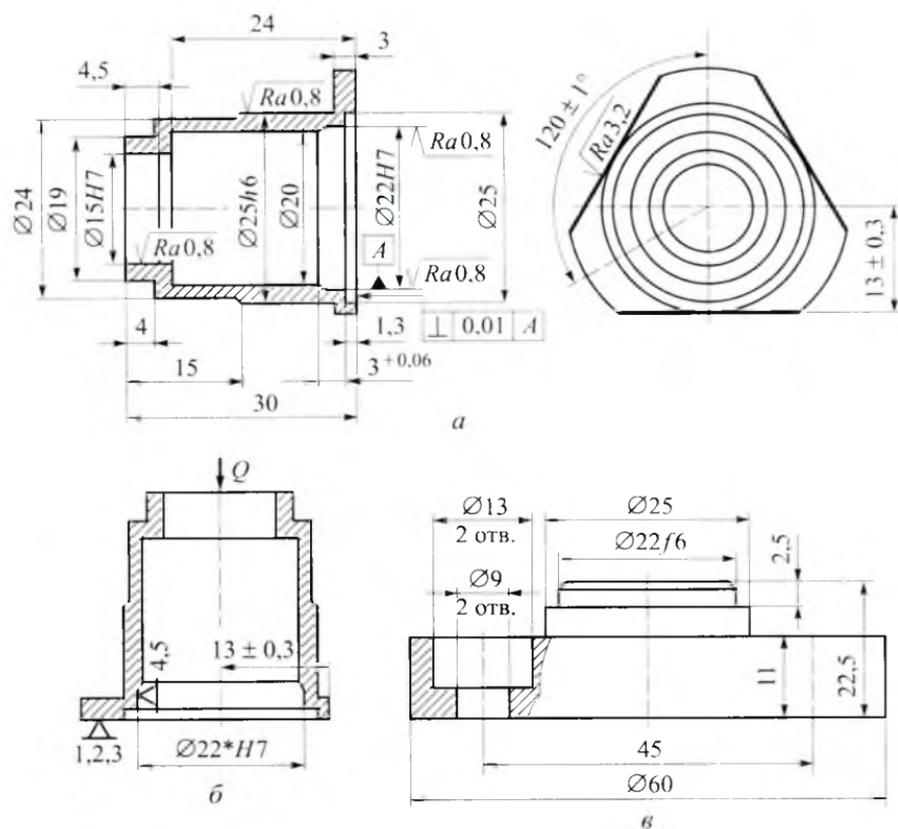


Рис. 6.1. Исходные данные для проектирования приспособления (а, б) и установочный элемент приспособления (в)

число зубьев $z = 5$; угол наклона зубьев $\omega = 35^\circ$. Режимы обработки: скорость резания $v = 40$ м/мин; подача $S_z = 0,1$ мм/зуб; глубина резания $t = 5,5$ мм; ширина фрезерования $B = 3$ мм. Приспособление — одноместное, однопозиционное; производство — мелкосерийное.

Решение. Определяем погрешность базирования на жесткой оправке при выдерживании размера $13 \pm 0,3$ мм по формуле

$$\epsilon_{\bar{b}} = S_{\max} = T_d + T_{\text{опр}} + T_{\text{и}} + S_{\min},$$

где $T_d, T_{\text{опр}}$ — допуски на изготовление соответственно базового отверстия и оправки приспособления; $T_{\text{и}}$ — допуск на износ оправки. Величины S_{\max} и S_{\min} определяем по заданным значениям $T_d, T_{\text{опр}}, T_{\text{и}}$ и S_{\min} . Задаем точность изготовления оправки f_6 и принимаем $T_{\text{и}} = 0,2T_{\text{опр}}$, вычисляем погрешность базирования:

$$\epsilon_{\bar{b}} = 0,021 + 0,013 + 0,003 + 0,02 = 0,057 \text{ мм.}$$

Поскольку погрешность базирования составляет 0,1 от допуска на выдерживаемый размер, то окончательно принимаем предложенную выше схему установки, для чего используем установочный элемент специальной конструкции (рис. 6.1, в).

Вычисляем составляющие силы резания при цилиндрическом фрезеровании (рис. 6.2) [3]:

$$P_z = \frac{10C_p t^x S^y B^m z}{D_{\text{фр}}^q n^w} k_{\text{мр}} = \frac{10 \cdot 68,2 \cdot 5^{0,86} \cdot 0,1^{0,72} \cdot 3^{10} \cdot 5}{20^{0,86} \cdot 660^0} = 623 \text{ Н;}$$

$$P_h = 1,2P_z = 748 \text{ Н;}$$

$$P_x = 0,3tg\omega P_z = 108 \text{ Н,}$$

где C_p — эмпирический коэффициент; x, y, m, q, w — эмпирические показатели степени; $D_{\text{фр}}$ — диаметр фрезы; n — частота вращения фрезы; $k_{\text{мр}}$ — коэффициент, характеризующий качество обрабатываемого материала [3].

Учитывая мелкосерийный тип производства, выбираем ручной винтовой зажим с шайбой, т. е. зажимное устройство I группы (самотормозящее). Тогда расчетная схема для определения силы закрепления соответствует схеме, приведенной на рис. 6.3. Вычисляем силу закрепления для данного случая.

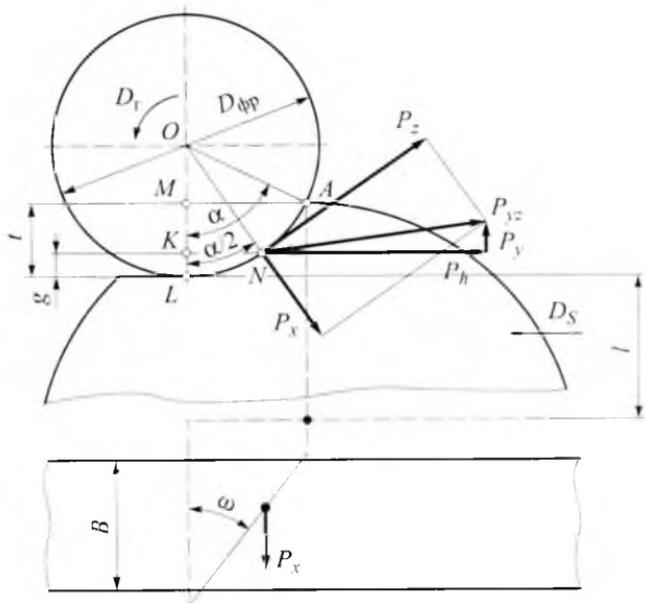


Рис. 6.2. Расчетная схема для определения сил резания

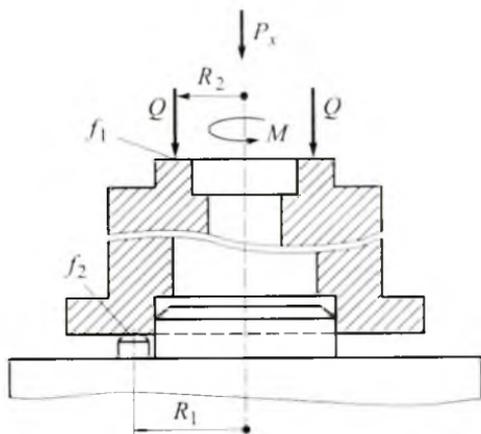


Рис. 6.3. Расчетная схема для определения силы закрепления Q

Внешний момент рассчитываем по формуле

$$M = P_h(l + g),$$

где $l = 13$ мм — расстояние от плоскости фрезерования до точки приложения силы P_z (см. рис. 6.1, a и 6.2). Осевая сила составляет $P_o = P_x = 108$ Н. Согласно построениям на рис. 6.2 можем найти величину g (расстояние до точки приложения силы P_y):

$$g = OL - OK = D_{\text{фр}}/2 - OK.$$

Величину OK находим из треугольника OKN :

$$OK = \frac{D_{\text{фр}}}{2} \cos \frac{\alpha}{2},$$

из треугольника ONA получаем

$$\sin \alpha = 1 - \frac{2t}{D_{\text{фр}}}.$$

Тогда

$$\alpha = \arcsin \left(1 - \frac{2t}{D_{\text{фр}}} \right) = \arcsin \left(1 - \frac{2 \cdot 5,5}{20} \right) = 29,7^\circ.$$

Таким образом,

$$g = \frac{20}{2} - \frac{20}{2} \cos \frac{29,7}{2} = 0,3 \text{ мм}.$$

Вычисляем коэффициент запаса k по формуле [1, 4]

$$k = k_0 k_1 k_2 k_3 k_4 k_5 k_6,$$

где $k_0 = 1,5$ — гарантированный коэффициент запаса. Значения остальных коэффициентов, учитывающих соответствующие факторы, приведены в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Значения коэффициентов $k_1, k_2, k_3, k_4, k_5, k_6$

Коэффициент	Значение	Фактор, учитываемый коэффициентом
k_1	1,2 — для черновой обработки 1,0 — для чистовой обработки	Увеличение сил резания ввиду случайных неровностей на заготовках

Коэффициент	Значение	Фактор, учитываемый коэффициентом
k_2	1,0 и 1,15 — для осевой силы и крутящего момента при сверлении; 1,2 и 1,3 — для осевой силы и крутящего момента при зенкеровании; 1,2...1,6 и 1,05...1,4 — для предварительного и чистового точения и растачивания соответственно; 1,2...1,6 — для окружной силы при предварительном и чистовом цилиндрическом фрезеровании; 1,2...1,8 — для тангенциальной силы при предварительном и чистовом торцевом фрезеровании; 1,5 — при протягивании; 1,15...1,2 — для окружной силы при шлифовании	Затупление режущего инструмента в зависимости от метода обработки
k_3	1,2 — при точении и торцевом фрезеровании	Увеличение силы резания при прерывистом резании
k_4	1,3 — для ручных зажимных устройств; 1,0 — для пневматических, гидравлических и других устройств	Непостоянство зажимного усилия
k_5	1,0 — при удобном расположении и малой длине рукоятки; 1,2 — при отклонении угла рукоятки более 90°	Степень удобства расположения рукояток в ручных зажимных устройствах
k_6	1,0 — для опорного элемента, имеющего ограниченную поверхность контакта с заготовкой; 1,5 — для опорного элемента с большой площадью контакта	Неопределенность положения ввиду неровностей в месте контакта заготовки с опорными элементами, имеющими большую опорную поверхность (учитывается только при наличии крутящего момента, стремящегося повернуть заготовку)

Для рассматриваемого случая коэффициент запаса будет содержать только часть коэффициентов:

$$k = k_0 k_2 k_4 k_6.$$

Тогда

$$k = 1,5 \cdot 1,75 \cdot 1,3 \cdot 1,5 = 5,1.$$

Соотношения между жесткостью установочных элементов J_{II} и жесткостью зажимных элементов J_I обычно находятся в пределах $J_{II} = (1,5 \dots 2,5) J_I$ [4]. Если величины J_I и J_{II} неизвестны, то в формулах для расчета сил закрепления можно использовать приближенные значения [4]:

$$\frac{J_I}{J_I + J_{II}} = 0,3 \dots 0,4; \quad \frac{J_{II}}{J_I + J_{II}} = 0,6 \dots 0,7.$$

В данном случае величины жесткости J_I и J_{II} неизвестны, поэтому принимаем

$$\frac{J_I}{J_I + J_{II}} = 0,3; \quad \frac{J_{II}}{J_I + J_{II}} = 0,6.$$

Поскольку опорная база является обработанной поверхностью, то считаем, что коэффициенты трения равны, т. е. $f_1 = f_2 = 0,16$.

Согласно схеме расчета силы закрепления (см. рис. 6.3) в процессе обработки на заготовку, сцентрированную по внутреннему диаметру и прижимаемую к опорам силой Q , действуют момент резания M и осевая сила P [4, с. 80]. Определяем значение силы закрепления [4]:

$$Q = \frac{kM - f_2 R_1 P_x \left(\frac{J_{II}}{J_I + J_{II}} \right) + f_1 R_2 P_x \left(\frac{J_I}{J_I + J_{II}} \right)}{f_1 R_2 + f_2 R_1} =$$

$$= \frac{5,1 \cdot 748(13 + 0,3) - 0,16 \left(\frac{22 + 25}{2} \right) 108 \cdot 0,6 + 0,16 \left(\frac{15 + 19}{2} \right) 108 \cdot 0,3}{0,16 \left(\frac{15 + 19}{2} \right) + 0,16 \left(\frac{22 + 25}{2} \right)} =$$

$$= 7805 \text{ Н.}$$

Приняв $\sigma = 90$ МПа, вычисляем номинальный диаметр резьбы по формуле [1, с. 85]

$$d = c \sqrt{\frac{Q}{\sigma}} = 1,4 \sqrt{\frac{7805}{90}} = 13,03 \text{ мм.}$$

Выбираем стандартную резьбу М14×1,5. Средний диаметр резьбы М14 $d_{cp} = 12,7$ мм, угол подъема резьбы $\alpha = 3,02^\circ$. Принимая угол трения в резьбе $\varphi = 10,5^\circ$, $f = 0,15$ и $D = 1,7d$, определяем момент на рукоятке ключа [4, с. 114] по формуле

$$M = r_{cp} Q \operatorname{tg}(\alpha + \varphi) + \frac{1}{3} f Q \left(\frac{D^3 - d^3}{D^2 - d^2} \right).$$

Подставив все значения, получаем

$$\begin{aligned} M &= \frac{12,7}{2} \cdot 7805 \operatorname{tg}(3,02^\circ + 10,5^\circ) + \frac{1}{3} 0,15 \cdot 7805 \cdot \frac{23,8^3 - 14^3}{23,8^2 - 14^2} = \\ &= 23206 \text{ Н} \cdot \text{мм} \approx 23,2 \text{ Н} \cdot \text{м}. \end{aligned}$$

Общий вид приспособления показан на рис. 6.4.

Пример 6.2. Рассчитать фрезерное приспособление с автоматизированным зажимным устройством для закрепления той же детали (см. пример 6.1) с помощью гидроцилиндра — устройства II группы [4, с. 79—82]) при серийном производстве. Условия обработки те же, что указаны в примере 6.1.

Решение. Составляющие силы резания будут прежние:

$$P_z = 623 \text{ Н};$$

$$P_h = 748 \text{ Н};$$

$$P_x = 108 \text{ Н}.$$

Расчетная схема для определения силы закрепления соответствует той, что представлена на рис. 6.3, но только для зажимного устройства II группы (автоматизированное, несамотормозящее). Тогда

$$k M = f_1 Q R_2 + f_2 Q R_1 + f_2 P R_1,$$

откуда находим силу закрепления

$$Q = \frac{kM - f_2 P R_1}{f_1 R_2 + f_2 R_1}.$$

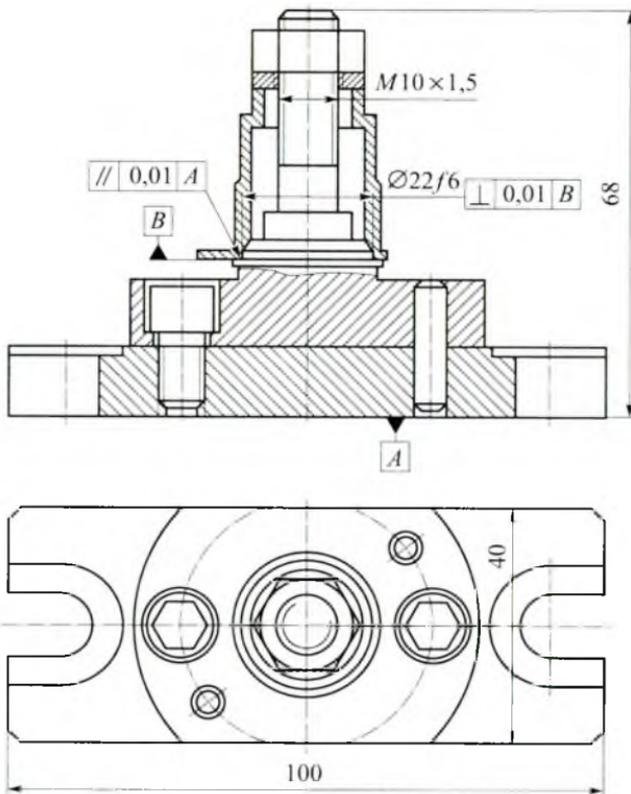


Рис. 6.4. Общий вид конструкции приспособления для мелкосерийного производства

Как и в предыдущем примере, принимаем коэффициент запаса $k = 5,1$; коэффициенты трения $f_1 = f_2 = 0,16$. Вычисляем значение Q :

$$Q = \frac{5,1 \cdot 748(13 + 0,3) - 0,16 \cdot (47,0/2) \cdot 108}{0,16 \cdot (34/2) + 0,16 \cdot (47,0/2)} = 7767,1 \text{ Н.}$$

Для создания силы Q необходимо выбрать гидроцилиндр. Принимаем давление в гидросистеме $p = 6$ МПа, тогда диаметр гидроцилиндра

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{\pi p \eta}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 7767,1}{3,14 \cdot 6 \cdot 0,92}} \cong 42,34 \text{ мм,}$$

где $\eta = 0,92$ — КПД гидроцилиндра.

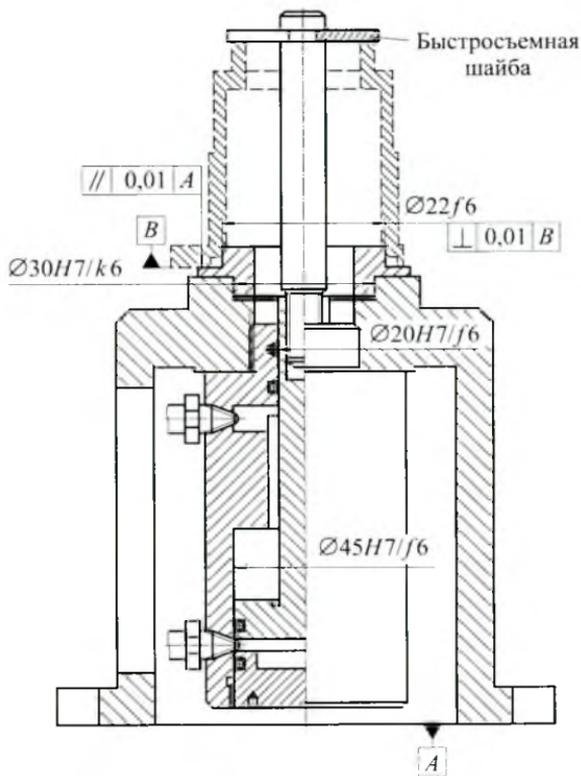


Рис. 6.5. Общий вид конструкции приспособления для серийного производства

Округляем полученное значение до стандартного $\varnothing 45$ мм.

Общий вид конструкции приспособления приведен на рис. 6.5.

Пример 6.3. Определить давление p в гидропластовой оправке для выбора радиального зазора Δ между оправкой и заготовкой (рис. 6.6) при контроле радиального биения заготовки. Рассчитать необходимую силу на плунжере диаметром $d_{пл}$ для выбора радиального зазора между оправкой и заготовкой.

Исходные данные: $r = 17,5$ мм; $d_{ном.опр} = 2r = 35$ мм; $L_{заг} = 30$ мм; зазор между оправкой и заготовкой $\Delta = 0,02$ мм = $0,002$ см; для материала втулки $E = 2,1 \cdot 10^5$ Н/мм²; толщина стенки другой части втулки $S = r - r_1$ или $S = (0,03 \dots 0,05) r = 0,03 \cdot 17,5 = 0,525$ мм = $0,0525$ см; p — давление гидропласта.

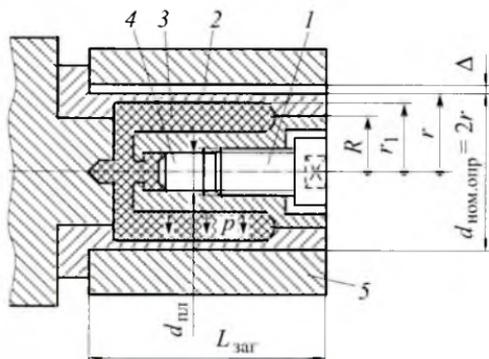


Рис. 6.6. Гидропластовая оправка для контроля биения:

1 — винт; 2 — тонкостенная гильза; 3 — гидропласт; 4 — плунжер; 5 — заготовка

Решение. Определяем давление p , необходимое для выбора радиального зазора Δ между оправкой и заготовкой, для чего воспользуемся расчетами, приведенными в [4, с. 98], в частности формулой

$$p = \frac{\Delta E S j}{r^2 \gamma},$$

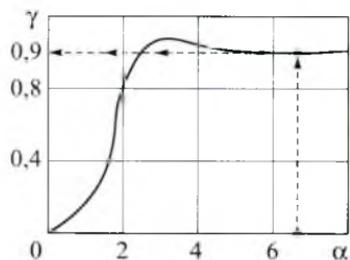


Рис. 6.7. Зависимость коэффициента γ от параметра α

где E — модуль упругости материала втулки; Δ — радиальный зазор между втулкой и заготовкой; S — толщина стенки упругой части втулки.

Значения Δ , E и r заданы; значение коэффициента j находится в пределах $1,082 \dots 1,042$ ($1/J = 0,85 + 0,15 \eta^2 / R^2$). В данном случае $\eta / R = 0,8$; тогда $J = 1,06$.

По графику на рис. 6.7 определяем величину коэффициента γ , которая зависит от аргумента

$$\alpha = \frac{1,28}{\sqrt{rS}} \frac{L_{\text{заг}}}{2} = \frac{1,28}{\sqrt{17,5 \cdot 0,525}} \frac{30}{2} \cong 6,34.$$

Для значения $\alpha \cong 6,34$ (см. рис. 6.7) находим $\gamma = 0,9$ [1].

Тогда давление гидропласта составит

$$p = \frac{\Delta E S j}{r^2 \gamma} = \frac{0,02 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 0,525 \cdot 1,06}{17,5^2 \cdot 0,9} = 8,48 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}.$$

Далее определяем величину необходимой силы на плунжере, задав его диаметр $d_{\text{пл}} = 10$ мм:

$$N = p \frac{\pi d_{\text{пл}}^2}{4} = 8,48 \cdot \frac{3,14 \cdot 10^2}{4} = 665,7 \text{ Н}.$$

Пример 6.4. Заготовку обрабатывают на токарном станке с установкой в мембранном патроне (рис. 6.8). Определить силу N на штоке и напряжение в мембране патрона, передающего момент $M_{\text{рцз}} = 20\,000$ Н·мм.

Исходные данные: $r = 25$ мм; $R = 62,5$ мм; $l = 30$ мм; толщина мембраны $h = 5$ мм; число кулачков $n = 10$; допуск на наружный диаметр заготовки $\Delta_{\text{заг}} = 0,02$ мм; коэффициент трения между кулачками и заготовкой $f = 0,16$; коэффициент запаса $k = 1,5$; гарантированный зазор для установки заготовки $\Delta_{\text{гар}} = 0,03$ мм; $E = 2,1 \cdot 10^5$ Н/мм².

Расчет мембранных патронов подробно изложен в литературе [1, 4].

Решение. Определяем радиальную силу на одном кулачке:

$$Q_{n=1} = \frac{k M_{\text{рцз}}}{n f r} = \frac{1,5 \cdot 20\,000}{10 \cdot 0,16 \cdot 25} = 750 \text{ Н},$$

где $r = d_{\text{заг}}/2$.

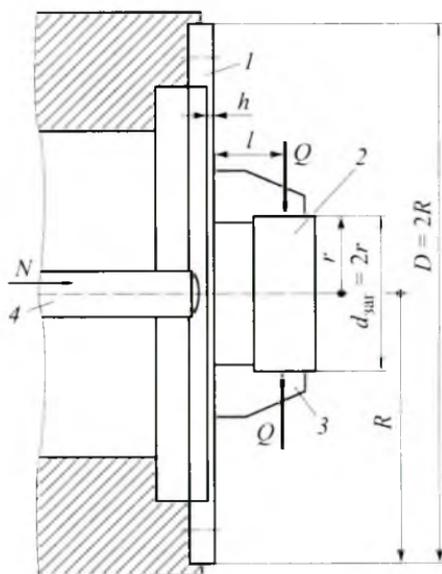


Рис. 6.8. Мембранный патрон:
1 — мембрана; 2 — заготовка; 3 — кулачок; 4 — шток

Сила Q создает момент M (рис. 6.9, *a*) [1, 4], изгибающий мембрану. При достаточно большом числе кулачков момент M можно рассматривать равномерно распределенным по окружности радиусом $r = d_{\text{заг}}/2$.

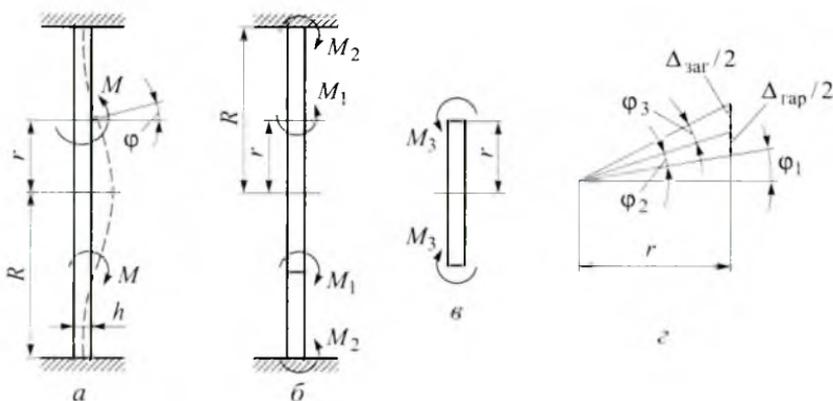


Рис. 6.9. Схемы к расчету мембранного патрона

Находим момент, который можно представить равномерно распределенным по окружности $d_{\text{заг}} = 2r$, так как число кулачков достаточно большое ($n = 10$):

$$M = \frac{Q_{n=1}nl}{2\pi r} = \frac{750 \cdot 10 \cdot 30}{2\pi \cdot 25} = 1433,12 \text{ Н.}$$

Проанализировав схемы (см. рис. 6.9, *a—c*), можем записать, что $M = M_1 + M_3$. Моменты M_1 и M_3 для разных отношений $m = R/r$ имеют следующие значения в долях момента M : $M_1 = k_1 M$ и $M_3 = k_2 M$ [1, 4]. Значения коэффициентов k_1 и k_2 для различных отношений m приведены ниже:

m	1,25	1,5	1,75	2,0	2,25	2,5	2,75	3,0
k_1	0,785	0,645	0,56	0,51	0,48	0,455	0,44	0,42
k_2	0,215	0,355	0,44	0,49	0,52	0,545	0,56	0,58

При соотношении $R/r = 62,5/25 = 2,5$ для данного расчета из приведенных выше значений принимаем $k_2 = 0,545$. Тогда равномерно распределенный момент по окружности $d_{\text{заг}}$ будет $M_3 = k_2 M = 0,545 \cdot 1433,12 = 781,05 \text{ Н}$ на единицу длины окружности.

Определяем цилиндрическую жесткость мембраны [1, 4]:

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)} = \frac{2,1 \cdot 10^5 \cdot 5^3}{12 \cdot (1-0,3^2)} = 2403850 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

При установке минимальной заготовки угол разжима кулачков

$$\varphi_1 = \frac{M_3 r}{D(1+\mu)} = \frac{781,05 \cdot 25}{2403850(1+0,3)} \cong 0,00625 \text{ рад}.$$

Тогда с учетом допуска $\Delta_{\text{заг}}$ на диаметр заготовки $d_{\text{заг}}$ и величины гарантированного зазора $\Delta_{\text{гар}}$ при установке заготовки наибольший угол раскрытия кулачков

$$\varphi_{\text{max}} \cong \varphi_1 + \frac{\Delta_{\text{гар}}}{2l} + \frac{\Delta_{\text{заг}}}{2l} = 0,00625 + \frac{0,02 + 0,03}{2 \cdot 30} \cong 0,00708.$$

Определяем необходимую силу N на штоке для разжима кулачков на угол φ_{max} :

$$N = \frac{4\pi D \varphi_{\text{max}}}{r \ln \frac{R}{r}} = \frac{4\pi \cdot 2403850 \cdot 0,00708}{25 \ln \frac{25}{62,5}} \cong 933,7 \text{ Н}.$$

По величине силы N проверяем напряжение в мембране при радиусе касания $r_0 = 4,0$ мм:

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{3N(1+\mu)}{2\pi h^2} \left(\ln \frac{R}{r_0} + \frac{r_0^2}{4R^2} \right) = \frac{3 \cdot 933,7(1+0,3)}{2\pi \cdot 5^2} \left(\ln \frac{62,5}{4} + \frac{4^2}{4 \cdot 62,5^2} \right) \cong \\ &\cong 62 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2} < [600] \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}. \end{aligned}$$

6.2. ЗАДАЧИ

Задача 6.2.1. Определить необходимую силу закрепления двух цилиндрических заготовок и рассчитать диаметр силового пневмоцилиндра $D_{\text{п}}$ при фрезеровании шпоночного паза. Заготовки установлены в многоместном приспособлении (рис. 6.10). Материал заготовок — сталь 45, НВ 190...230.

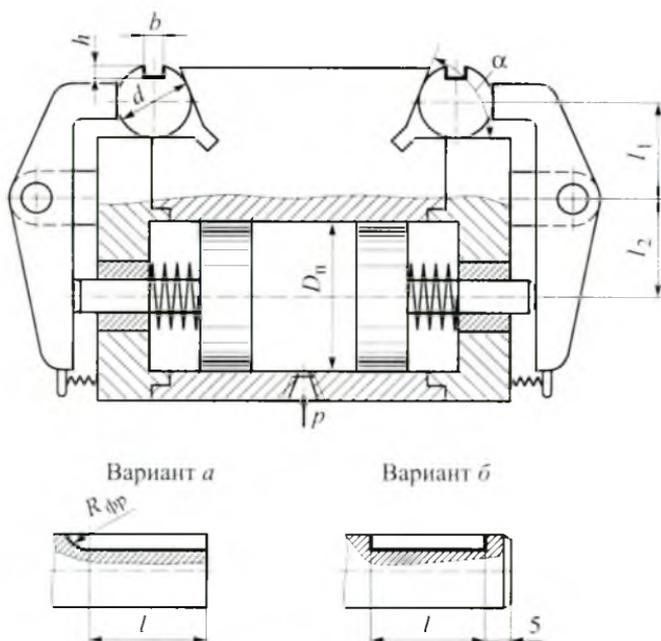


Рис. 6.10. Эскиз многоместного приспособления для фрезерования шпоночных пазов

Исходные данные	Вариант	
	<i>a</i>	<i>б</i>
Диаметр заготовки $d_{\text{заг}}$, мм	40	50
Размеры паза, мм:		
ширина b	12	16
глубина h	$5^{-0,2}$	$6^{+0,2}$
длина l	40	45
Режимы резания:		
подача $S_{\text{мин}}$, мм/мин	120	215
S_z , мм/зуб	0,1	0,08
скорость резания v , м/мин	32,0	27,0
Соотношение плеч нажимного рычага l_1/l_2	1/2	1
Угол призмы α , град	55	60

Вариант *a*: фрезерование двух пазов ведется одновременно дисковыми фрезами $R_{\text{фр}} = 40$ мм ($z = 18$) на горизонтально-фрезерном станке.

Вариант б: фрезерование пазов ведется последовательно концевой (шпоночной) фрезой ($z = 5$) с маятниковой подачей на вертикально-фрезерном станке.

Давление воздуха в пневмосистеме $p = 50$ кПа. Силу пружины штока в конце рабочего хода принимать в пределах 5 % от силы, создаваемой поршнем.

Задача 6.2.2. Определить величину силы Q при обработке заготовки из прутка в цанге на токарно-револьверном станке (рис. 6.11), если в незакрепленном состоянии зазор Δ между лепестками цанги и заготовкой составляет 0,1 мм. Материал цанги — сталь У8А, HRC 55...60; коэффициент трения $f_{тр} = 0,2$.

Исходные данные	Вариант		
	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>
Диаметр, мм: обрабатываемого прутка d обработки d_1	15 13 _{0,1}	30 27 _{0,2}	40 36 _{0,2}
Длина обработки l , мм	20	15	18
Режимы резания: глубина резания t , мм подача продольная $S_{пр}$, мм/об подача поперечная $S_{п}$, мм/об скорость резания v , м/мин	1,0 0,3 0,2 80	1,5 0,5 0,3 60	1,2 0,5 0,25 100
Параметры цанги: диаметр, мм, цанги по торцу D направляющей части цанги $D_{ц}$ число лепестков цанги n ширина продольных пазов b , мм угол конуса цанги α , град длина, мм, цанги L продольных пазов l_1 конуса цанги $l_{ц}$ толщина лепестка цанги в поперечном сечении Δ , мм	23 18 3 2,5 30 40 30 11 1,25	47 35 3 4,0 30 65 50 20 2,0	62 46,5 4 4,5 30 83 65 25 2,25

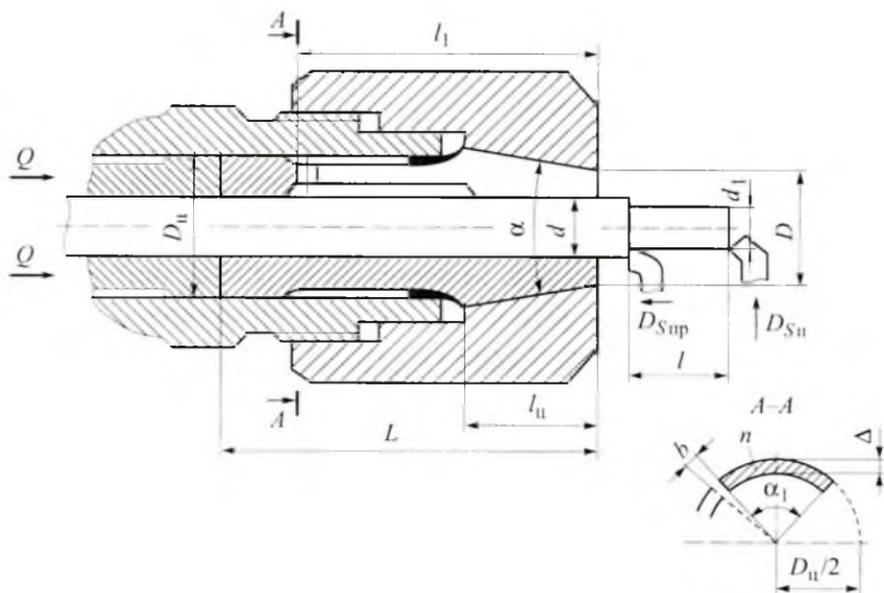


Рис. 6.11. Эскиз обработки заготовки на токарно-револьверном станке при установке в цанге

Задача 6.2.3. Определить силу зажима заготовки Q при обработке отверстий в поворотном кондукторе (рис. 6.12), рассчитать параметры резьбы и размеры рукоятки, принимая усилие руки рабочего в пределах значений 100...150 Н; $D_2 = D_1 + 10$ мм. Заготовка выполнена из стали 45.

Исходные данные	Вариант		
	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>
Метод обработки отверстия	Сверление	Чистовое развертывание	Зенкерование
Диаметр, мм: обрабатываемого отверстия d	$12^{+0,12}$	$16^{+0,019}$	$20^{+0,14}$
наружной поверхности обрабатываемых отверстий D	180	200	150
Длина обрабатываемого отверстия l , мм	20	25	12

Задача 6.2.4. Разработать принципиальную и компоновочную схемы специального двухместного приспособления для фрезерования лыски на валике (рис. 6.13) на горизонтально-фрезерном станке. Время закрепления должно быть минимальным. Базами являются цилиндрическая поверхность D , торец A .

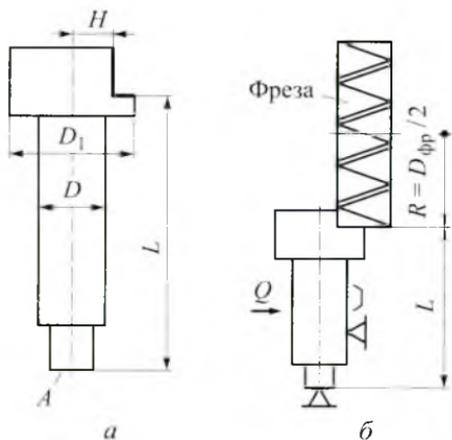


Рис. 6.13. Эскиз заготовки для фрезерования (*а*) и схема ее обработки (*б*)

Рассчитать величину силы зажима Q , параметры силового привода, а также погрешность установки заготовки в приспособлении. При использовании приспособлений I группы принимать $J = 15 \text{ кН/мм}$.

Рассчитать величину силы зажима Q , параметры силового привода, а также погрешность установки заготовки в приспособлении. При использовании приспособлений I группы принимать $J = 15 \text{ кН/мм}$.

Исходные данные	Вариант			
	<i>а</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>
Базовый диаметр валика D , мм	50 _{0,08}	60 _{0,1}	40 _{0,12}	70 _{0,05}
Размер H , мм, обработки от оси валика	40 _{0,1}	60 _{0,15}	45 _{0,1}	50 _{0,2}
Размер L , мм, обрабатываемой поверхности от торца валика	180 _{0,2}	250 _{0,5}	160 _{0,3}	200 _{0,1}
Диаметр валика D_1 , мм	120	180	140	160
Тангенциальная сила резания P_z , кН	2,0	3,0	1,5	2,5
<i>Примечание.</i> Сила P_z приложена на участке $R = 50 \text{ мм}$ ($R = D_{\text{фр}}/2$); $D_1 = D + 20 \text{ мм}$.				

Задача 6.2.5. Определить необходимую величину силы зажима Q при фрезеровании одновременно двух площадок двумя фрезами (вариант *а*) или паза (вариант *б*) n заготовок на вертикально-фрезерном станке (рис. 6.14). Рассчитать размеры D и δ диафрагмы и величину хода штока L пневмокамеры. Давление воздуха в пневмокамере $p = 400 \text{ кПа}$. Материал заготовок — серый чугун марки СЧ18.

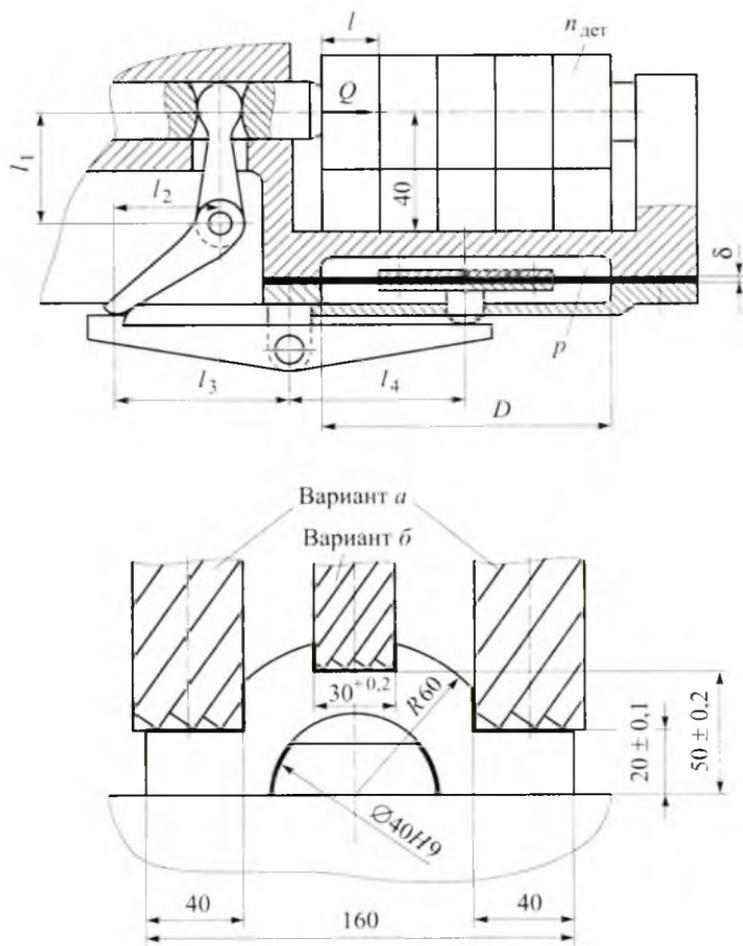


Рис. 6.14. Эскиз многоместного приспособления для фрезерования с зажимным механизмом с пневмокамерой

Исходные данные	Вариант	
	а	б
Толщина одной заготовки l , мм	10 _{0,05}	15 _{0,1}
Число заготовок $n_{дет}$	4	3
Диаметр фрез для обработки $D_{фр}$, мм	50	30
Число зубьев z	12	8

Исходные данные	Вариант	
	<i>a</i>	<i>b</i>
Режимы резания: глубина резания <i>t</i> , мм подача S_z , мм/зуб скорость резания <i>v</i> , м/мин	0,5 0,18 40	10 0,1 37
Соотношение плеч рычагов зажимного механизма: l_1/l_2 l_3/l_4	1,5 1,0	1,0 0,75

Задача 6.2.6. Определить величину силы зажима Q при различных вариантах обработки заготовки: сверлении (вариант *a*), растачивании (вариант *b*), долбления (вариант *в*). Рассчитать размеры D и δ диафрагмы и величину хода штока пневмокамеры L зажимного механизма (рис. 6.15). Материал заготовки — сталь 45, НВ 180...210. Материал зажимных элементов — сталь 40Х. Давление в пневмокамере $p = 400$ кПа.

Исходные данные	Вариант		
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>в</i>
Диаметр заготовки $D_{\text{заг}}$, мм	50 $h7$	60 $h8$	60 $h8$
Толщина заготовки H , мм	30 _{0,1}	40 _{0,2}	35 \pm 0,15
Диаметр выемки на торце установочного элемента D_1 , мм	30	40	40
Зажимные элементы: размер R , мм, от оси заготовки до выступа углового прижима размер a , мм, выступа от оси углового прижима толщина h , мм, Г-образного выступа углового прижима длина l , мм, отверстия для направления углового прижима	20 20 10 55	20 25 8 60	25 30 12 65
Режимы резания: глубина резания t , мм подача S , мм/об скорость резания v , м/мин	10 0,26 21	0,2 0,25 44	5,0 $S_{\text{дв.х}} =$ $= 0,07$ мм/дв.ход 16

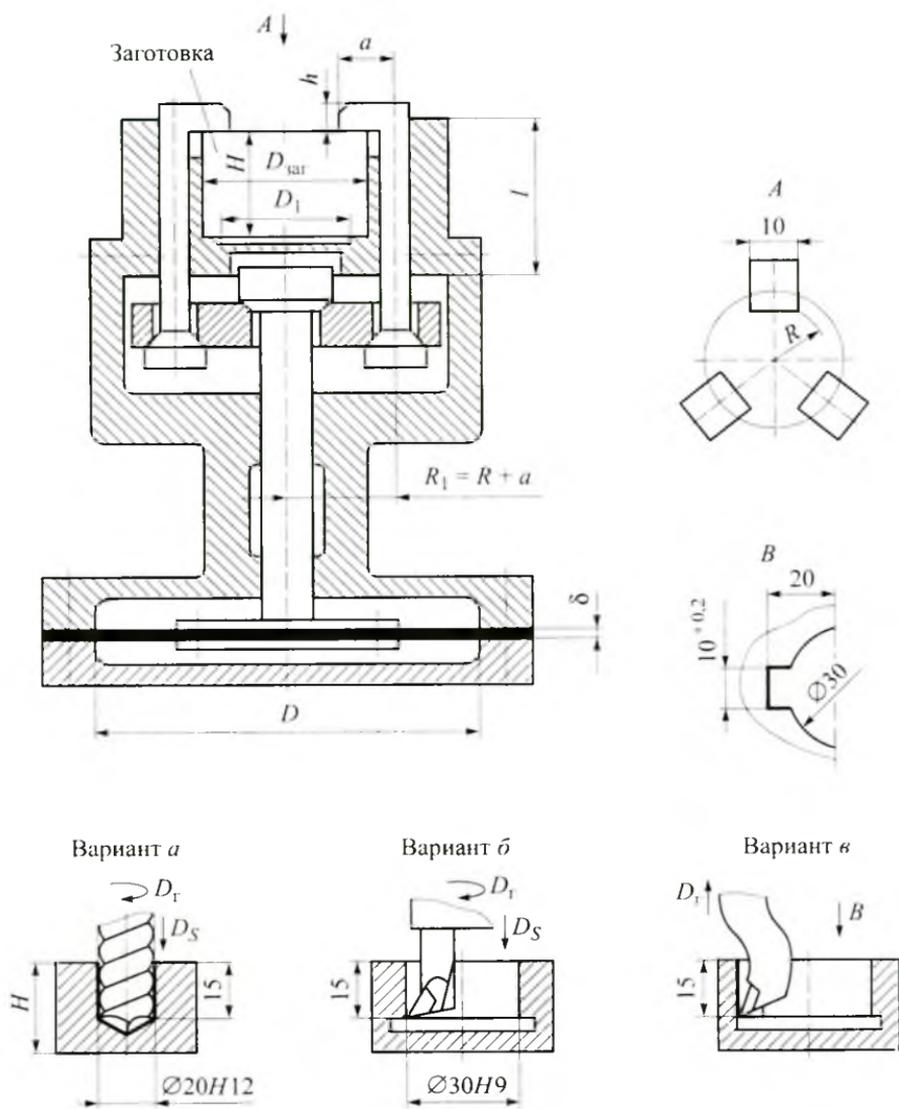


Рис. 6.15. Эскиз приспособления для обработки заготовок с зажимным механизмом с пневмокамерой

Задача 6.2.7. Тонкостенная втулка обрабатывается на токарном станке, базирясь по отверстию на оправке с гидропластом (рис. 6.16). Определить необходимую силу зажима Q для закрепления заготовки, параметры плунжера и винта для обеспечения этой силы.

Исходные данные	Вариант		
	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>
Диаметр втулки, мм: наружный $D_{обр}$ внутренний $D_{отв}$	80 72	120 116	100 94
Длина втулки L , мм	95	123	138
Зазор в сопряжении деталь — оправка Δ , мм	0,02	0,03	0,015
Параметры упругого элемента оправки: длина начального участка l , мм длина упругой части элемента $L_г$, мм	15 80	23 100	18 120
Режимы резания: глубина резания t , мм подача S , мм/об скорость резания v , м/мин	0,1 0,05 120	0,08 0,09 140	0,15 0,08 100

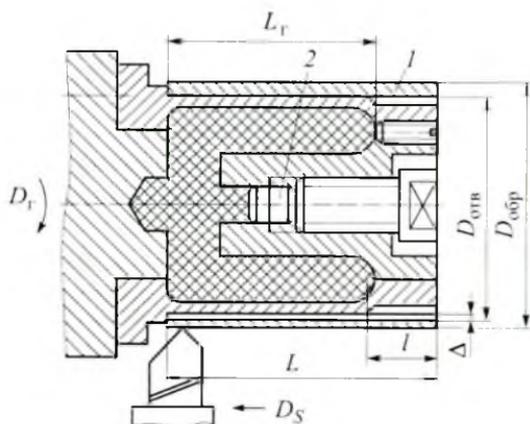


Рис. 6.16. Эскиз оправки с гидропластом для обработки втулок:
1 — заготовка; 2 — плунжер

Задача 6.2.8. Для приведенной схемы закрепления заготовки на фрезерном станке (рис. 6.17) определить зажимную силу Q и параметры пневмоцилиндра D_{II} , $d_{шт}$, $l_{хол}$. Давление в пневмосети 400 кПа. Материал заготовки — чугун марки СЧ18.

Исходные данные	Вариант		
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>в</i>
Параметры заготовки, мм: высота H длина и ширина $L \times B$	300 500×400	200 400×400	400 700×150
Параметры зажимного приспособления, мм: высота a до упора в вертикальном направлении размер b между точкой зажима и боковым упором для заготовки размеры плеч рычага h_1 / h_2	100 100 150 / 300	50 100 100 / 100	200 100 170 / 400
Силы резания, кН: P_z P_1	5.0 2.0	4.0 1.5	6.0 2.5

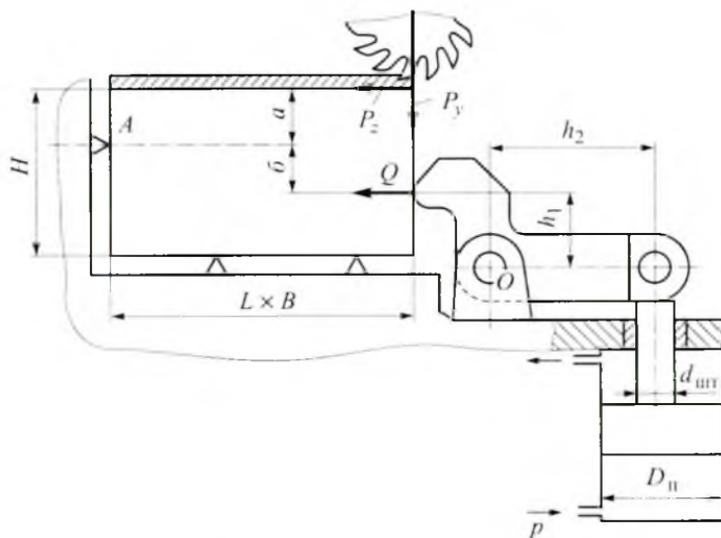


Рис. 6.17. Схема установки и закрепления заготовки на фрезерном станке

Задача 6.2.9. Тонкостенная втулка окончательно растачивается по внутреннему диаметру (рис. 6.18). Определить силу зажима Q и подобрать соответствующую конструкцию зажимного устройства, если допустимая погрешность формы обработанной поверхности не должна превышать половины допуска на выдерживаемый размер d [$\Delta_{\phi} \leq \Delta d/2$].

Исходные данные	Вариант		
	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>
Параметры заготовки, мм: диаметр отверстия $d^{\Delta d}$ наружный диаметр D длина L	80 ^{+0,03}	60 ^{-0,03}	40 ^{+0,05}
Материал заготовки	Сталь	Бронза	Чугун
Режимы резания: глубина резания t , мм подача S , мм/об скорость резания v , м/мин	0,1 0,15 57	0,2 0,18 78	0,25 0,25 91

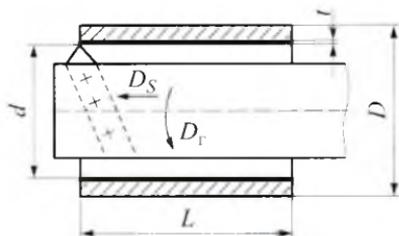


Рис. 6.18. Эскиз обработки тонкостенной втулки на токарном станке

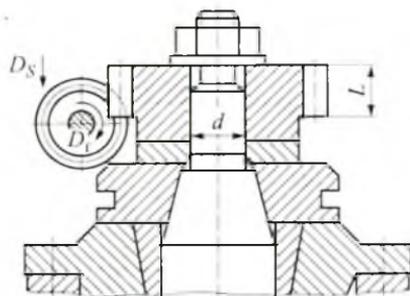


Рис. 6.19. Схема обработки зубьев в заготовке на зубофрезерном станке

Задача 6.2.10. На зубофрезерном станке червячной фрезой в заготовке нарезают зубья (рис. 6.19). Определить силу зажима Q , рассчитать параметры резьбы зажимного устройства. Задать жесткость J , Н/мм, винтовой пары.

Исходные данные	Вариант		
	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>
Параметры заготовки:			
базовый диаметр <i>d</i> , мм	30 ^{+0,07}	40 ^{+0,039}	18 ^{+0,035}
модуль зуба <i>m</i> , мм	3,0	2,5	1,5
число зубьев <i>z</i>	30	40	25
длина зуба <i>L</i> , мм	25	20	15
Режимы резания:			
подача <i>S</i> , мм/об	1,9	1,2	0,8
скорость резания <i>v</i> , м/мин	23	30	26

Задача 6.2.11. Заготовка установлена в универсально-наладочном приспособлении (УНП) на строгальном станке в тисках с пневмокамерой (рис. 6.20). Определить параметры диафрагмы пневмокамеры при закреплении (давление воздуха в сети $p = 500$ кПа); параметры винта и величину момента его затяжки при ручном закреплении. Задать жесткость J , Н/мм, винтовой пары.

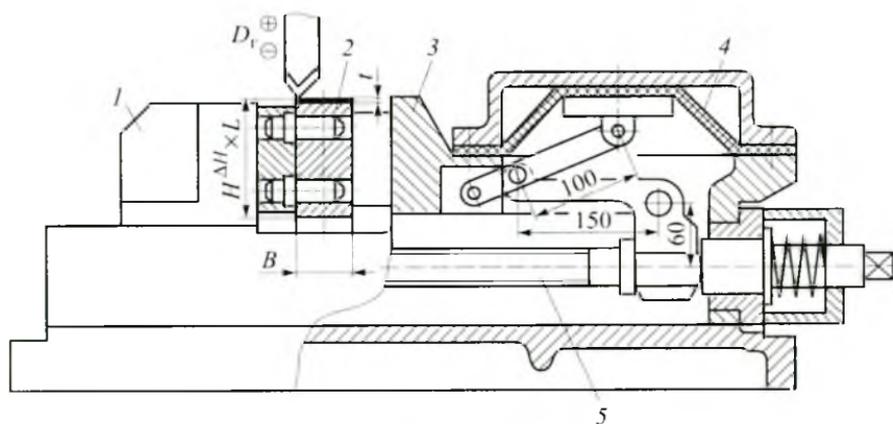


Рис. 6.20. Схема обработки заготовки в тисках с пневмокамерой: 1 — неподвижная губка; 2 — заготовка; 3 — подвижная губка; 4 — диафрагма; 5 — винтовая пара

Исходные данные	Вариант			
	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>
Параметры заготовки, мм:				
ширина <i>B</i>	20	30	15	35
высота $H^{\Delta L}$	50 _{-0,3}	70 _{-0,5}	60 _{-0,25}	40 _{-0,15}
длина обработки <i>L</i>	300	500	400	250

Исходные данные	Вариант			
	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>
Режимы резания:				
глубина резания <i>t</i> , мм	3,0	2,0	1,0	4,0
подача <i>S</i> , мм/дв.х	0,6	0,4	0,5	0,3
скорость резания <i>v</i> , м/мин	34,5	50	30	40

Задача 6.2.12. В заготовке, которая установлена в самоцентрирующем трехкулачковом пневматическом патроне, рассверливают отверстие D по литейной корке (рис. 6.21). Определить величину силы закрепления Q , силу на штоке P и параметры пневмоцилиндра. Материал заготовки — сталь 45. Давление в пневмосети $p = 500$ кПа. Плечи рычага патрона $l_2 = 1,5 l_1$.

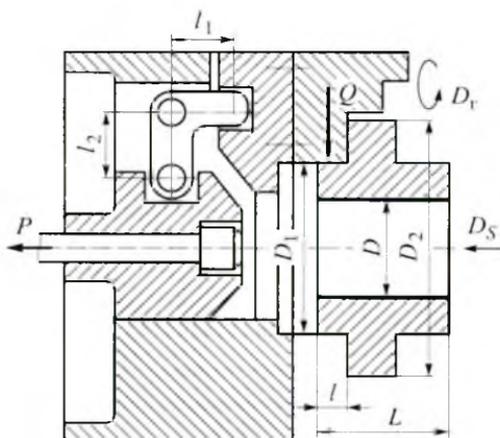


Рис. 6.21. Эскиз обработки заготовки в пневмопатроне на токарном станке

Исходные данные	Вариант	
	<i>a</i>	<i>б</i>
Параметры заготовки, мм:		
диаметр обрабатываемого отверстия D	$40^{+0,17}$	$60^{+0,4}$
базовый диаметр D_1	70	90
наружный диаметр D_2	90	120
длина L	60	50
длина уступа l по диаметру D_1	10	20

Исходные данные	Вариант	
	<i>a</i>	<i>б</i>
Режимы резания:		
глубина резания <i>t</i> , мм	1,4	1,5
подача <i>S</i> , мм/об	1,2	1,0
скорость резания <i>v</i> , м/мин	14	15

Задача 6.2.13. Разработать принципиальную схему приспособления для фрезерования шпоночного паза у трехступенчатого вала (рис. 6.22), выбрав конструкцию установочных и зажимных элементов. Рассчитать величину зажимной силы. Проверить, обеспечивается ли точность размера — глубины шпоночного паза для принятой схемы установки. При использовании приспособлений I группы принимать $J_{\text{зж}} = 12\ 000$ Н/мм.

Исходные данные	Вариант	
	<i>a</i>	<i>б</i>
Параметры заготовки, мм:		
диаметр		
<i>d</i>	60 _{-0,2}	50 _{-0,1}
<i>d</i> ₁	40 _{0,15}	30 _{0,08}
<i>d</i> ₂	80	60
длина		
общая <i>L</i>	200	100
ступени <i>l</i> ₁	80	50
ступени <i>l</i> ₂	60	30
Режущий инструмент:		
трехсторонняя дисковая фреза	<i>b</i> = 10 мм; <i>D</i> _{фр} = 90 мм; <i>z</i> = 20	—
концевая фреза	—	<i>D</i> _{фр} = 10 мм; <i>z</i> = 4
Режимы резания:		
глубина резания <i>t</i> , мм	—	0,4 (на один рабочий ход)
подача <i>S</i> _{мин} , мм/мин / <i>S</i> _z , мм/зуб	516 / 0,045	135 / 0,05
скорость резания <i>v</i> , м/мин	162	28

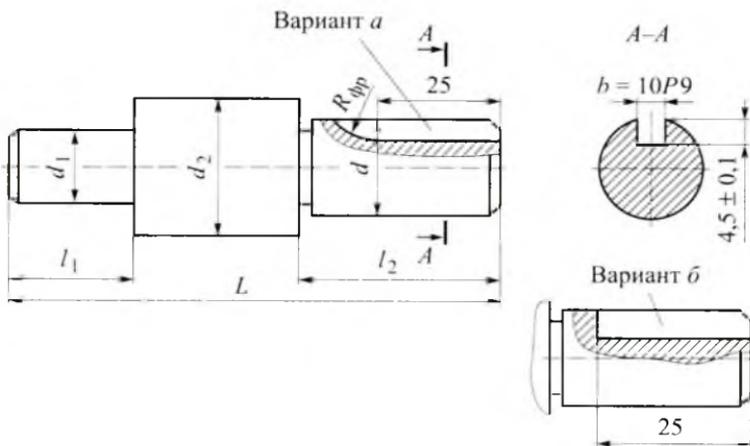
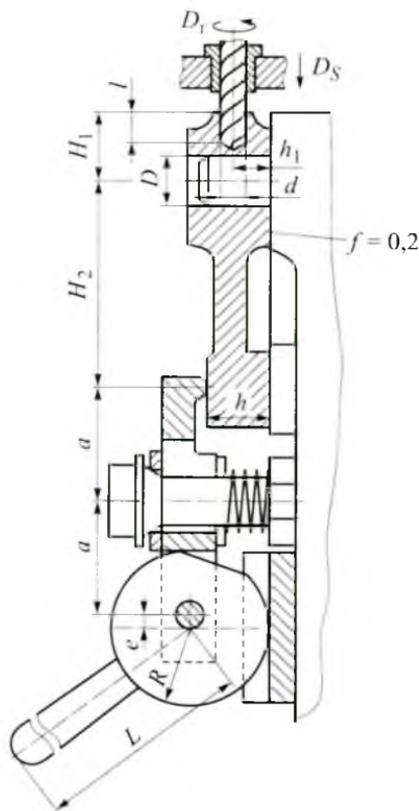


Рис. 6.22. Эскиз заготовки для обработки шпоночного паза



Задача 6.2.14. Рассчитать параметры эксцентрикового зажима (рис. 6.23) и определить длину рукоятки эксцентрика, считая, что усилие руки рабочего не должно превышать 100...150 Н. Жесткость системы зажимного устройства $J = 1.2$ кН/мм. Согласно условиям работы угол поворота α рукоятки эксцентрика должен быть более 60° .

Рис. 6.23. Эскиз обработки отверстия в приспособлении с эксцентриковым зажимом

Исходные данные	Вариант			
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>v</i>	<i>z</i>
Параметры заготовки, мм:				
диаметр				
обрабатываемого отверстия <i>d</i>	10 ^{-0,1}	8 ^{-0,2}	10 ^{-0,1}	8 ^{-0,2}
базового отверстия <i>D</i>	20H7	16H7	22H7	18H7
глубина сверления <i>l</i>	10	12	14	16
расстояние				
<i>H</i> ₁ от торца до оси базового	40	50	30	45
отверстия				
<i>H</i> ₂ от оси базового отверстия	100	150	120	130
до места приложения силы за-				
крепления				
размер <i>h</i> ₁ от торца заготовки	5	5	5	5
толщина <i>h</i> заготовки	16 _{-0,4}	14 _{-0,3}	17 _{-0,24}	15 _{-0,48}
Режимы резания:				
подача <i>S</i> , мм/об	0,22	0,18	0,20	0,15
скорость резания <i>v</i> , м/мин	27	30	25	32

Задача 6.2.15. Определить силу закрепления накладного кондуктора с блоком тарельчатых пружин (с разрезами) на заготовке при последовательной обработке трех отверстий на вертикально-строгальном станке (рис. 6.24).

Исходные данные	Вариант	
	<i>a</i>	<i>b</i>
Параметры заготовки, мм:		
диаметр обрабатываемых отверстий <i>d</i>	8	12
глубина сквозных отверстий <i>h</i>	10	15
диаметр $D \pm 0,2$ окружности, на которой	150	200
находятся обрабатываемые отверстия		
высота заготовки <i>H</i>	60	80
наружный диаметр заготовки <i>D</i> ₁	200	240
материал	СЧ18	Сталь 45
Режимы резания:		
глубина резания <i>t</i> , мм	4,0	6,0
подача <i>S</i> , мм/об	0,36	0,25
скорость резания <i>v</i> , м/мин	21	28

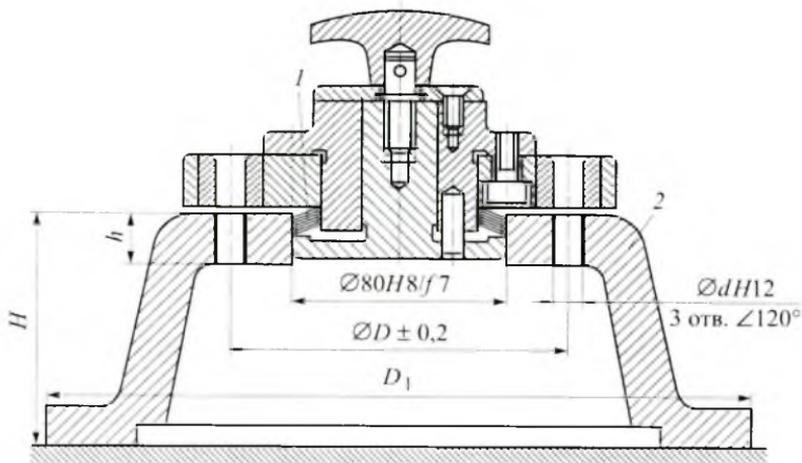


Рис. 6.24. Эскиз обрабатываемой заготовки с накладным кондуктором:
 1 — блок тарельчатых пружин; 2 — заготовка

Задача 6.2.16. Рассчитать силу Q (три прижима), необходимую для закрепления заготовки в приспособлении на токарном станке (рис. 6.25) при последовательной обработке поверхностей ①, ②, ③. Закрепление производится от пневмопривода (D_{II} поршня, $d_{штк}$ штока, L хода поршня); давление в пневмосистеме $p = 500$ кПа. Материал заготовки — сталь 45. Задать длину плеч l и $l/2$.

Исходные данные	Вариант	
	<i>a</i>	<i>б</i>
Параметры заготовки, мм:		
диаметр		
базовый D	40H9	60H8
обрабатываемого отверстия D_1	60H10	80H10
наружный $D_{заг}$	110	140
высота заготовки H	38 _{0,3}	30 _{0,3}
глубина растачиваемого отверстия h_1	18 _{0,2}	10 _{0,2}
Режимы резания:		
глубина, мм,		
t_1	1,5	1,8
t_2	1,0	1,0
t_3	1,0	0,8
подача, мм/об,		
продольная $S_{пр}$	0,15	0,16
поперечная S_{II}	0,2	0,25

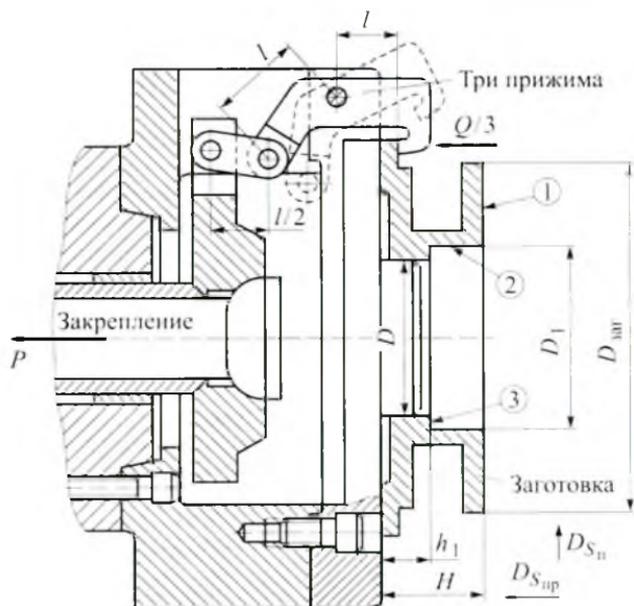


Рис. 6.25. Эскиз обработки заготовки в приспособлении на токарном станке

Задача 6.2.17. Заготовка установлена в пневматических тисках на фрезерно-центровальном станке (рис. 6.26). Фрезеруют торцы заготовки. Определить величину силы закрепления Q и рассчитать параметры пневмоцилиндра при давлении в пневмосети 500 кПа. Материал заготовки — сталь 40.

Исходные данные	Вариант			
	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>
Параметры заготовки, мм: базовый диаметр d	40 _{0,5}	60 _{0,24}	80 _{0,3}	50 _{0,4}
длина L	200 _{1,0}	400 _{1,5}	800 _{2,0}	500 _{0,8}
длина базового диаметра L_1	60	50	70	80
Параметры, мм, известных элементов приспособления: расстояние между роликами l	30	30	30	30
размеры плеч рычага l_1/l_2	50/100	50/150	150/150	100/100
Режимы резания: глубина резания t , мм	2	1,5	2,5	3,0
подача $S_{\text{мин}}$, мм/мин	335	230	210	300
скорость резания v , м/мин	207	232	200	210

Исходные данные	Вариант			
	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>
Режущий инструмент: фреза с ножами из твердого сплава $D_{фр}$, мм	200	200	200	200
число ножей фрезы z	12	12	12	12

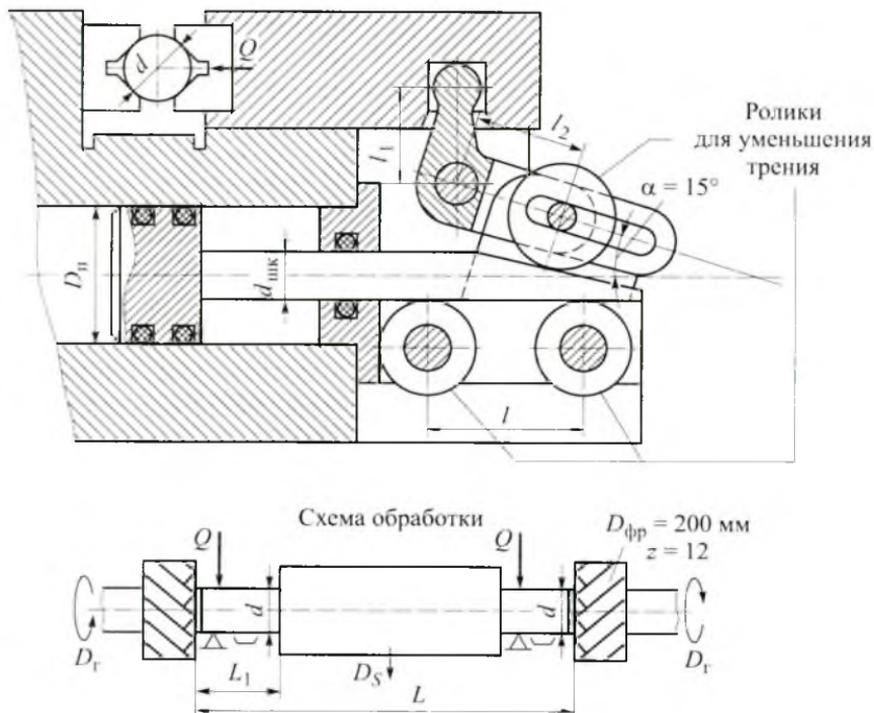


Рис. 6.26. Схема обработки заготовки в приспособлении на фрезерно-центровальном станке

Задача 6.2.18. Определить силу зажима Q при продольном точении заготовки (вариант *a*) или при подрезании торца (вариант *б*) и рассчитать параметры гидропривода: D_n поршня, $d_{шк}$ штока, ход поршня L (рис. 6.27). Рабочее давление масла $p = 6,0$ МПа. Соотношение $l_1/l_2 = 2,5$; $\alpha = 25^\circ$; $f_{тр} = 0,18$.

Исходные данные	Вариант	
	<i>a</i>	<i>б</i>
Материал заготовки	Сталь 45	Чугун СЧ18
Параметры заготовки, мм:		
диаметр		
наружный (базовый) D	80	100
обрабатываемого отверстия d	$8^{+0,2}$	$10^{-0,26}$
толщина h	12	15
Параметры элементов приспособления, мм:		
длина плеч рычага l	75	90
плечо Г-образного прижима a	35	40
высота направляющего элемента H	60	80
Режимы резания:		
глубина резания t , мм	4,0	5,0
подача S , мм/об	0,18	0,22
скорость резания v , м/мин	27	32

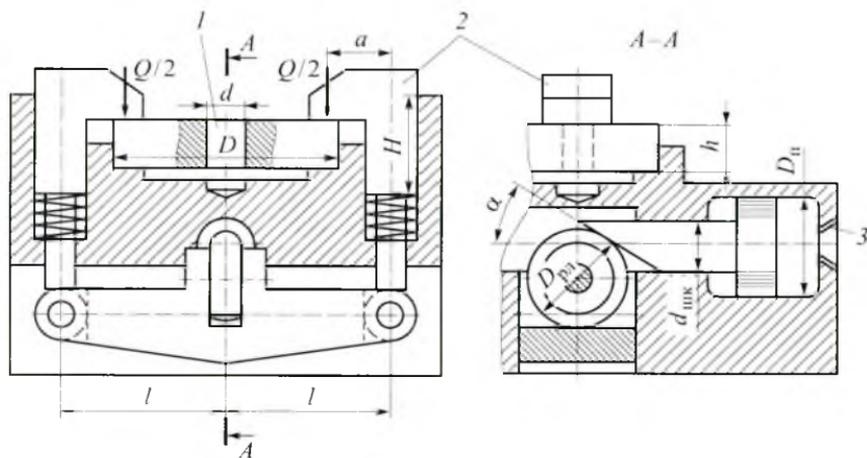


Рис. 6.28. Эскиз обработки центрального отверстия в заготовке в пневматическом приспособлении с Г-образными прижимами: 1 — заготовка; 2 — Г-образный прижим; 3 — коническое отверстие под штуцер

Задача 6.2.20. Определить величину силы зажима Q и рассчитать диаметр $D_{н}$ пневмоцилиндра (рис. 6.29) для фрезерования шпоночного паза (вариант *a*) или сверления отверстия (вариант *б*). Материал заготовки — сталь 45, НВ 190...230. Рабочее давление в пневмоцилиндре $p = 400$ кПа.

При фрезеровании шпоночного паза глубину резания за один рабочий ход принимать равной 0,4 мм. Задать размер плеча a рычажной системы.

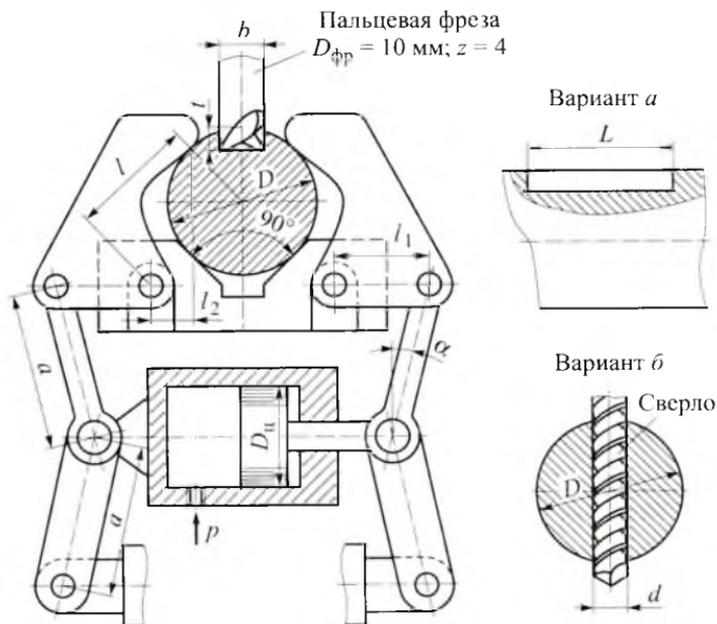


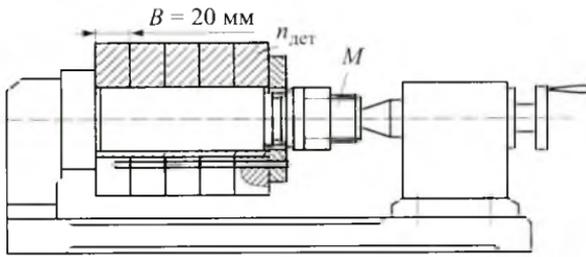
Рис. 6.29. Эскиз обработки заготовки в приспособлении с пневмоприводом

Исходные данные	Вариант	
	<i>a</i>	<i>б</i>
Параметры заготовки, мм: наружный диаметр D длина шпоночного паза L ширина паза b диаметр отверстия d	50 40 10 —	50 — — 12H12
Параметры элементов приспособления: плечи рычагов, мм. l l_1 l_2 угол α , град	60 35 15 15	50 30 15 15

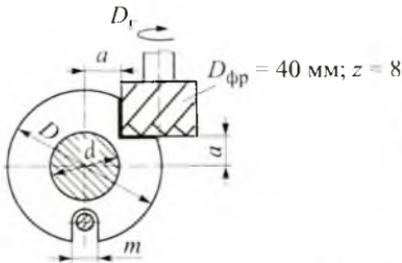
Исходные данные	Вариант	
	<i>a</i>	<i>b</i>
Режимы резания:		
глубина резания <i>t</i> , мм	5,5	6,0
подача		
<i>S</i> _{зуб} , мм/зуб	0,06	—
<i>S</i> , мм/об	—	0,22
скорость резания <i>v</i> , м/мин	28	24

Задача 6.2.21. Определить необходимую силу зажима *Q* заготовок при выполнении фрезерных работ (рис. 6.30), рассчитать параметры резьбы болта и требуемый момент *M* затяжки. Назначить посадки соединений *d* и *m*, обеспечивающих требуемую точность размеров *a* и пространственного расположения шпоночного паза. Материал заготовки — сталь 45, НВ 190...230. Жесткость винтовой пары *J*_{в,п} = 16 кН/мм.

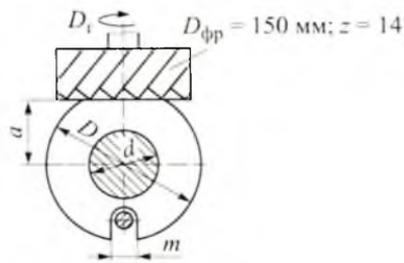
Исходные данные	Вариант		
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>b</i>
Параметры заготовки, мм:			
наружный диаметр <i>D</i>	165	150	120
обрабатываемый размер <i>a</i>	55±0,2	55±0,15	112 _{0,3}
шпоночный паз <i>b</i>	—	—	12P9
базовый диаметр <i>d</i>	60H7	50H7	50H7
паз <i>m</i> для установки заготовки	14	12	10
Число заготовок <i>n</i> _{дет}	5	3	7
Режущий инструмент:			
концевая фреза <i>D</i> _{фр} , мм / число зубьев <i>z</i>	40 / 8	—	—
торцевая фреза <i>D</i> _{фр} , мм / число зубьев <i>z</i>	—	150 / 14	—
пальцевая фреза <i>D</i> _{фр} , мм / число зубьев <i>z</i>	—	—	12 / 3
Режимы резания:			
подача			
<i>S</i> , мм/об	0,24	1,0	—
<i>S</i> _{мин} , мм/мин	—	—	150
скорость резания <i>v</i> , м/мин	33,6	40	32



Вариант а



Вариант б



Вариант в

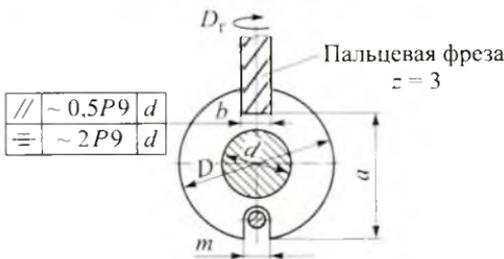


Рис. 6.30. Эскиз многоточной обработки заготовок на вертикально-фрезерном станке

Задача 6.2.22. Разработать конструкцию (эскизно) приспособления для черного растачивания отверстий под поршневой палец ($\varnothing = 50_{-0,028}^{-0,006}$) с двух сторон (рис. 6.31); материал — СЧ24; $t = 3,5$ мм. Остальные параметры выбрать самостоятельно по справочнику. Определить погрешность установки ε заготовки, считая, что все поверхности детали обработаны, кроме $\varnothing 50_{-0,028}^{-0,006}$. Выбрать зажимное устройство, выполнить силовой расчет его.

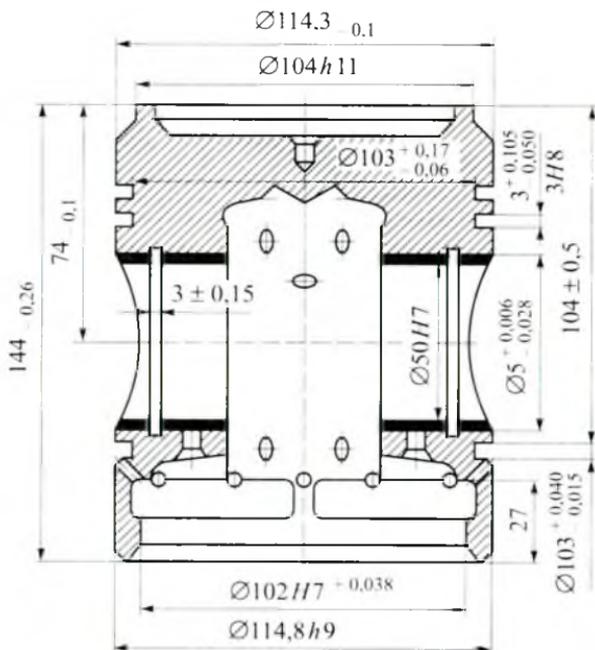


Рис. 6.31. Эскиз заготовки поршня для растачивания отверстий под поршневой палец

Задача 6.2.23. Разработать конструкцию (эскизно) поворотного кондуктора для сверления шести отверстий $\varnothing 4H12$ под углом $\alpha = 30^\circ$ согласно эскизу, приведенному на рис. 6.32. Рассчитать погрешность установки, определить силу закрепления и сделать силовой расчет зажимного устройства. Материал — АЛ10.

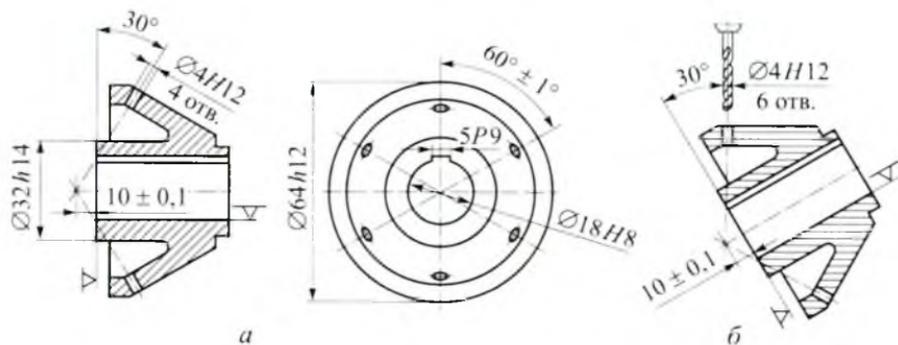


Рис. 6.32. Эскиз заготовки для обработки шести отверстий $\varnothing 4H12$ (а) и схема положения заготовки при обработке на станке (б)

ЛИТЕРАТУРА

1. *Корсаков В.С.* Основы конструирования приспособлений: учеб. для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1983. 277 с.
2. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. /под ред. А.М. Дальского, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова, А. Г. Сулова. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение-1, 2001. Т. 1. 912 с.
3. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. /под ред. А.М. Дальского, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова, А.Г. Сулова. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение-1, 2001. Т. 2. 944 с.
4. Технология машиностроения: учеб. для вузов: в 2 т. / В.М. Бурцев, А.С. Васильев, И.Н. Гемба и др.; под ред. Г.И. Мельникова. 3-е изд., испр. и перераб. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2012. Т. 2. Производство машин. 551 с.

7. РАСЧЕТЫ ПРИ КОНСТРУИРОВАНИИ КОНТРОЛЬНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

7.1. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ

Погрешность контрольного приспособления — это разность между показаниями данного приспособления и действительными значениями проверяемой величины. Погрешность измерения может составлять 20...30 % от поля допуска на измеряемую величину:

$$[\Delta]_{\text{изм}} = k \Delta_{\text{изд}}, \quad (7.1)$$

где коэффициент $k = 0,2 \dots 0,35$, причем $k = 0,35$ для квалитетов IT2—IT5, $k = 0,3$ для квалитетов IT6—IT7, $k = 0,25$ для квалитетов IT8—IT9, $k = 0,2$ для квалитетов IT10—IT17; $\Delta_{\text{изд}}$ — допуск на измеряемую (контролируемую) величину изделия.

Расчет точности контрольного приспособления (или определение погрешности измерения) сводится к расчету первичных составляющих общей погрешности $\Delta_{\text{мет}}$:

$$\Delta_{\text{мет}} = \sqrt{\varepsilon^2 + \Delta_p^2 + \Delta_{\text{эт}}^2 + \Delta_{\text{п}}^2}, \quad (7.2)$$

где ε — погрешность положения контролируемой детали в приспособлении; Δ_p — погрешность передаточных устройств (рычагов) приспособления; $\Delta_{\text{эт}}$ — погрешность изготовления эталона, служащего для настройки приспособления; $\Delta_{\text{п}}$ — погрешность показаний измерительного прибора.

Таким образом, общая погрешность контрольного приспособления не должна превышать допустимого значения погрешности измерения $\Delta_{\text{изм}}$, т. е.

$$\Delta_{\text{мет}} \leq [\Delta]_{\text{изм}} = (0,2 \dots 0,35) \Delta_{\text{изд}}. \quad (7.3)$$

Процесс контроля (отбраковки) изделия следует проводить не по технологическому допуску $\Delta_{\text{изд}}$, а по величине, которая меньше технологического допуска на величину погрешности контрольного приспособления, т. е.

$$\Delta_{\text{кит}} = \Delta_{\text{изд}} - \Delta_{\text{мет.}} \quad (7.4)$$

Погрешность положения контролируемой детали в приспособлении ϵ определяется погрешностью базирования ϵ_0 , погрешностью закрепления ϵ_3 , а также погрешностью $\epsilon_{\text{изн}}$, которая обусловлена неточностью изготовления и износом элементов приспособления, находящихся в контакте с деталью:

$$\epsilon = \sqrt{\epsilon_0^2 + \epsilon_3^2 + \epsilon_{\text{изн}}^2}.$$

Величина погрешности базирования ϵ_0 зависит от принятой схемы установки. Для каждой схемы установки погрешность базирования определяют на основе геометрических расчетов.

7.1.1. Определение погрешности базирования для типовых схем установки

Установка детали по двум соосным отверстиям (рис. 7.1).

Данную схему применяют для измерения расстояний между осями отверстий, отклонения от параллельности или перпендикулярности осей и других параметров. При установке гладких оправок в отверстиях точность зависит от зазоров между отверстиями и оправкой и от величины отклонения от соосности базовых отверстий e . Для данной схемы при измерении на расстоянии l от торца $A-A$ детали погрешность базирования определяют по формуле

$$\epsilon_0 = l \operatorname{tg} \beta + e, \quad (7.5)$$

где $\operatorname{tg} \beta = (e + e_1 + e_2)/L$; e_1 и e_2 —

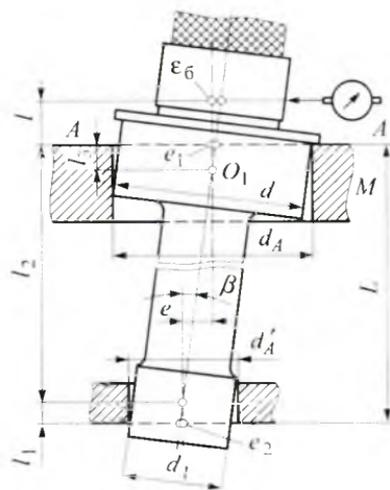


Рис. 7.1. Схема установки детали на цилиндрической оправке по двум отверстиям

зазоры, $e_1 \equiv (d_A - d)/2$, $e_2 \equiv (d'_A - d_1)/2$; L — расстояние между торцами отверстий.

Установка детали на оправке с конической и цилиндрической поверхностями (рис. 7.2). При использовании таких оправок

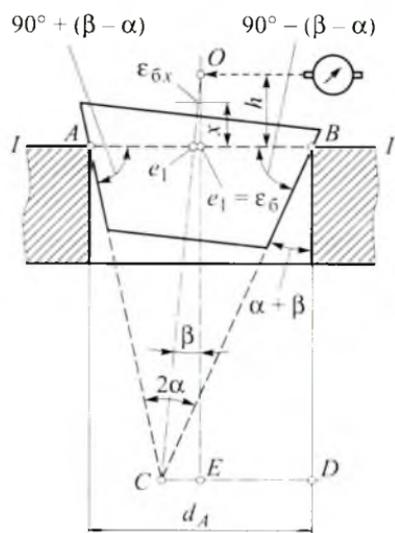


Рис. 7.2. Расчетная схема при использовании оправки с передней конической поверхностью

индикатор следует располагать так, чтобы плоскость измерения пересекалась с осями оправки и отверстия, т. е. в сечении, проходящем через точку O . В этом случае погрешность базирования стремится к нулю.

При измерении, проводимом в сечении $I - I$, погрешность базирования одной оправки составляет

$$\epsilon_6 = e_1 = h \operatorname{tg} \beta. \quad (7.6)$$

Для произвольного сечения, отстоящего от торца отверстия на расстоянии x , погрешность базирования определяют как

$$\epsilon_{6x} = \frac{e_1(h-x)}{h} = \operatorname{tg} \beta(h-x), \quad (7.7)$$

где h — расстояние от торца детали до точки O ,

$$h = \frac{2d_A \cos(\beta - \alpha) [\sin(\alpha + \beta) - \cos(\alpha + \beta) \operatorname{tg} \beta] - d_A \sin 2\alpha}{2 \sin 2\alpha \operatorname{tg} \beta}. \quad (7.8)$$

Установка на оправку, оснащенную обоймами с шариками (рис. 7.3). При установке деталей I на оправку, оснащенную обоймами с шариками, измерительными базами служат их сферические дорожки. Контролировать можно отклонение от параллельности сферической поверхности относительно торца M , размеры H и f . Настройку прибора проводят по эталону.

Размеры r_n и D_n эталона обычно выполняют с минимальным отклонением от размеров r_m и D (рис. 7.4). Для того чтобы во всех

случаях был обеспечен точечный контакт сферической дорожки эталона с шариками оправки, необходимо выполнение условий $r_{шт} > r_{ш}$ и $D_{шт} > D$.

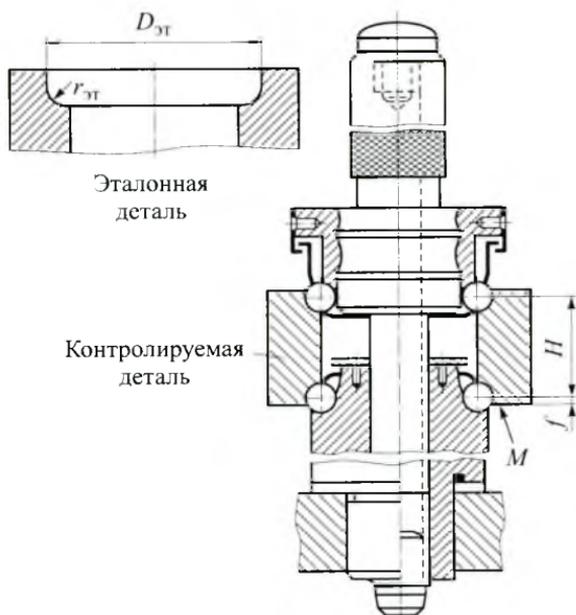


Рис. 7.3. Установочный узел контрольного приспособления с оправкой, оснащенной двумя рядами обойм с шариками

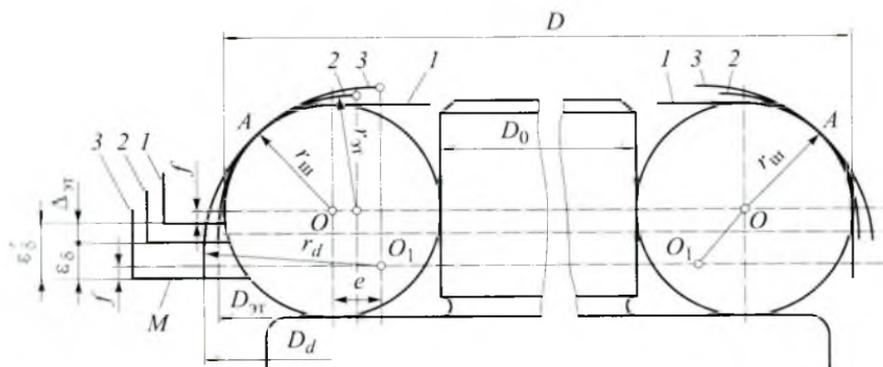


Рис. 7.4. Погрешности при установке деталей на шариках

случаях был обеспечен точечный контакт сферической дорожки эталона с шариками оправки, необходимо выполнение условий $r_{\text{эт}} > r_{\text{ш}}$ и $D_{\text{эт}} > D$.

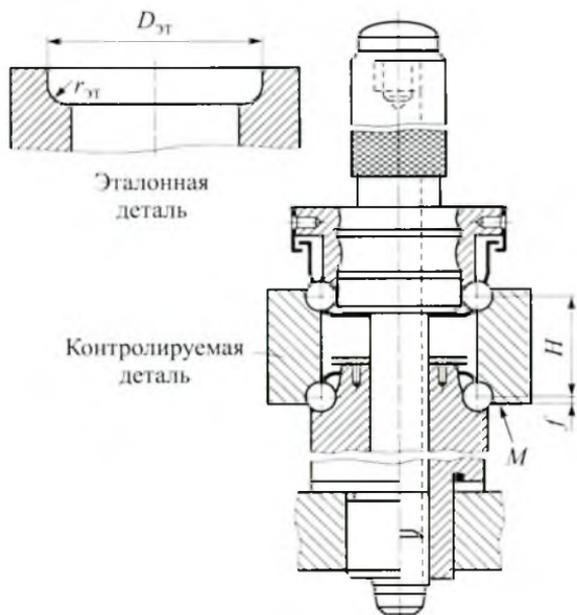


Рис. 7.3. Установочный узел контрольного приспособления с оправкой, оснащенной двумя рядами обоем с шариками

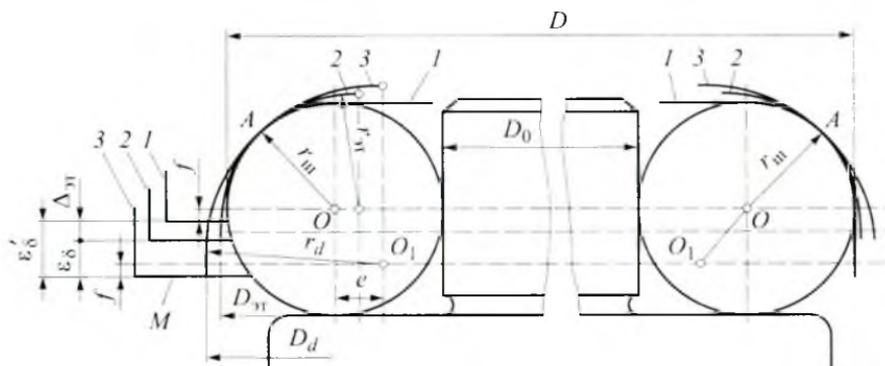


Рис. 7.4. Погрешности при установке деталей на шарики

Тогда погрешность базирования зависит от допуска на радиус $r_d^{\pm\Delta r_d}$, точности диаметра $D_d^{\pm\Delta D_d}$, величины радиуса $r_{\text{ш}}$ шариков ($r_{\text{ш}} \leq r_{d\text{min}}$). Иными словами, радиусы $r_{\text{ш}}$ шариков на оправке обычно должны быть меньше минимально допустимого радиуса r_d проверяемых деталей. Такое сочетание размеров необходимо для того, чтобы шарики оправки точечно контактировали со сферической дорожкой проверяемых деталей в точке A (см. рис. 7.4).

Для обеспечения контакта шариков при контроле также должно выполняться условие, при котором $D_0 + 4r_{\text{ш}} < D_d$ или $D_d > D$, где D — расстояние по наружным поверхностям диаметрально расположенных шариков. В этом случае центры O и O_1 смещаются относительно друг друга на величину e в горизонтальной плоскости и на величину ε_6 в вертикальной плоскости. При установке эталона на оправку имеем систематическую погрешность $\Delta_{\text{н}}$ (положение 2 на рис. 7.4), являющуюся постоянной величиной, которая может быть установлена и учтена.

Погрешность базирования ε_6 деталей определяется положениями 1 и 3 в зависимости от размеров r_d и D_d :

положение 1 при $r_d = r_{\text{ш}}$ и $D_d = D$. Тогда погрешность базирования $\varepsilon_6 = 0$;

положение 3 при $r_d > r_{\text{ш}}$ и $D_d > D$. В этом случае погрешность базирования

$$\varepsilon'_6 = \sqrt{(r_d - r_{\text{ш}})^2 - e^2},$$

где $e = \frac{(D_0 + 2r_{\text{ш}}) - (D_d - 2r_d)}{2}$, тогда

$$\varepsilon'_6 = \sqrt{(r_d - r_{\text{ш}})^2 - \frac{1}{4}[(D_0 + 2r_{\text{ш}}) - (D_d - 2r_d)]^2}. \quad (7.9)$$

Погрешность положения эталонной детали вычисляют по формуле

$$\Delta_{\text{н}} = \sqrt{(r_{\text{ш}} - r_{\text{ш}})^2 - \frac{1}{4}[(D_0 + 2r_{\text{ш}}) - (D_{\text{н}} - 2r_{\text{ш}})]^2}. \quad (7.10)$$

Результирующая погрешность базирования детали с учетом погрешности положения эталонной детали

$$\varepsilon_6 = \varepsilon'_6 - \Delta_{\text{н}}.$$

Пренебрегая бесконечно малыми величинами, после преобразований получим

$$\varepsilon_{\delta} = \frac{1}{2\Delta_{\text{вт}}} \left[(r_{\text{вн}} - r_{\text{вн}}) - \frac{1}{2}(D_{\text{вт}} - D_0) \right] \Delta D + \frac{1}{2\Delta_{\text{вт}}} (D_{\text{вт}} - D_0) \Delta r, \quad (7.11)$$

где $\Delta r = r_{\text{д}} - r_{\text{вт}}$ и $\Delta D = D_{\text{д}} - D_{\text{вт}}$.

Установка по гладкой цилиндрической оправке. Положение детали по длине (рис. 7.5, а) определяется буртом оправки, а ее проворачивание предупреждают затяжкой гайки с другого торца.

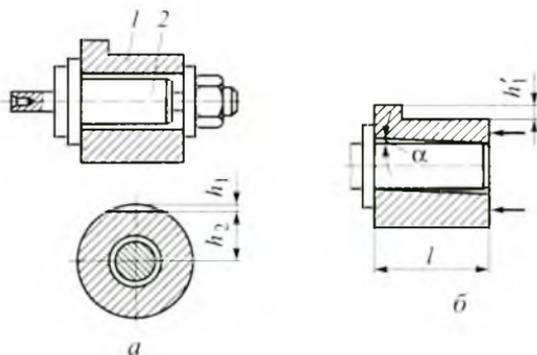


Рис. 7.5. Установка по гладкой цилиндрической оправке:

1 — контролируемая деталь; 2 — оправка

Погрешности базирования для этой схемы выражаются в смещении детали в радиальном направлении на величину зазора между поверхностями сопряжения. Если базовый торец детали не перпендикулярен оси отверстия (рис. 7.5, б), то возможен перекосяк оси отверстия по отношению к оси оправки на угол α .

Если базовый торец перпендикулярен оси отверстия, то погрешность базирования при контроле размеров h_1 и h_2 находят по формулам

$$\varepsilon_{\delta_{h_1}} = \frac{T_{\text{нр}}}{2} + 2e + T_{\text{вн}} + T_{\text{отп}} + 2\Delta; \quad (7.12)$$

$$\varepsilon_{\delta_{h_2}} = 2e + T_{\text{вн}} + T_{\text{отп}} + 2\Delta, \quad (7.13)$$

где $T_{\text{нр}}$ — допуск на наружный диаметр детали; e — эксцентриситет

тет наружной поверхности относительно оси отверстия; $T_{\text{вн}}$ — допуск на изготовление базового отверстия детали; $T_{\text{он}}$ — допуск на изготовление диаметра гладкой оправки; Δ — минимальный радиальный зазор при посадке на оправку.

Если базовый торец не перпендикулярен оси отверстия, то

$$\varepsilon_{\text{бн}} = \frac{T_{\text{нр}}}{2} + 2e + T_{\text{вн}} + T_{\text{он}} + 2\Delta - 2l \operatorname{tg} \alpha, \quad (7.14)$$

где l — длина детали.

Установка детали на гладкой оправке со срезанной площадкой (рис. 7.6, а). Данный тип оправок применяют для контроля отклонений от соосности внутренней и наружной поверхностей детали. Для обеспечения постоянного контакта втулки с оправкой l при ее повороте на 360° предусмотрена пластинчатая пружина 2. При наличии площадки C отверстие втулки имеет постоянный контакт по образующим в точках A и B (рис. 7.6, б).

При такой конструкции оправок непосредственное изменение величины эксцентриситета e осей втулок заменяется измерением разности значений h_0 при повороте детали на 360° . Следует выбирать возможно меньшую ширину плоской поверхности C так, чтобы угол между точками A и B находился в пределах значений $60^\circ \dots 90^\circ$.

Рассмотрим возможные случаи погрешности базирования втулок на оправках:

отверстие во втулке не имеет отклонения формы;

отверстие во втулке имеет отклонение формы (овальность).

При повороте втулки на 360° на оправке центр ее наружной окружности последовательно проходит положения O_1 и O_2 (см. рис. 7.6, б). При этом $O_1O_2 = 2e$. Разность максимального и минимального показаний индикатора при повороте втулки с круглым отверстием составляет

$$h'_0 - h = 2e. \quad (7.15)$$

Таким образом, при измерении величины $2e$ втулок с правильной геометрической формой отверстия погрешность их установки на оправке рассматриваемой конструкции равна нулю, т. е. $\varepsilon_6 = 0$.

тельный стержень индикатора, расположенный в плоскости C ; h_0^* — то же для радиус-вектора ρ_1 (рис. 7.6, в).

Установка на разжимные оправки, оснащенные двумя неподвижными и одним подвижным кулачками (рис. 7.7). Данную схему применяют при установке деталей типа тел вращения для контроля отклонения от перпендикулярности торцев, отклонения от параллельности осей и т. д. Деталь с отверстием устанавливают на неподвижные кулачки 1 , выполненные как единое целое с оправкой. При установке необходимо поджимать деталь торцом к торцу кольца 3 .

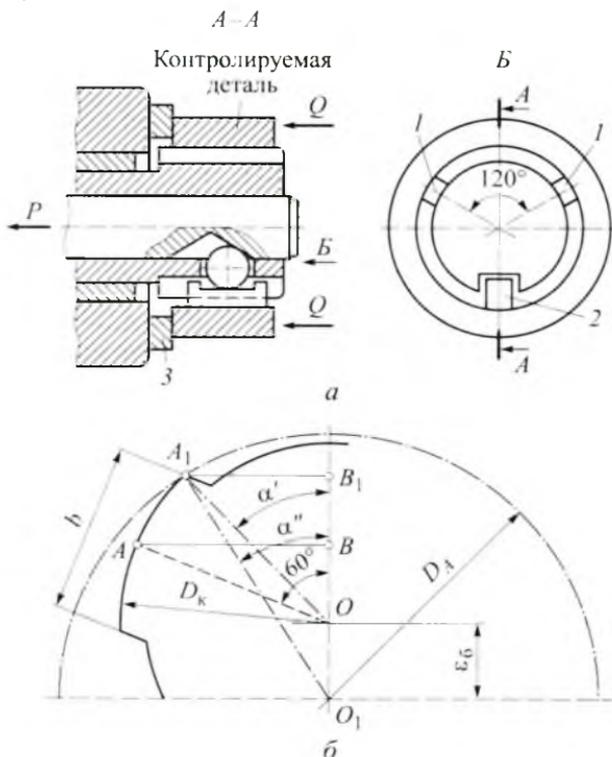


Рис. 7.7. Установка на разжимной оправке с двумя неподвижными и одним подвижным кулачками:
a — общий вид; *б* — расчетная схема

Разжимные оправки данной конструкции целесообразно применять для деталей, имеющих отверстие $\varnothing 30 \dots 100$ мм высокой

точности. Диаметры D_k выполняют на $0,01 \dots 0,02$ мм меньше минимального диаметра D_d отверстий деталей, благодаря чему и обеспечивается контакт в точке A_1 . При установке деталей с отверстиями диаметром $50 \dots 80$ мм разность между диаметрами D_d и D_k может достигать величины, равной $0,038$ мм, для отверстий качества IT6 и $0,05$ мм для отверстий с допуском IT7.

Центры отверстий проверяемых деталей будут всегда смещаться вниз относительно центра кулачков оправки на величину ε_6 . Обычно ширина кулачков $b = 15 \dots 20$ мм.

Если O_1 — центр отверстия контролируемой детали, O — центр кулачков оправки, то погрешность базирования ε_6 деталей составляет

$$\varepsilon_6 = O_1 B_1 - OB_1. \quad (7.17)$$

Величины OB_1 и $O_1 B_1$ определяем из геометрических соотношений:

$$A_1 B_1 = O_1 B_1 \operatorname{tg} \alpha'' = (OB_1 + \varepsilon_6) \operatorname{tg} \alpha': \quad A_1 B_1 = OB_1 \operatorname{tg} \alpha'.$$

Тогда

$$\varepsilon_6 = \frac{OB_1 (\operatorname{tg} \alpha' - \operatorname{tg} \alpha'')}{\operatorname{tg} \alpha''} = \frac{A_1 B_1 (\operatorname{tg} \alpha' - \operatorname{tg} \alpha'')}{\operatorname{tg} \alpha' \operatorname{tg} \alpha''}. \quad (7.18)$$

Погрешность базирования ε_6 можно также выразить через величину радиального зазора $\Delta R = R_d - R_k = (D_d/2) - (D_k/2)$ или

$$\Delta R = \frac{A_1 B_1}{\sin \alpha''} - \frac{A_1 B_1}{\sin \alpha'} = A_1 B_1 \frac{\sin \alpha' - \sin \alpha''}{\sin \alpha' \sin \alpha''}, \quad (7.19)$$

и тогда

$$\varepsilon_6 = \frac{\Delta R (\operatorname{tg} \alpha' - \operatorname{tg} \alpha'') \cos \alpha' \cos \alpha''}{\sin \alpha' - \sin \alpha''}. \quad (7.20)$$

Приближенно можно считать, что $\varepsilon_6 = 1,8 \Delta R$.

Установка на призмы

Установка на гладкие призмы. При измерении отклонения от соосности промежуточных шеек относительно крайних шеек ступенчатые валы в контрольных приспособлениях часто устанавливают крайними шейками на две призмы. Шейки валов имеют не-

которую овальность, которая регламентируется техническими условиями.

Рассмотрим схему установки вала с овальной шейкой в призмах с углом 90° в двух характерных положениях (рис. 7.8).

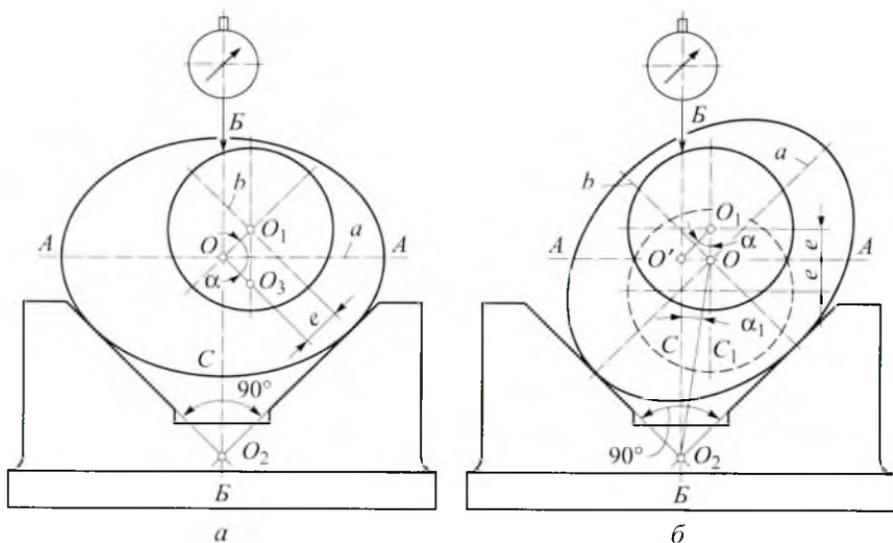


Рис. 7.8. Схемы расположения овальной шейки вала на призме с углом 90° при горизонтальном расположении большой оси эллипса (*а*) и при расположении большой оси эллипса параллельно правой грани призмы (*б*):

O — центр шейки, служащей измерительной базой; *O*₁ — центр промежуточной шейки; *a* — большая полуось эллипса; *b* — малая полуось эллипса; *C* — расстояние от вершины призмы *O*₂ до геометрического центра *O* измерительной базы; *e* — эксцентриситет между шейками

Наличие отклонения формы шейки, служащей измерительной базой, не вызовет погрешности базирования ϵ_6 при измерении отклонения от соосности шеек между собой, если при повороте вала в призмах геометрический центр *O* измерительной базы будет перемещаться по горизонтальной прямой *AA*, а индикатор расположится в вертикальной плоскости *BB* (рис. 7.8, *а*). Тогда центр *O* будет все время находиться на расстоянии *C* от вершины призмы. При установке вала в призмах с углом 90° , а индикатора в плоскости *BB* это требование удовлетворяется, так как величина ϵ_6 весьма незначительно отличается от нуля.

При повороте вала на угол 45° большая ось овальной шейки вала займет положение, параллельное грани призм, ее геометрический центр O переместится вправо из положения O' в положение O (рис. 7.8, б). Расстояние от геометрического центра O овальной шейки до вершины призм O_2 будет равно C_1 . При сопоставлении рис. 7.8 а и б видно, что $OO' = e \operatorname{tg} \alpha_1$ — величина весьма малая, поэтому можно записать $\operatorname{tg} \alpha_1 \approx 0$.

Следовательно, погрешность базирования $\epsilon_{\bar{b}}$ валов с овальными шейками на призмы с углом 90° для измерения отклонения от соосности e шеек между собой близка к нулю, т. е. $\epsilon_{\bar{b}} \equiv 0$.

Установка на роликовые призмы. Для уменьшения износа базовых поверхностей призм их часто выполняют в виде роликов (рис. 7.9). Вал крайними шейками l устанавливают на две пары роликов 2 и 3, которые вращаются на осях 4. Ролики выполняют с радиальным биением, величина которого меньше или равна $0,005 \dots 0,001$ мм.

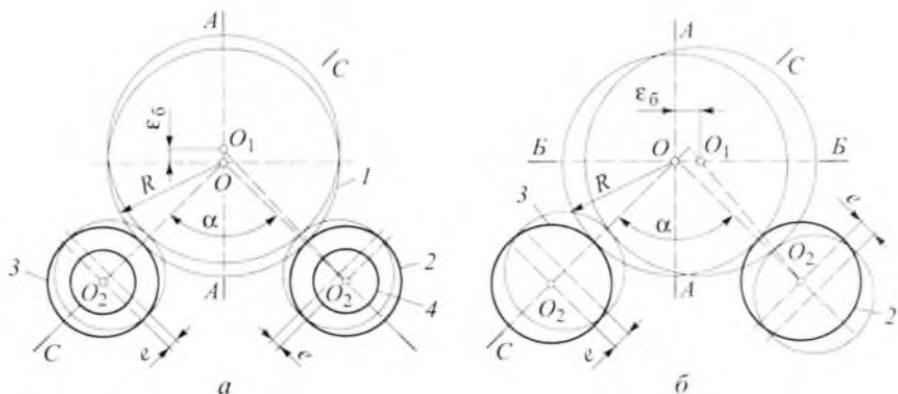


Рис. 7.9. Схемы установки шейки вала на ролики при направлении их эксцентриситета:

a — к центру вала; *б* — в разные стороны

При установке валов на роликовые призмы возможны два основных предельных случая, когда:

а) эксцентриситеты e роликов 2 и 3 направлены к центру вала (рис. 7.9, а);

б) эксцентриситет e ролика 3 направлен к центру, а ролика 2 — от центра вала (рис. 7.9, б).

Учитывая высокую точность изготовления роликов, можно считать, что величина радиального биения $2e$ всех роликов данного приспособления одинакова.

Для случая, когда эксцентриситеты e всех роликов направлены к центру вала, при $\alpha = 90^\circ$ погрешность базирования в плоскости AA

$$\varepsilon_{\bar{b}} = \frac{e}{\cos \alpha/2} \cong 1,41e. \quad (7.21)$$

Погрешность базирования $\varepsilon_{\bar{b}}$ в плоскости BB также определяют по формуле (7.21). При повороте роликов 2 и 3 на 180° , т. е. когда значения их эксцентриситетов меняют знаки, погрешность базирования на роликовые призмы в плоскостях AA и BB удваивается, тогда

$$\varepsilon_{\bar{b} \max} = \frac{2e}{\cos \alpha/2} \cong 2,83e. \quad (7.22)$$

Погрешность базирования при установке на роликовые призмы будет оказывать наименьшее влияние на результаты измерений, если контроль проводят в плоскости CC , расположенной под углом 45° к плоскостям AA и BB .

7.1.2. Определение погрешности закрепления ε , детали

Погрешность закрепления можно определять по аналитическим зависимостям, рассчитывая предельные значения смещения детали на опорах под действием прилагаемой силы. Однако этот метод крайне трудоемок и не универсален. Зажимные устройства в контрольных приспособлениях развивают небольшие силы, при этом величина ε , будет минимальной. Установка на разжимные оправки приводит к погрешности центрирования, сведения о которой подробно изложены в [2, гл. 2]. Для основных видов разжимных оправок (механизмов) можно воспользоваться данными, приведенными в табл. 7.1.

Таблица 7.1

Величина погрешности закрепления ϵ_1 для основных типов разжимных оправок

Тип разжимной оправки	Состояние базовой поверхности детали	Погрешность закрепления ϵ_1 при поперечных размерах детали, мм					
		6—10	10—18	18—30	30—50	50—80	80—120
Установка в цанге	Предварительно обработанная Чисто обработанная	0,009	0,01	0,013	0,015	0,018	—
		0,004	0,005	0,007	0,008	0,009	—
Установка в пневмона- троне	Предварительно обработанная Чисто обработанная	0,008	0,01	0,013	0,016	0,018	0,02
		0,004	0,005	0,007	0,008	0,01	0,012
Установка на гидропласт- массовые разжимные оправки	Чисто обработанная	0,005—0,01					
Установка в мембранные патроны	Чисто обработанная	0,003—0,005					
Установка на гофрирован- ные втулки	Чисто обработанная	0,001—0,002					

7.1.3. Определение погрешности изготовления $\epsilon_{из1}$ деталей приспособления

При определении погрешности изготовления элементов приспособления следует отдельно учитывать погрешности изготовления базовых поверхностей приспособления для установки контролируемой детали $\epsilon_{из1}$ и погрешности взаимного расположения этих элементов для установки измерительных приборов $\epsilon_{из2}$.

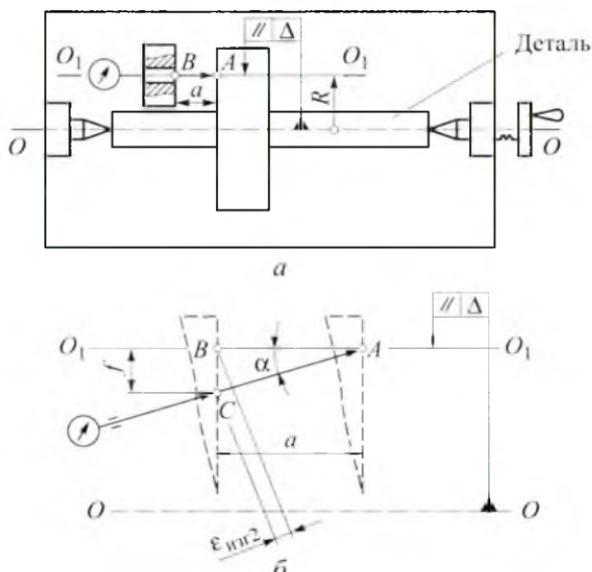


Рис. 7.10. Погрешность расположения базовых поверхностей для установки детали относительно положения мерительного инструмента:
 а — схема контроля детали; б — расчетная схема для определения погрешности $\epsilon_{из2}$

Рассмотрим расчет погрешности $\epsilon_{из2}$. В ходе обработки корпуса контрольного приспособления ось отверстия O_1O_1 (рис. 7.10) для установки индикатора была выполнена с отклонением от параллельности к оси OO на величину $\Delta/100$. Из построений на схеме (рис. 7.10, б) получаем

$$\epsilon_{из2} = AC - AB = \sqrt{a^2 + f^2} - a, \quad (7.23)$$

где a — перемещение шупа индикатора; $f = a \operatorname{tg} \alpha$; $\alpha = \Delta/100$ — допустимое отклонение от параллельности рассматриваемых осей.

Тогда окончательно после подстановки записываем

$$\epsilon_{\text{ин}2} = a \left(\sqrt{\operatorname{tg}^2 \alpha + 1} - 1 \right), \quad (7.24)$$

Общая погрешность изготовления установочных элементов приспособления

$$\epsilon_{\text{ин}} = \sqrt{\epsilon_{\text{ин}1}^2 + \epsilon_{\text{ин}2}^2}. \quad (7.25)$$

Значения $\epsilon_{\text{ин}1}$ и $\epsilon_{\text{ин}2}$ приведены в таблицах [2, гл. 2].

7.1.4. Определение погрешности передаточных устройств приспособлений

Погрешность передаточных устройств Δ_p обусловлена совокупным влиянием целого ряда кинематических погрешностей. Наиболее значимые из них следующие.

1. *Погрешность, связанная с неточностью изготовления длины плеч рычагов Δ_{p1} .* На длину плеч рычагов назначают допуск $\pm(0,05 \dots 0,1)$ мм [2]. При этом, когда $l_1 = l_{\max}$ и $l_2 = l_{\min}$ (рис. 7.11), возникает погрешность, обусловленная неточностью изготовления длин плеч рычагов,

$$\Delta_{p1} = a_1 - a_2 = (l_1 - l_2) \sin \alpha, \quad (7.26)$$

где a_1 и a_2 — перемещения плеч рычага.

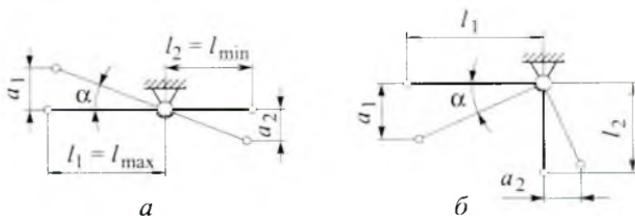


Рис. 7.11. Схемы перемещений прямых (а) и угловых (б) рычагов при неточном изготовлении длины их плеч

Приняв $\sin \alpha = a_1/l_1$, получим

$$\Delta_{p1} = \left(1 - \frac{l_{\min}}{l_{\max}} \right) a_1. \quad (7.27)$$

Погрешность Δ_{p1} наиболее ощутима у рычагов с передаточным отношением $k > 1$. Более подробно описано в [2, гл. 2].

2. *Погрешность, обусловленная наличием зазора между отверстием и осью рычага Δ_{p2} .* Даже при небольшой абсолютной величине зазор S оказывает существенное влияние на точность работы передаточного устройства. Согласно схеме, приведенной на рис. 7.12, величину погрешности можно вычислить как

$$\Delta_{p2} = \frac{S(l_1 + l_2)}{l_1} = S \left(1 + \frac{l_2}{l_1} \right) = S(1 + k), \quad (7.28)$$

где $k = l_2/l_1$ — передаточное отношение системы.

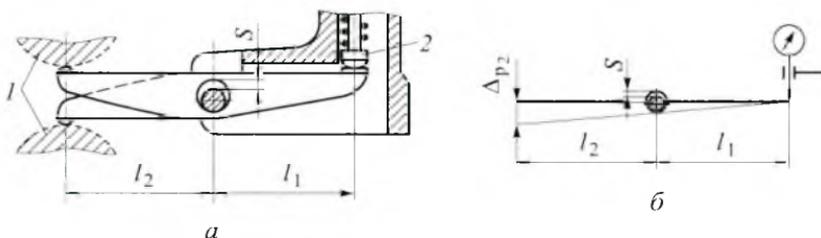


Рис. 7.12. Схемы для определения погрешности, вызываемой наличием зазора между отверстием и осью рычага:

1 — деталь; 2 — индикатор

Зазор S оказывает влияние даже при $k = 1$. В случае если $S = 0,003 \dots 0,005$ мм (обычно $S < 0,015$ мм), $\Delta_{p2} > 0,006 \dots 0,01$ мм.

3. *Погрешность, возникающая в результате непропорциональности между линейным перемещением измерительного стержня и угловым перемещением рычага Δ_{p3} .* Обычно в передачах одно плечо рычага перемещает измерительный стержень индикатора, совершающий поступательное движение, в то время как само плечо поворачивается на угол α (рис. 7.13, а).

Линейное перемещение шупа индикатора $a = l \operatorname{tg} \alpha$. Разложив $\operatorname{tg} \alpha$ в ряд Тейлора, получим

$$\operatorname{tg} \alpha = \alpha + \frac{\alpha^3}{3} + \frac{2\alpha^5}{15} + \dots$$

где α — угол, рад.

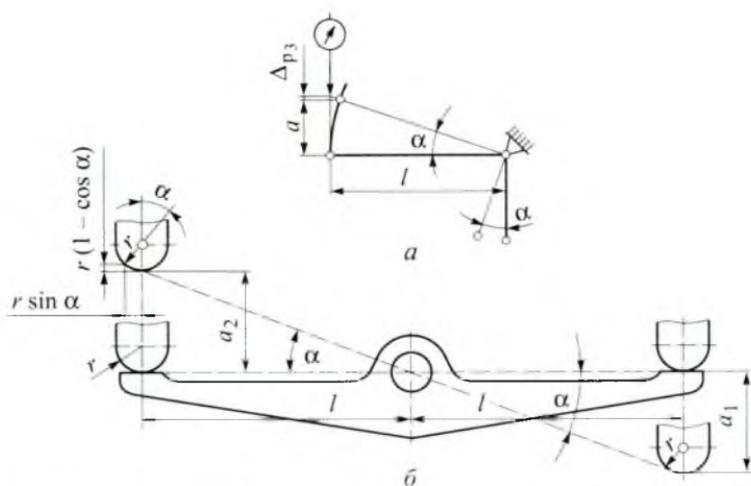


Рис. 7.13. Расчетные схемы для определения Δ_{p3} (а) и Δ_{p4} (б)

Поскольку $\alpha < 1$, то, пренебрегая величинами пятого порядка и выше, получим $\operatorname{tg} \alpha = \alpha + \frac{\alpha^3}{3}$. Тогда

$$a = l \operatorname{tg} \alpha = l \alpha + l \frac{\alpha^3}{3},$$

откуда

$$\Delta_{p3} = l \frac{\alpha^3}{3}. \quad (7.29)$$

4. Погрешность, вызываемая смещением точки контакта сферического наконечника при повороте плоского рычага Δ_{p4} . Рабочие концы плеч рычагов имеют точечный контакт со стержнем индикатора или с контролируемой поверхностью (рис. 7.13, б), где радиус $r = 2 \dots 3$ мм. В этом случае неизбежно появление погрешности Δ_{p4} , обусловленной смещением точки контакта, так как в ходе поворота рычага последняя перемещается по сфере радиусом r . При повороте рычага на угол α контакт плеч будет различным на обоих концах рычага. Для равноплечего рычага ($l_1 = l_2$) погрешность находят как разность:

$$\Delta_{p4} = \frac{a_2}{a_1} - 1, \quad (7.30)$$

где

$$a_2 = l \operatorname{tg} \alpha + r \left(\sqrt{1 - \operatorname{tg}^2 \alpha} - 1 \right);$$

$$a_1 = l \operatorname{tg} \alpha - r \left(\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha} - 1 \right).$$

5. *Погрешность прямой передачи* Δ_{ps} . Прямая передача (рис. 7.14) играет роль буфера для предохранения индикаторов от резких толчков и ударов. Причиной появления погрешности Δ_{ps} является зазор между стержнем и отверстием и смещение оси измерительного стержня индикатора на величину e .

Ось индикатора

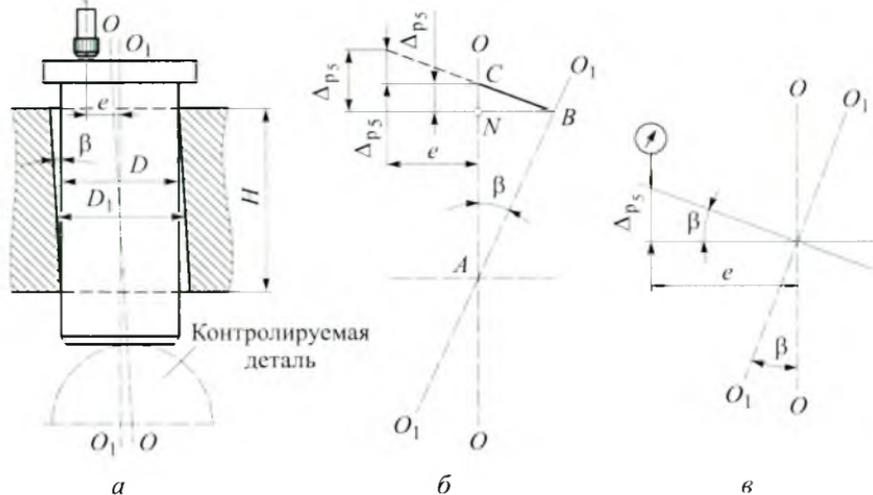


Рис. 7.14. Схема прямой передачи (а) и расчетные схемы для определения ее погрешности (б, в)

При перемещении стержня по направлению оси O_1O_1 на величину AB (рис. 7.14, б) стержень индикатора пройдет путь, равный AC . Тогда

$$\Delta_{ps}' = AC - AB = \frac{AB}{\cos \beta} - AB = AB \left(\frac{1}{\cos \beta} - 1 \right), \quad (7.31)$$

где $\operatorname{tg} \beta = \frac{S_{B-N}}{H}$; $S_{B-N} = D_1 - D$.

Как правило, $AB \approx a$, где a — контролируемая величина.

В процессе установки индикатора всегда наблюдаются смещение оси его щупа относительно оси промежуточного стержня на величину e и поворот этого стержня на угол β в направляющей втулке (рис. 7.14, в):

$$\Delta''_{p5} \cong e \operatorname{tg} \beta = (0,2\dots 0,3) \operatorname{tg} \beta. \quad (7.32)$$

Суммарное перемещение щупа индикатора в направлении оси $O—O$ (см. рис. 7.14, б) под влиянием погрешностей Δ'_{p5} и Δ''_{p5} составит:

$$\Delta_{p5} = \Delta'_{p5} + \Delta''_{p5} = a \left(\frac{1}{\cos \beta} - 1 \right) + (0,2\dots 0,3) \operatorname{tg} \beta. \quad (7.33)$$

Общую погрешность передаточных устройств после расчета всех ее составляющих вычисляют по формуле

$$\Delta_p = \sqrt{\Delta_{p1}^2 + \Delta_{p2}^2 + \Delta_{p3}^2 + \Delta_{p4}^2 + \Delta_{p5}^2}. \quad (7.34)$$

7.1.5. Определение погрешности изготовления эталона Δ_{II} и погрешности измерительного прибора Δ_{II}

Погрешность изготовления эталонной детали Δ , определяется точностью размера, формы и взаимного расположения элементов данной детали [2, табл. 2.7]. Порядок расчета кинематической погрешности показывающего прибора Δ_{II} подробно изложен в справочной литературе [1].

Общую погрешность контрольного приспособления $\Delta_{мет}$ вычисляют по формуле (7.2) и сравнивают с допустимым значением $[\Delta]_{изм} \geq \Delta_{мет}$ или

$$\sqrt{\varepsilon^2 + \Delta_p^2 + \Delta_{II}^2 + \Delta_{изд}^2} \leq (0,2\dots 0,35)\Delta_{изд}.$$

Поскольку общая погрешность контрольного приспособления $\Delta_{мет}$ составляет 20...35 % от допуска на изготовление изделия, то отбраковку деталей в этом приспособлении производят по величине, которую рассчитывают по формуле $\Delta_{кон} = \Delta_{изд} - \Delta_{мет}$.

7.2. ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

Пример 7.1. Сделать расчет точности контрольного приспособления (рис. 7.15) для проверки отклонения от соосности диаметров $38^{+0,027}$ и $62^{-0,03}$, если допустимое отклонение не должно превышать 0,05 мм на базовой длине $L = 150$ мм.

Необходимо назначить основные требования на установочные элементы приспособления, выбрать точность индикатора, параметров рычажной и прямой передач. Все выбираемые параметры должны быть обоснованы.

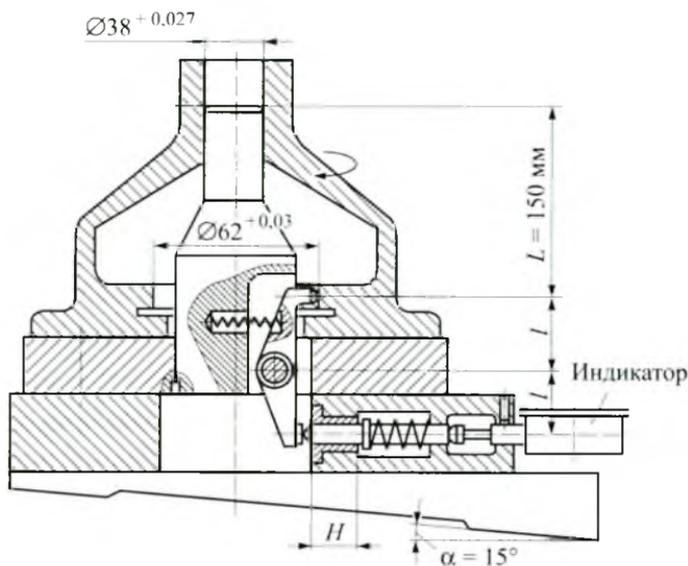


Рис. 7.15. Контрольное приспособление для измерения отклонения от соосности двух отверстий $\varnothing 38^{+0,027}$ и $\varnothing 62^{-0,03}$

Решение. Определяем допустимую погрешность контрольного приспособления по формуле

$$[\Delta]_{\text{изм}} = (0,2 \dots 0,35) \Delta_{\text{изд.}}$$

Поскольку $\Delta_{\text{изд.}} = 0,05$ мм, что соответствует качеству IT10, то допустимая погрешность данного приспособления

$$[\Delta]_{\text{изм}} = 0,3 \cdot 0,05 = 0,015 \text{ мм.}$$

Общую погрешность метода контроля $\Delta_{\text{мет}}$ найдем, если будем знать ее составляющие:

погрешность положения контролируемой детали в приспособлении ϵ ;

погрешность передаточных устройств приспособления Δ_p ;

погрешность эталонной детали $\Delta_{\text{э}}$, служащей для настройки приспособления;

погрешность, вызываемую неточностью показаний прибора $\Delta_{\text{п}}$.

Рассмотрим подробно величину каждой составляющей.

Погрешность положения контролируемой детали в приспособлении ϵ рассчитываем по формуле

$$\epsilon = \sqrt{\epsilon_6^2 + \epsilon_1^2 + \epsilon_{\text{изг}}^2},$$

где ϵ_6 — погрешность базирования; ϵ_1 — погрешность закрепления; $\epsilon_{\text{изг}}$ — погрешность, обусловленная неточностью изготовления деталей приспособления, сборки, регулировки и износа его элементов.

В данном приспособлении деталь устанавливают по отверстию диаметром $38^{+0,027}$ и опирают на опорную базовую плоскость.

Поскольку основание приспособления выполнено с наклоном к горизонтальной плоскости под углом $\alpha = 15^\circ$, то под действием собственного веса деталь сместится по базовой плоскости в сторону наклона и зазор всегда выбирают в сторону, противоположную наклону. Поэтому установочная база (по $\varnothing 38$) будет постоянной, наличие зазора в данном соединении не влияет на погрешность базирования, так как индикатор и рычажная система будут находиться в той же плоскости, т. е. установочная и измерительная базы совпадут и погрешность базирования $\epsilon_6 = 0$.

Погрешность закрепления детали в приспособлении также отсутствует, так как деталь под действием собственного веса смещается по опорной плоскости и закрепление не требуется, т. е. $\epsilon_1 = 0$.

Погрешность, вызываемая неточностью изготовления деталей приспособления, сборки, регулировки и износа его элементов $\epsilon_{\text{изг}}$, содержит погрешность изготовления базовых поверхностей приспособления для установки контролируемой детали $\epsilon_{\text{изг1}}$ и погреш-

7.2. ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

Пример 7.1. Сделать расчет точности контрольного приспособления (рис. 7.15) для проверки отклонения от соосности диаметров $38^{+0,027}$ и $62^{+0,03}$, если допустимое отклонение не должно превышать 0,05 мм на базовой длине $L = 150$ мм.

Необходимо назначить основные требования на установочные элементы приспособления, выбрать точность индикатора, параметров рычажной и прямой передач. Все выбираемые параметры должны быть обоснованы.

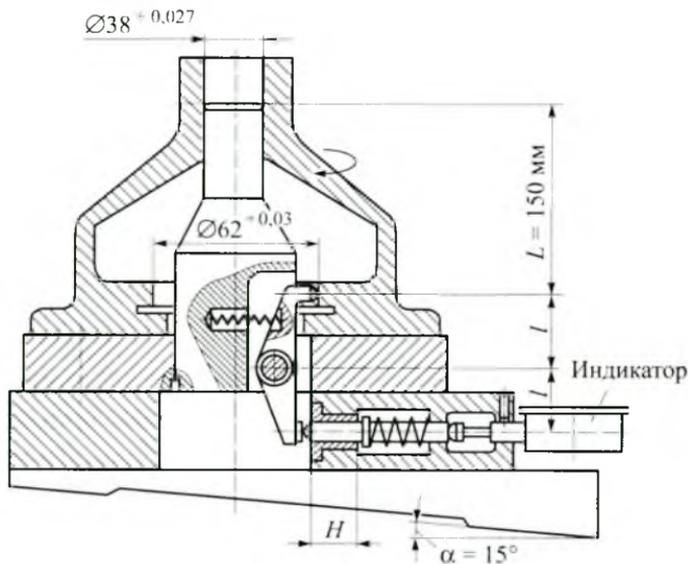


Рис. 7.15. Контрольное приспособление для измерения отклонения от соосности двух отверстий $\varnothing 38^{-0,027}$ и $\varnothing 62^{+0,03}$

Решение. Определяем допустимую погрешность контрольного приспособления по формуле

$$[\Delta]_{\text{изм}} = (0,2 \dots 0,35) \Delta_{\text{изд.}}$$

Поскольку $\Delta_{\text{изд.}} = 0,05$ мм, что соответствует качеству IT10, то допустимая погрешность данного приспособления

$$[\Delta]_{\text{изм}} = 0,3 \cdot 0,05 = 0,015 \text{ мм.}$$

Общую погрешность метода контроля $\Delta_{мет}$ найдем, если будем знать ее составляющие:

погрешность положения контролируемой детали в приспособлении ϵ ;

погрешность передаточных устройств приспособления Δ_p ;

погрешность эталонной детали $\Delta_э$, служащей для настройки приспособления;

погрешность, вызываемую неточностью показаний прибора $\Delta_{п}$.

Рассмотрим подробно величину каждой составляющей.

Погрешность положения контролируемой детали в приспособлении ϵ рассчитываем по формуле

$$\epsilon = \sqrt{\epsilon_б^2 + \epsilon_з^2 + \epsilon_{изп}^2},$$

где $\epsilon_б$ — погрешность базирования; $\epsilon_з$ — погрешность закрепления; $\epsilon_{изп}$ — погрешность, обусловленная неточностью изготовления деталей приспособления, сборки, регулировки и износа его элементов.

В данном приспособлении деталь устанавливают по отверстию диаметром $38^{+0,027}$ и опирают на опорную базовую плоскость.

Поскольку основание приспособления выполнено с наклоном к горизонтальной плоскости под углом $\alpha = 15^\circ$, то под действием собственного веса деталь сместится по базовой плоскости в сторону наклона и зазор всегда выбирают в сторону, противоположную наклону. Поэтому установочная база (по $\varnothing 38$) будет постоянной, наличие зазора в данном соединении не влияет на погрешность базирования, так как индикатор и рычажная система будут находиться в той же плоскости, т. е. установочная и измерительная базы совпадут и погрешность базирования $\epsilon_б = 0$.

Погрешность закрепления детали в приспособлении также отсутствует, так как деталь под действием собственного веса смещается по опорной плоскости и закрепление не требуется, т. е. $\epsilon_з = 0$.

Погрешность, вызываемая неточностью изготовления деталей приспособления, сборки, регулировки и износа его элементов $\epsilon_{изп}$, содержит погрешность изготовления базовых поверхностей приспособления для установки контролируемой детали $\epsilon_{изп1}$ и погреш-

ность взаимного расположения базовых элементов для установки измерительных приборов (индикаторов, миниметров и т. д.) $\epsilon_{изз2}$.

По таблице [2, гл. 2] принимаем величины:

$\epsilon_{изз1} = 0,005 \text{ мм/100 мм}$ — отклонение от перпендикулярности оси оправки приспособления и базовой плоскости (на этих поверхностях базируется контролируемая деталь);

$\epsilon_{изз2} = 0,005 \text{ мм/100 мм}$ — отклонение от параллельности оси индикатора и базовой плоскости, измеряется на 100 мм базовой плоскости (для нашего случая базовая плоскость имеет длину 100 мм).

Тогда

$$\epsilon_{изз} = \sqrt{\epsilon_{изз1}^2 + \epsilon_{изз2}^2} = \sqrt{0,005^2 + 0,005^2} \cong 0,007 \text{ мм.}$$

Общая погрешность положения контролируемой детали

$$\epsilon = \sqrt{\epsilon_0^2 + \epsilon_1^2 + \epsilon_{изз}^2} = \sqrt{0 + 0 + 0,007^2} \approx 0,007 \text{ мм.}$$

Расчет погрешности передаточных устройств приспособления Δ_p проводим в следующей последовательности.

1. Вычисляем погрешность, обусловленную неточностью изготовления плеч рычагов Δ_{p1} . Для этого назначаем длину каждого плеча из конструктивных соображений $l = 35 \text{ мм}$ с допуском $\pm 0,1 \text{ мм}$. Поскольку рычаг равноплечий, то $l_1 = l_2 = 35 \text{ мм}$.

Для равноплечего рычага по формуле (7.27) получаем

$$\Delta_{p1} = \left(1 - \frac{l_{\min}}{l_{\max}}\right) a,$$

где $a = 0,05 \text{ мм}$ — контролируемая величина.

Тогда

$$\Delta_{p1} = \left(1 - \frac{l_{\min}}{l_{\max}}\right) a = \left(1 - \frac{34,9}{35,1}\right) \cdot 0,05 = 0,0003 \text{ мм.}$$

2. Определяем погрешность, вызываемую наличием зазора между отверстием и осью рычага Δ_{p2} . Согласно формуле (7.28)

$\Delta_{p2} = S(1+k)$. В сопряжении ось — отверстие после притирки этих деталей друг с другом принимаем зазор S равным $0,005 \text{ мм}$. В этом случае $\Delta_{p2} = 0,005(1+1) = 0,01 \text{ мм}$.

3. Погрешность, возникающую в результате непропорциональности между линейными перемещениями измерительного стержня и угловым поворотом рычага Δ_{p3} , находим по формуле (7.29):

$$\Delta_{p3} = l \frac{\alpha^3}{3},$$

где α — угол поворота рычага при измерении; $a = 0,05$ мм; $l = 35$ мм — плечо.

Тогда

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{a}{l} \cong \frac{0,05}{35} \cong 0,0014,$$

откуда $\alpha = \operatorname{arctg} 0,0014 = 0,001$ рад.

Подставляем вычисленные значения в формулу для определения Δ_{p3} :

$$\Delta_{p3} = \frac{35(0,001)^3}{3} \approx 1,2 \cdot 10^{-8} \text{ мм.}$$

4. Рассчитываем погрешность, вызываемую смещением точки контакта сферического наконечника при повороте плоского рычага Δ_{p4} . Для равноплечих рычагов погрешность Δ_{p4} можно найти, определив по формуле (7.30) величины a_1 и a_2 .

Принимаем $r = 2$ мм — радиус сферической поверхности толкателя, который находится в контакте с плоским концом рычага, тогда

$$a_1 = l \operatorname{tg} \alpha - r \left(\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha} - 1 \right) = 35 \cdot 0,0014 - 2 \left(\sqrt{1 + 0,0014^2} - 1 \right) \cong \\ \cong 0,0490 \text{ мм;}$$

$$a_2 = l \operatorname{tg} \alpha + r \left(\sqrt{1 - \operatorname{tg}^2 \alpha} - 1 \right) = 35 \cdot 0,0014 + 2 \left(\sqrt{1 - 0,0014^2} - 1 \right) \cong \\ \cong 0,0490 \text{ мм;}$$

$$\Delta_{p4} \frac{a_2}{a_1} - 1 = \frac{0,0490}{0,0490} - 1 = 0 \text{ мм.}$$

5. Вычисляем погрешность прямой передачи. Пусть длина направляющей втулки $H = 20$ мм, а зазор в соединении втулка — ось после притирки принимаем $S_{в-о} = 0,006$ мм.

Тогда $\operatorname{tg} \beta = \frac{0,006}{20} = 0,0003$, откуда $\beta = \operatorname{arctg} 0,0003 = 0,017^\circ$.

Далее определяем погрешность прямой передачи по формуле (7.31):

$$\Delta_{p5} = a \left(\frac{1}{\cos 0,017^\circ} - 1 \right) + 0,3 \operatorname{tg} 0,017^\circ \cong 0,0001 \text{ мм.}$$

Общая погрешность передаточных устройств приспособления составляет:

$$\begin{aligned} \Delta_p &= \sqrt{\Delta_{p1}^2 + \Delta_{p2}^2 + \Delta_{p3}^2 + \Delta_{p4}^2 + \Delta_{p5}^2} = \\ &= \sqrt{0,0003^2 + 0,01^2 + (1,2 \cdot 10^{-8})^2 + 0 + 0,0001^2} = 0,01 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Погрешность изготовления эталона $\Delta_{\text{эт}}$ и погрешность, связанная с неточностью показаний прибора $\Delta_{\text{п}}$. Поскольку в данном приспособлении не предусмотрен эталон, то $\Delta_{\text{эт}} = 0$. В качестве мерителя принимаем индикатор с ценой деления 0,001 мм, для которого $\Delta_{\text{п}} \approx 0,0016 \text{ мм}$ [1].

Определяем общую погрешность метода контроля:

$$\Delta_{\text{мет}} = \sqrt{\varepsilon^2 + \Delta_p^2 + \Delta_{\text{эт}}^2 + \Delta_{\text{п}}^2} = \sqrt{0,007^2 + 0,01^2 + 0 + 0,0016^2} \cong 0,0123 \text{ мм.}$$

Полученное значение погрешности метода контроля ($\Delta_{\text{мет}} = 0,0123 \text{ мм}$) меньше допустимой величины погрешности для данного приспособления $[\Delta]_{\text{изм}} = 0,015 \text{ мм}$, установленной в начале расчетов. Следовательно, выполняется основное условие расчета:

$$[\Delta]_{\text{изм}} = (0,2 \dots 0,35) \Delta_{\text{изд}} \geq \sqrt{\varepsilon^2 + \Delta_p^2 + \Delta_{\text{эт}}^2 + \Delta_{\text{п}}^2},$$

т. е. все ранее выбранные размеры приспособления оставляем без изменения.

Отбраковку деталей при контроле в данном приспособлении следует проводить не по величине допуска $\Delta_{\text{изд}} = 0,05 \text{ мм}$, а по величине

$$\Delta_{\text{кнт}} = \Delta_{\text{изд}} - \Delta_{\text{мет}} = 0,05 - 0,0123 \cong 0,038 \text{ мм,}$$

которую следует внести в контрольную карту технологического процесса.

7.3. ЗАДАЧИ

Задача 7.3.1. Выполнить расчет точности контрольного приспособления с цангой (рис. 7.16), если известны величины допустимых отклонений:

от соосности наружной поверхности D относительно посадочного диаметра D_1 не более 0,08 мм;

от перпендикулярности торца детали B относительно посадочного диаметра D_1 не более 0,1 мм.

Необходимо назначить размеры D , D_1 , l ; выбрать цену деления измерительного прибора.

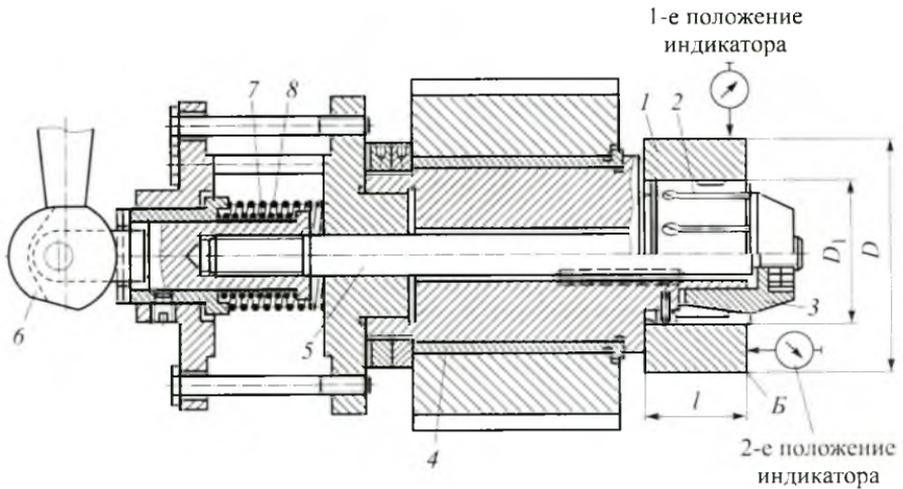


Рис. 7.16. Установочно-зажимной узел с цангой

На цангу 2 устанавливают деталь 1 для измерения биения наружной поверхности относительно отверстия и отклонения от перпендикулярности торца B относительно оси диаметра D_1 (см. рис. 7.16). Цангу разжимают конусной втулкой 3 посредством эксцентрика 6 и штока 5. Вместо эксцентрика может быть применен пневматический патрон или другой механизм. Чтобы обеспечить постоянство разжима цанги эксцентриком 6, сила зажима последнего передается на шток 5 через две пружины 7 и 8. Цанговое устройство вместе с проверяемой деталью вращается во втулке 4.

Задача 7.3.2. Рассчитать точность установочного узла с пружинным зажимом (рис. 7.17) для контроля торцевого биения и длину детали по среднему размеру конуса, если известны величины допустимых отклонений:

торцевое биение поверхности $A \leq 0,06$ мм;

длина детали по среднему размеру конуса $L \pm 0,1$ мм.

Назначить исполнительные размеры на установочный узел (размеры конусов, длину L , посадочные элементы, плечо h и др.), выбрать цену деления индикаторов и точность изготовления эталонной детали для настройки.

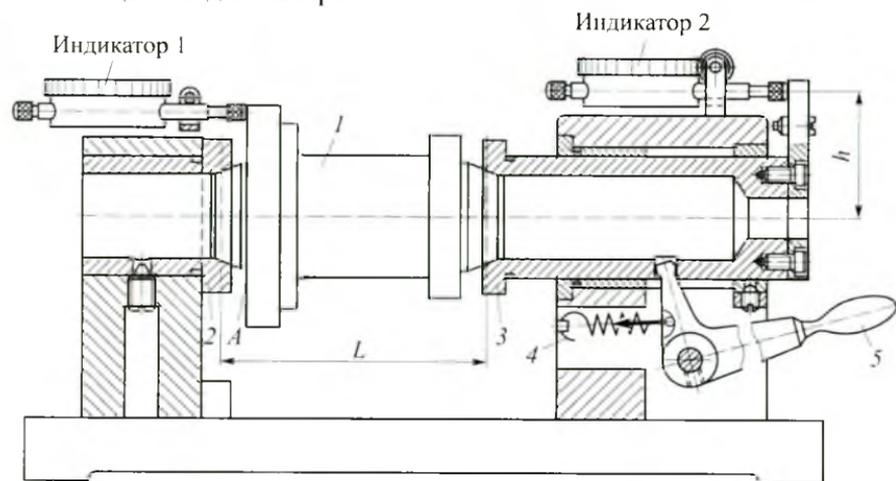


Рис. 7.17. Установочный узел с пружинным зажимом для контроля торцевого биения и длины детали L по среднему размеру конуса

В рассматриваемом узле (см. рис. 7.17) с левой стороны предусмотрена неподвижная опора в виде втулки 2 с внутренним конусным пояском. С правой стороны установлена подвижная опора в виде втулки 3 с таким же пояском. На пояски этих втулок устанавливают детали 1 разных конструкций с конусными буртиками для контроля размеров согласно техническим требованиям. Подвижную втулку 3 отводят рукояткой 5, на которую действует пружина 4.

Задача 7.3.3. Рассчитать точность приспособления (рис. 7.18) для измерения отклонения от перпендикулярности торцев детали

на разжимной оправке с двумя неподвижными и одним подвижным кулачками, если задано допустимое отклонение, не превышающее 0,1 мм.

Назначить исполнительные размеры на деталь (D , D_1 , l) и посадочные размеры приспособления, необходимые для расчетов; выбрать цену деления индикатора, длину втулки прямой передачи и другие параметры.

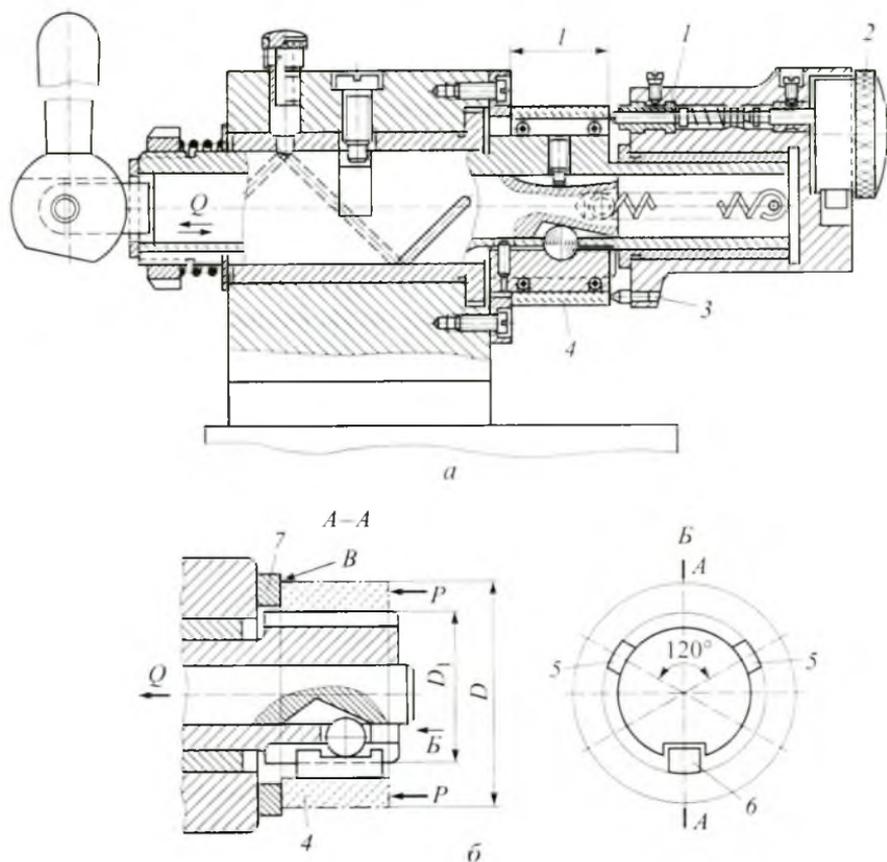


Рис. 7.18. Приспособление для измерения перпендикулярности торцов деталей:

a — общий вид; $б$ — узел установки; 1 — втулка прямой передачи; 2 — индикатор; 3 — упор; 4 — контролируемая деталь; 5 — неподвижные кулачки; 6 — подвижный кулачок; 7 — упорное кольцо

Установочно-разжимные оправки с двумя неподвижными 5 и одним подвижным 6 кулачками применяют для контроля отклонения от перпендикулярности торцев, отклонения от параллельности поверхностей D и D_1 и расстояния l между торцами детали 4.

Подвижный кулачок 6 отжимается с помощью эксцентрикового механизма. При перемещении штока сообщает шарик и подвижному кулачку 6 перемещение вниз, в результате чего на оправке закрепляется проверяемая деталь. Последняя своим отверстием устанавливается на неподвижные кулачки 5, выполненные как единое целое с оправкой. Детали при установке на оправку прижимают торцом B к торцу кольца 7. Такое поджатие часто является обязательным, так как торец B может служить базой, от которой измеряют положение других ее поверхностей.

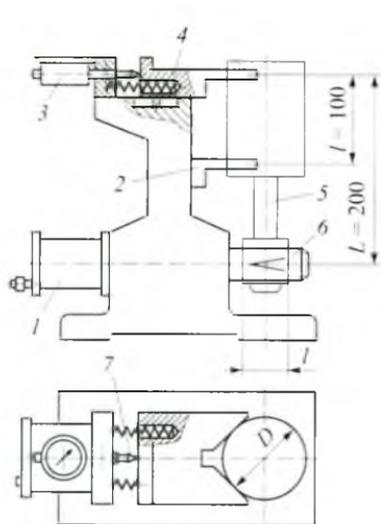


Рис. 7.19. Приспособление для контроля отклонения от перпендикулярности оси шатуна к оси цилиндра в сборе:

1 — пневмоцилиндр; 2 — постоянная призма; 3 — индикатор; 4 — подвижная призма; 5 — измеряемый узел; 6 — разжимная оправка; 7 — щуп индикатора

Задача 7.3.4. Выполнить расчет точности приспособления для контроля отклонения от перпендикулярности оси шатуна к оси цилиндра в сборе (рис. 7.19), если задана допустимая величина $\frac{\Delta}{L} = \frac{0,05}{300}$.

Рассчитать все основные параметры приспособления — прямую передачу, точность призм; назначить точность измерительного прибора, точность разжимной оправки, ее тип и т. д. Назначить размеры на контролируемый узел (D , l), их точность. Остальные размеры назначить самостоятельно.

Измеряемый узел устанавливают на разжимной оправке, работающей от пневмоцилиндра 1, поверхность которого касается постоянной призмы 2. Подвижная призма 4, связанная с индикатором

ром 3, также касается образующей цилиндра. Индикатор устанавливают на нуль. Затем узел 5 переустанавливают с другой стороны на разжимную оправку 6, и индикатор показывает величину отклонения от перпендикулярности.

Задача 7.3.5. Рассчитать точность приспособления для контроля отклонения от перпендикулярности торца к оси отверстия корпусной детали (рис. 7.20), если величина допустимого отклонения от перпендикулярности составляет не более 0,08 мм.

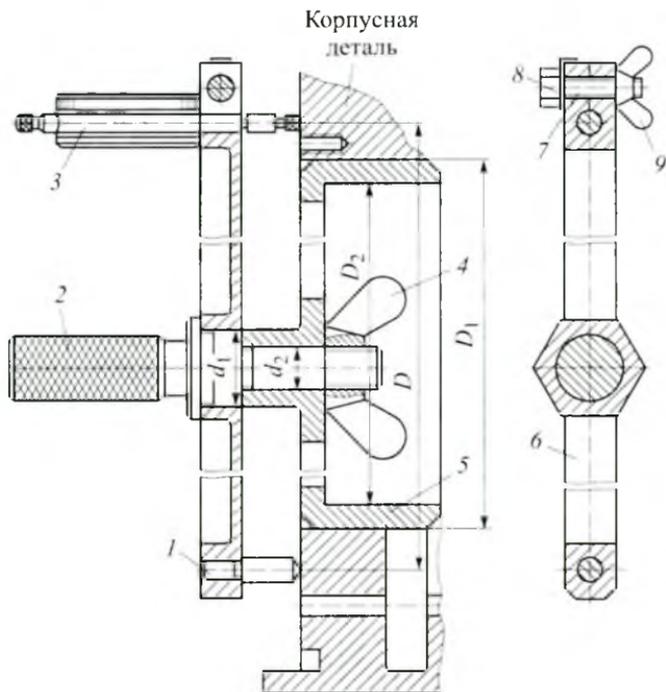


Рис. 7.20. Приспособление для контроля отклонения от перпендикулярности торца к оси отверстия:

1 — штифт; 2 — рукоятка; 3 — индикатор; 4, 9 — гайки; 5 — калибр-пробка; 6 — стержень; 7 — винт; 8 — шайба

Назначить все требования к основным элементам приспособления (D , D_1 , D_2 , d_1 , d_2), выбрать цену деления индикатора 3. Недостающие размеры назначить самостоятельно.

Приспособление (см. рис. 7.20) состоит из калибр-пробки 5, предназначенной для установки ее в отверстие контролируемого

Установочно-разжимные оправки с двумя неподвижными 5 и одним подвижным 6 кулачками применяют для контроля отклонения от перпендикулярности торцев, отклонения от параллельности поверхностей D и D_1 и расстояния l между торцами детали 4.

Подвижный кулачок 6 отжимается с помощью эксцентрикового механизма. При перемещении штока сообщает шарик и подвижному кулачку 6 перемещение вниз, в результате чего на оправке закрепляется проверяемая деталь. Последняя своим отверстием устанавливается на неподвижные кулачки 5, выполненные как единое целое с оправкой. Детали при установке на оправку прижимают торцом B к торцу кольца 7. Такое поджатие часто является обязательным, так как торец B может служить базой, от которой измеряют положение других ее поверхностей.

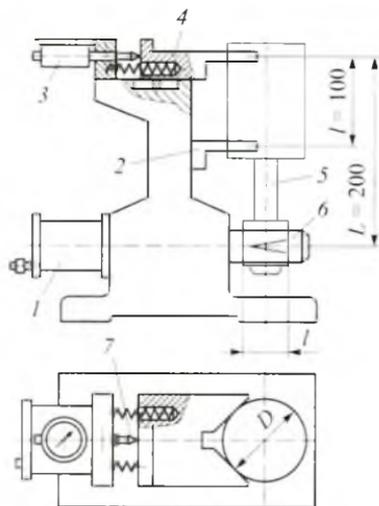


Рис. 7.19. Приспособление для контроля отклонения от перпендикулярности оси шатуна к оси цилиндра в сборе:

1 — пневмоцилиндр; 2 — постоянная призма; 3 — индикатор; 4 — подвижная призма; 5 — измеряемый узел; 6 — разжимная оправка; 7 — шуп индикатора

Задача 7.3.4. Выполнить расчет точности приспособления для контроля отклонения от перпендикулярности оси шатуна к оси цилиндра в сборе (рис. 7.19), если задана допустимая величина $\frac{\Delta}{L} = \frac{0,05}{300}$.

Рассчитать все основные параметры приспособления — прямую передачу, точность призм; назначить точность измерительного прибора, точность разжимной оправки, ее тип и т. д. Назначить размеры на контролируемый узел (D , l), их точность. Остальные размеры назначить самостоятельно.

Измеряемый узел устанавливают на разжимной оправке, работающей от пневмоцилиндра 1, поверхность которого касается постоянной призмы 2. Подвижная призма 4, связанная с индикато-

ром 3, также касается образующей цилиндра. Индикатор устанавливают на нуль. Затем узел 5 переустанавливают с другой стороны на разжимную оправку 6, и индикатор показывает величину отклонения от перпендикулярности.

Задача 7.3.5. Рассчитать точность приспособления для контроля отклонения от перпендикулярности торца к оси отверстия корпусной детали (рис. 7.20), если величина допустимого отклонения от перпендикулярности составляет не более 0,08 мм.

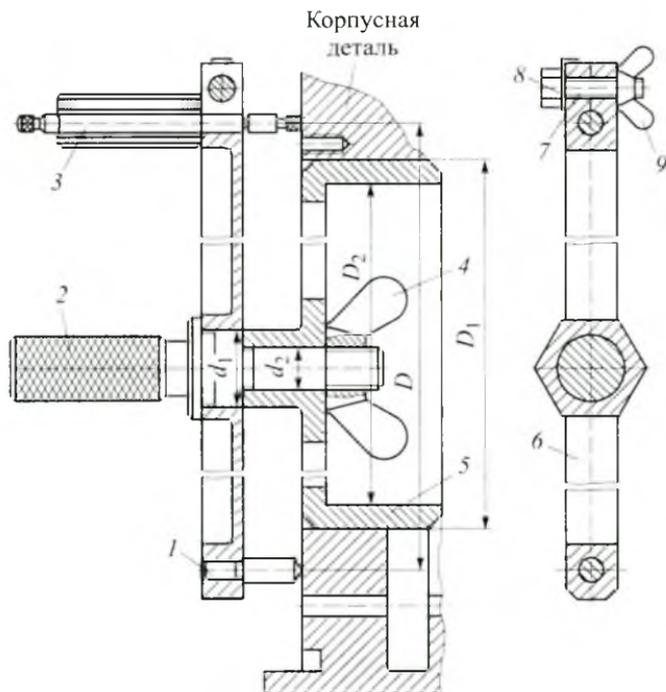


Рис. 7.20. Приспособление для контроля отклонения от перпендикулярности торца к оси отверстия:

1 — штифт; 2 — рукоятка; 3 — индикатор; 4, 9 — гайки; 5 — калибр-пробка; 6 — стержень; 7 — винт; 8 — шайба

Назначить все требования к основным элементам приспособления (D , D_1 , D_2 , d_1 , d_2), выбрать цену деления индикатора 3. Недостающие размеры назначить самостоятельно.

Приспособление (см. рис. 7.20) состоит из калибр-пробки 5, предназначенной для установки ее в отверстие контролируемого

корпуса, рукоятки 2, стержня 6, на одном конце которого закреплена с помощью винта 7, шайбы 8 и гайки 9 измерительная головка индикатора 3. На противоположном конце стержня запрессован штифт 1. Стержень центральным отверстием притерт без люфта на сопрягаемой шейке рукоятки, что обеспечивает вращение стержня на рукоятке без зазора. Это важно для точности измерений при значительных размерах торцов корпусов.

Кроме того, рукоятка 2 неподвижно соединена гайкой 4 с калибр-пробкой 5.

Отклонение от перпендикулярности торца к оси отверстия проверяют путем вращения стержня (один-два оборота) по максимальному показанию измерительной головки. Это показание будет соответствовать удвоенной величине отклонения от перпендикулярности торца к оси отверстия на участке D измерения.

Задача 7.3.6. Выполнить расчет точности контрольного приспособления для измерения величины H подшипниковых колец (рис. 7.21), если допуск на этот размер составляет $\Delta_H = \pm 0,08$ мм.

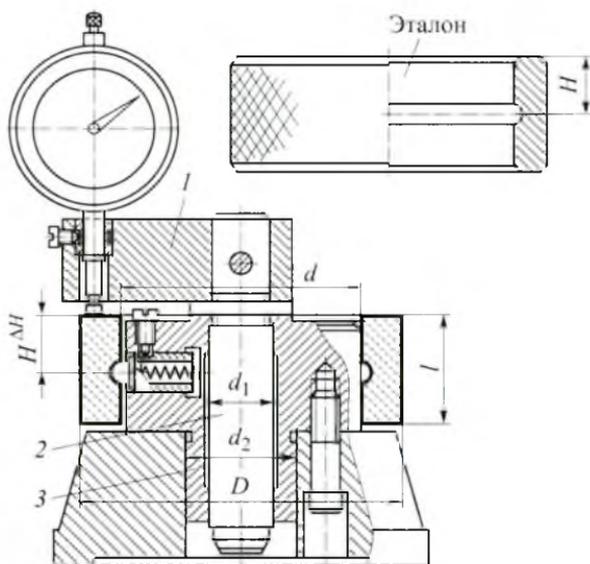


Рис. 7.21. Контрольные приспособления для измерения размера $H^{\Delta H}$ колец

Назначить все основные исполнительные размеры кольца с допусками (D , d , d_1 , d_2 , l , H), посадочные размеры приспособления (с отклонениями); выбрать цену деления мерителя, а также точность изготовления эталона для настройки приспособления. Недостающие размеры назначить самостоятельно.

Приспособление для измерения размера H колец предварительно настраивают по эталону. Затем эталон убирают и на его место устанавливают контролируемые кольца. Индикатор установлен на рычаге 1 , постоянно закрепленном на оси 2 , которую центрируют по посадке d_1 с минимальным зазором в базовой детали 3 для установки колец.

Задача 7.3.7. Выполнить расчет точности контрольного приспособления (рис. 7.22) для измерения расстояния l между осями, если допустимое отклонение $\Delta l = \pm 0,12$ мм. Назначить основные

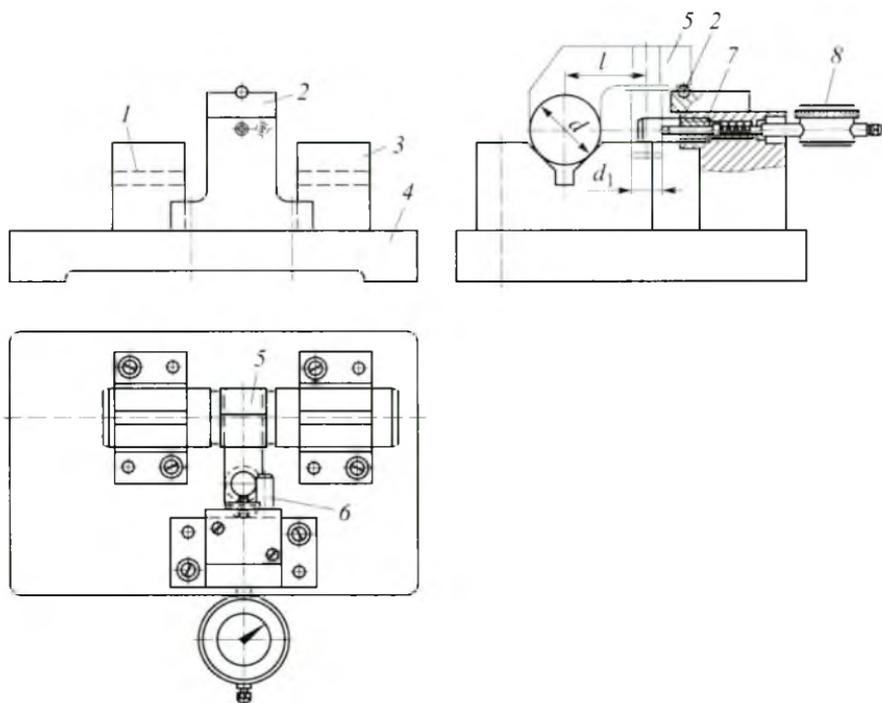


Рис. 7.22. Контрольное приспособление с установкой деталей на призмы и дополнительную опору для измерения расстояния l^N между осями

исполнительные размеры детали с отклонениями (d , d_1 , l) при установке в приспособление; выбрать цену деления индикатора, параметры прямой передачи, а также точность изготовления эталона для настройки приспособления. Недостающие размеры назначить самостоятельно.

Проверяемые детали устанавливают на призмы 1 и 3 (см. рис. 7.22), смонтированные на плите 4. Каждая деталь опирается на шарик 2, тем самым исключается ее вращение. Осевое перемещение проверяемых деталей ограничивается опорным пальцем 6. На контрольном приспособлении индикатором 8 через прямую передачу 7 измеряют расстояние l между перекрещивающимися осями цилиндрических поверхностей детали. Индикатор 8 настраивают на определенное расстояние между осями по эталону 5.

Задача 7.3.8. Рассчитать точность контрольного приспособления (рис. 7.23) для измерения биения наружной и внутренних поверхностей детали 1, если допустимое биение этих поверхностей составляет не более 0,06 мм.

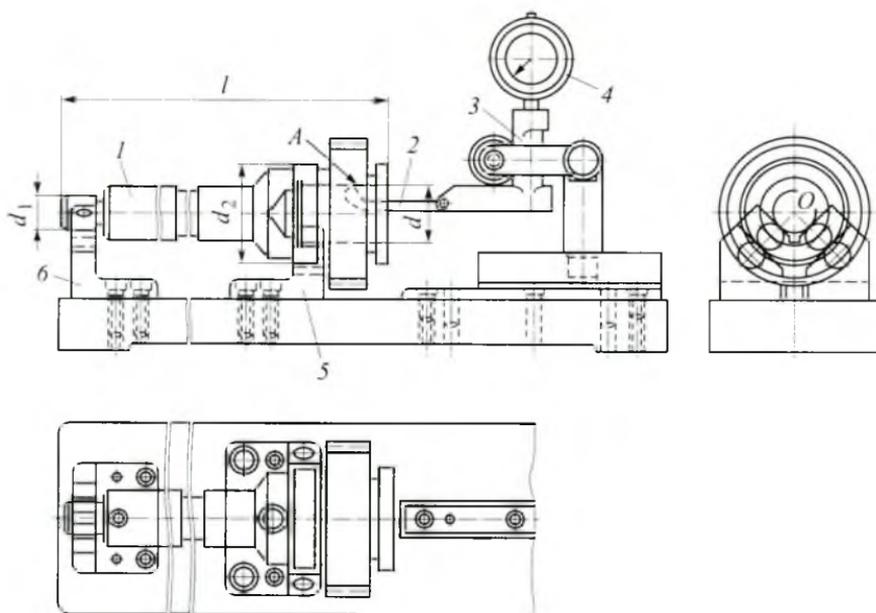


Рис. 7.23. Контрольное приспособление с установкой детали на призмы для измерения взаимного биения поверхностей

Назначить основные размеры детали l с отклонениями (d , d_1 , d_2 , l) и установочных элементов приспособления; выбрать цену деления мерителя, параметры рычажной передачи и прямой передачи. Недостающие размеры назначить самостоятельно.

Вал l с отверстием A устанавливают посадочными шейками на роликовые призмы 5 и 6 . Для уменьшения погрешностей измерения ролики в призмах не вращаются. Биения отверстия A относительно шеек вала измеряют индикатором 4 с рычажной передачей 2 , установленной на стойке 3 . Рычажная система имеет передаточное отношение $k = 2$. Щуп индикатора упирается в буфер — прямую передачу (на рис. 7.23 не показана).

Задача 7.3.9. Выполнить расчет точности контрольного приспособления (рис. 7.24) для измерения взаимного биения наружной и внутренней поверхностей втулки, если допустимое биение этих поверхностей не превышает $0,05$ мм.

Назначить основные размеры детали с отклонениями (d , d_1 , l), установочных элементов приспособления (точность изготовления оправки, величину срезанной площадки b); выбрать цену деления мерителя.

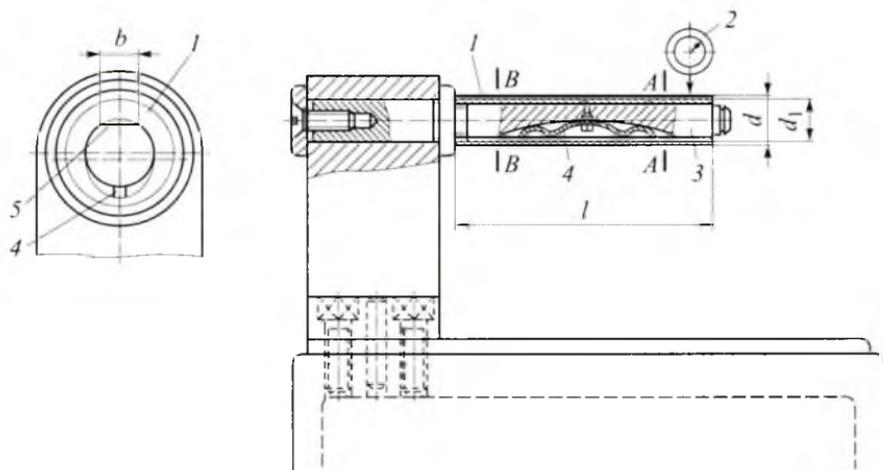


Рис. 7.24. Контрольное приспособление для измерения биения наружной поверхности деталей класса втулок. Сечения $A-A$ и $B-B$ служат для контроля биений

Деталь 1 в контрольном приспособлении для измерения биения наружной поверхности относительно оси отверстия втулки устанавливаются на оправку 3, к которой деталь прижимается пластинчатой пружиной 4. Для лучшего прилегания детали к оправке на последней сделана площадка 5 шириной b . Биение измеряют индикатором 2, установленным на стойке. Биение наружной поверхности втулки измеряют в сечениях $A-A$ и $B-B$, сообщая детали несколько оборотов вручную.

Задача 7.3.10. Рассчитать точность контрольного приспособления (рис. 7.25) для измерения взаимного биения поверхностей детали по двум параметрам:

биение наружной поверхности D и выточки A должно быть не более 0,1 мм (выполняют с помощью индикатора 9);

биение внутренней поверхности B относительно выточки A не должно превышать 0,12 мм (используется индикатор 1).

Назначить основные размеры детали (d , d_1 и D) с отклонениями, установочных элементов приспособления (точность базовых поверхностей для установки детали); выбрать цену деления мерителей. Недостающие размеры назначить самостоятельно.

Деталь 3 опорным торцом и внутренней выточкой A устанавливают на торец и наружный диаметр d опоры 2 установочного узла. Биение наружной поверхности детали по диаметру D относительно базового диаметра d (поверхность A) измеряют индикатором 9, закрепленным на стойке 8 через рычажную систему. Последняя установлена на плите 4. Измерение производят через рычаг 7 с передаточным отношением $k = 2$. Рычаг монтируют на плоских пружинах 6. Биение внутренней выточки B детали (диаметр d_1) относительно базовой поверхности A (диаметр d) измеряют индикатором 1 через рычаг 5 с передаточным отношением $k = 1$.

Для измерения взаимного биения поверхностей A и B измеряемой детали необходимо сообщить несколько оборотов и определить разность между минимальным и максимальным показаниями индикатора.

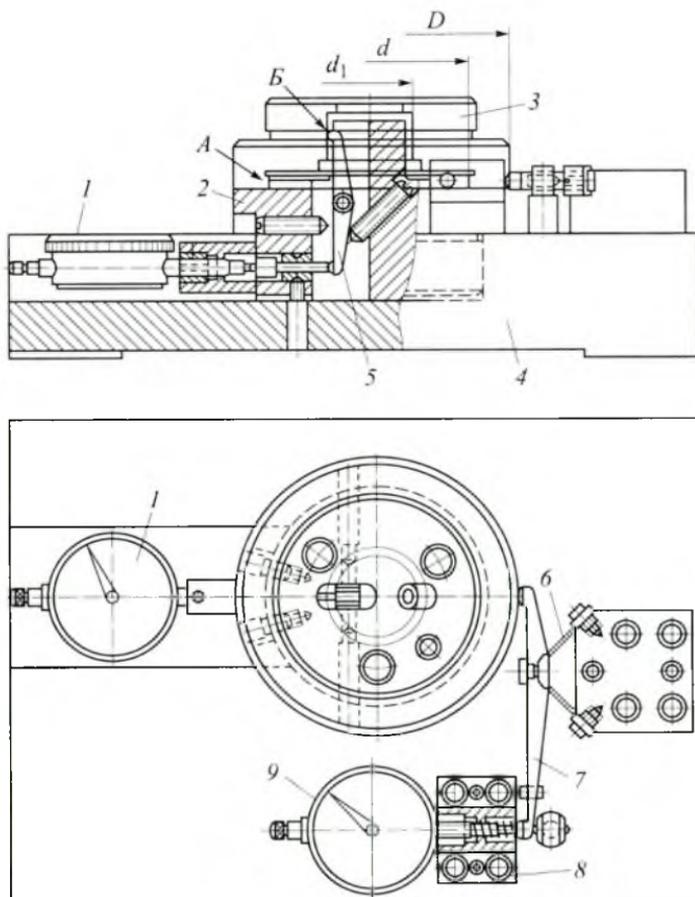


Рис. 7.25. Контрольное приспособление для измерения взаимного биения поверхностей детали с базированием их на торец и центрирующую выточку

Задача 7.3.11. Выполнить расчет точности контрольного приспособления (рис. 7.26), которое используют для измерения отклонения от перпендикулярности торца ① к оси рычага, имеющего посадочный диаметр отверстия $35H7$. Измерение отклонения от перпендикулярности проводят на $r_{\max} = 30$ мм, причем полученное значение не должно превышать 0,1 мм.

Назначить основные требования к оправке для установки рычага, расположению стойки с индикатором, длинам плеч рычага

($k = 1$); выбрать цену деления мерителя и остальные параметры. Недостающие размеры назначить самостоятельно.

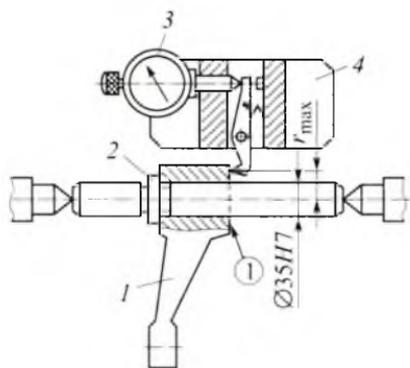


Рис. 7.26. Контрольное приспособление для измерения отклонения от перпендикулярности торца к оси:

1 — контролируемый рычаг; 2 — буртик; 3 — индикатор; 4 — стойка

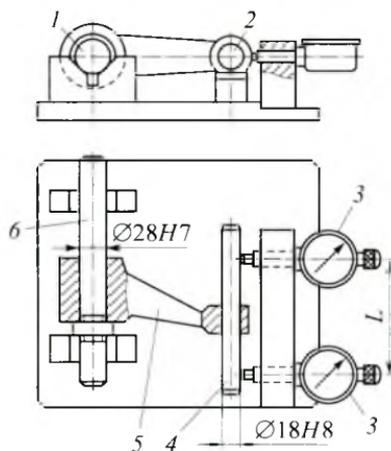


Рис. 7.27. Контрольное приспособление для измерения отклонения от параллельности отверстий рычага:

1, 2 — отверстия рычага; 3 — индикаторы; 4 — контрольная оправка; 5 — контролируемая деталь; 6 — оправка для установки рычага

Задача 7.3.12. Рассчитать точность контрольного приспособления (рис. 7.27), которое предназначено для измерения отклонения от параллельности осей отверстий 1 и 2 рычага 5. Допустимая величина этого отклонения составляет не более $0,1 \text{ мм}/L$; $L = 100 \text{ мм}$.

Назначить основные требования к оправке 6 для установки рычага и к контрольной оправке 4, к расположению стойки с индикаторами; выбрать цену деления мерителей. Недостающие размеры назначить самостоятельно.

Задача 7.3.13. Выполнить расчет контрольного приспособления для измерения деталей со сферическими дорожками качения (рис. 7.28).

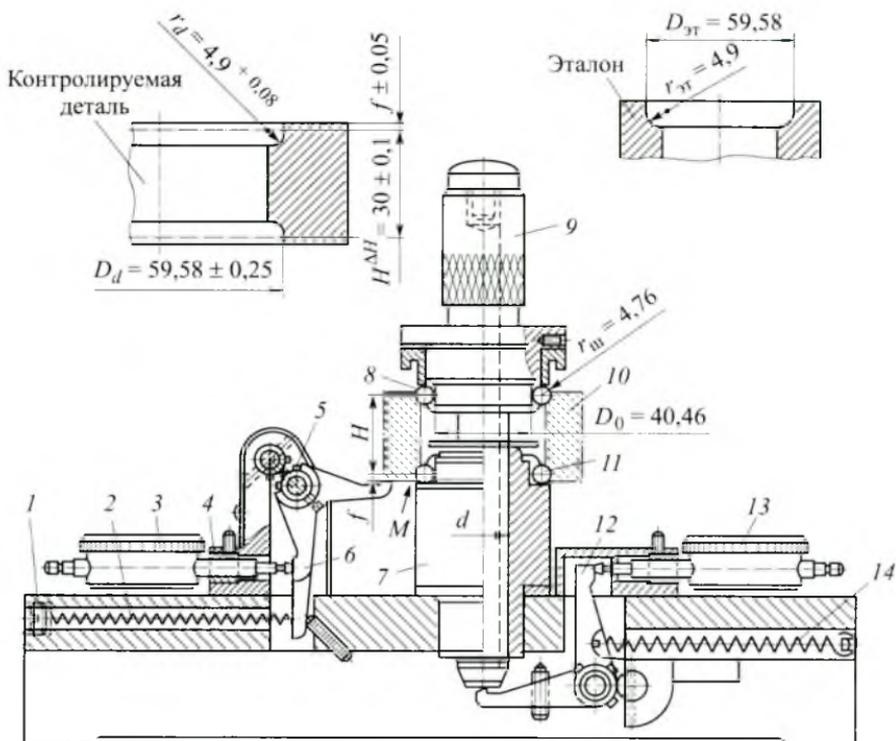


Рис. 7.28. Контрольное приспособление с шариковыми обоймами для измерения деталей, имеющих сферические дорожки:

1 — винт; 2 — пружина; 3, 13 — индикаторы; 4 — втулка; 5 — плоские пружины; 6, 12 — угловые рычаги; 7 — стойка; 8, 11 — шариковые обоймы; 9 — съемная оправка; 10 — контролируемая деталь; 14 — пружина

Измеряемую на приспособлении деталь 10 устанавливают нижней дорожкой на шариковую обойму 11; последнюю монтируют на стойке 7. На установочном узле проверяемую деталь центрируют второй шариковой обоймой 8, монтируемой на съемной оправке 9. Эту обойму устанавливают на верхнюю сферическую дорожку детали. Оправку 9 направляют в отверстие стойки 7 с минимальным гарантированным зазором по диаметру d .

У деталей со сферическими дорожками проверяют биение торца M относительно оси сферических дорожек, размер f от центра профиля сферической дорожки до торца M , размер H между центрами профиля сферических дорожек.

Допускают следующие отклонения на контролируемые величины:

до 0,04 мм — биение торца M относительно оси сферических дорожек;

до 0,1 мм — размер f от центра профиля сферической дорожки до торца M ;

$30 \pm 0,1$ мм — размер H между центрами профиля сферических дорожек.

Биение торца M измеряют индикатором 3, закрепленным во втулке 4. Передача к индикатору осуществляется через угловой рычаг 6, который монтируют на плоских пружинах 5 и поджимают к проверяемой детали пружиной 2, регулируемой винтом 1. Расстояние f от центра профиля сферической дорожки до торца M измеряют также индикатором 3. С этой целью его предварительно настраивают с помощью эталона, который выполняют по форме детали 10.

Расстояние H между центрами профиля сферических дорожек измеряют индикатором 13 через оправку 9 и угловой рычаг 12, который также монтируют на плоских пружинах. Рычаг 12 поджимается к торцу оправки 9 дополнительной пружиной 14. Индикатор 13 предварительно настраивают с помощью того же эталона, который используют для настройки индикатора 3.

Основные размеры детали приведены на рис. 7.28.

Назначить внутренний и наружный диаметры, размер f детали, установочный диаметр d оправки 9; выбрать цену деления индикаторов, длины плеч рычагов ($k = 1$), точность расположения осей индикаторов относительно оси для установки детали, если приведены размеры эталона.

Задача 7.3.14. Выполнить расчет точности прибора для настройки на рабочем месте расточного инструмента. Прибор, состоящий из призмы 3 с индикатором 1, устанавливают на оправку с режущим инструментом (рис. 7.29).

По эталону устанавливают номинальный размер $D = 60$ мм, а индикатор устанавливают в нулевое положение. Диаметры d эталонной и рабочей оправок одинаковые. Затем прибор переносят в рабочую позицию и регулируют вылет реза по индикатору. Требуемая точность настройки диаметра $D = 60^{+0,055}$ мм.

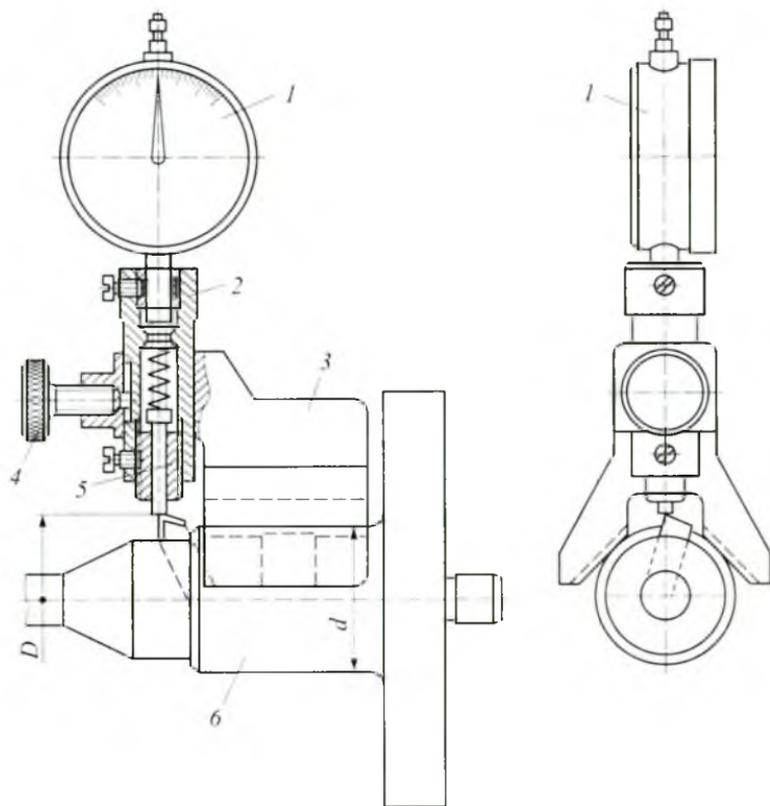


Рис. 7.29. Прибор для настройки расточного резца на станке:
 1 — индикатор с ценой деления 0,001 мм; 2 — втулка; 3 — призма;
 4 — регулировочный винт; 5 — прямая передача; 6 — расточная
 оправка с инструментом

Назначить требования к точности основных элементов контрольного прибора: диаметра d , эталона, параметров прямой передачи 5.

Задача 7.3.15. Рассчитать точность контрольного приспособления для измерения расстояний между осями отверстий R с помощью оправок, выполненных с двумя цилиндрическими поясками (рис. 7.30).

Отверстия в корпусной детали выполнены по посадке $H7$ ($\varnothing 35$, $\varnothing 31$, $\varnothing 25$ и $\varnothing 20$). Допустимая величина погрешности межосевого расстояния $\pm 0,08$ мм. Настройку индикатора 6 проводят с

помощью эталона. Назначить требования к точности выполнения диаметров контрольных оправок, к отклонению от соосности их шеек, к точности изготовления эталона; выбрать цену деления индикатора. Передаточное отношение плеч рычага назначить самостоятельно.

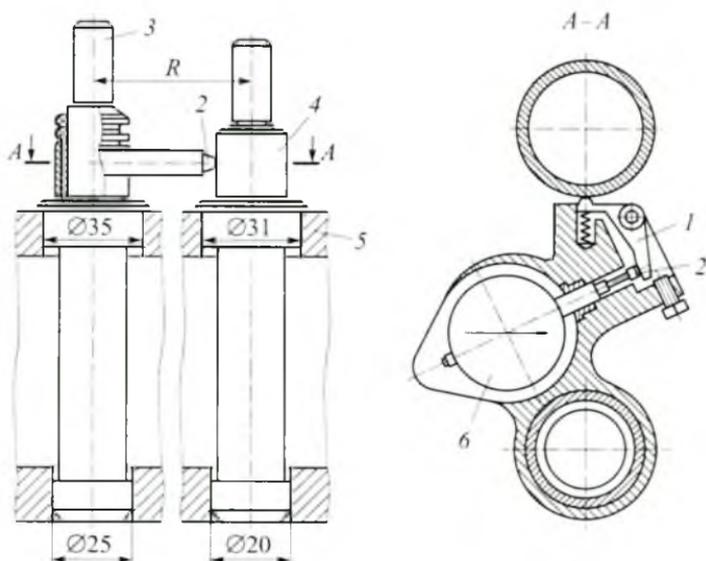


Рис. 7.30. Контрольное приспособление для измерения расстояний между осями отверстий посредством оправок, выполненных с двумя цилиндрическими поясками:
 1 — угловой рычаг; 2 — шуп индикатора; 3 — оправка с индикатором; 4 — оправка; 5 — контролируемая корпусная деталь; 6 — индикатор

Задача 7.3.16. Выполнить расчет точности контрольного приспособления для проверки соосности двух отверстий (рис. 7.31), если допустимое отклонение от соосности двух внутренних отверстий не превышает 0,06 мм. Назначить основные размеры детали (D , d , длину ступеней детали) с отклонениями, установочных элементов приспособления (точность базовых поверхностей для установки детали); выбрать цену деления индикатора, параметры прямой передачи и длины плеч углового рычага ($k = 1$). Недостающие размеры назначить самостоятельно.

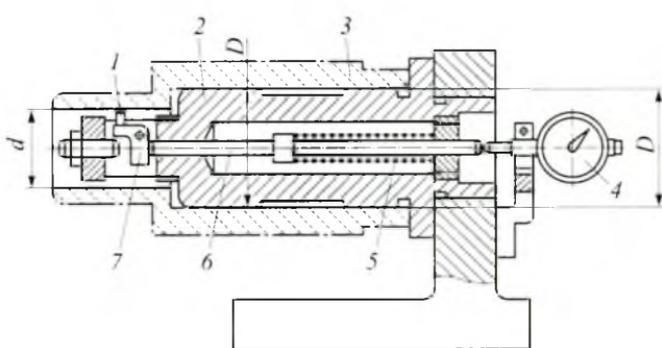


Рис. 7.31. Схема индикаторного приспособления для проверки соосности двух отверстий D/d :
 1 — измерительный шуп; 2 — оправка; 3 — контролируемая деталь; 4 — индикатор; 5 — пружина; 6 — толкатель прямой передачи; 7 — угловой рычаг

Задача 7.3.17. Выполнить расчет точности контрольного приспособления (рис. 7.32) для измерения отклонения от перпендикулярности образующей наружной поверхности поршня l к оси отверстия под поршневой палец d , которым деталь устанавливается на оправку 2. Поршень устанавливается на оправку 2 и упирается в призму 4. Допустимое отклонение от перпендикулярности указанных поверхностей составляет не более 0,04 мм на всей длине образующей поршня.

Назначить основные размеры детали ($D_{\text{дет}}$, d , l и l_1) с отклонениями, установочных элементов приспособ-

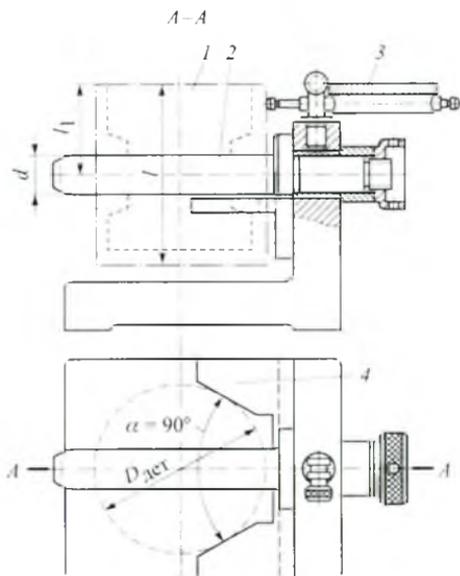


Рис. 7.32. Контрольное приспособление для измерения отклонения от перпендикулярности оси наружной поверхности поршня относительно оси под поршневой палец:
 1 — контролируемая деталь; 2 — оправка; 3 — индикатор; 4 — призма

ления (точность оправки 2 и призмы 4); выбрать цену деления индикатора 3. Недостающие размеры назначить самостоятельно.

Задача 7.3.18. Выполнить расчет точности контрольного приспособления для проверки отклонения от соосности наружных поверхностей *A* и *B* и внутреннего отверстия $\varnothing 35H7$ (рис. 7.33), если допускается отклонение не более 0,03 мм.

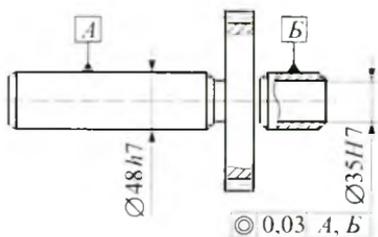


Рис. 7.33. Контролируемая деталь

Назначить основные требования к установочным элементам приспособления (рис. 7.34): точность установочных призм, длины плеч рычага ($k = 1$), зазор в соединении рычага с осью и др.; цену деления индикатора и точность расположения оси его щупа относительно горизонтальной оси призм. Недостающие размеры назначить самостоятельно.

точность установочных призм, длины плеч рычага ($k = 1$), зазор в соединении рычага с осью и др.; цену деления индикатора и точность расположения оси его щупа относительно горизонтальной оси призм. Недостающие размеры назначить самостоятельно.

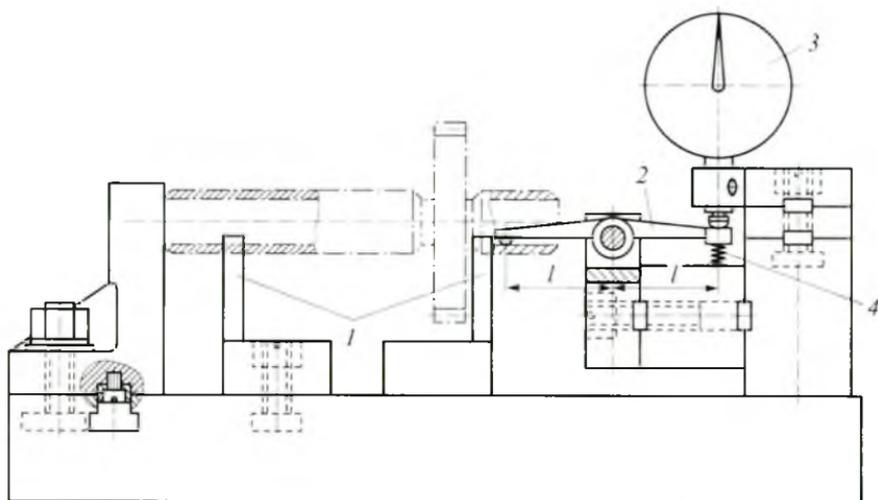


Рис. 7.34. Приспособление на базе универсально-сборочного приспособления для проверки отклонения от соосности наружных поверхностей и отверстия детали:

1 — установочные призмы; 2 — рычаг; 3 — индикатор; 4 — пружина

Задача 7.3.19. Выполнить расчет точности контрольного приспособления для проверки размера $3 \pm 0,05$ согласно схеме установки детали (рис. 7.35). Настройку приспособления провести по эталону.

Назначить основные требования к установочным элементам приспособления (рис. 7.36): к установочному пальцу, упорной базе *A*. Выбрать цену деления мерителя, точность изготовления эталона для настройки приспособления. Недостающие размеры назначить самостоятельно.

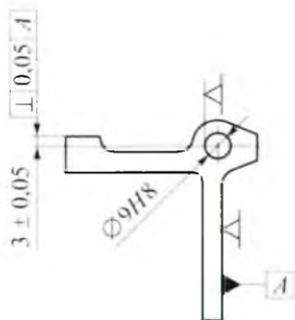


Рис. 7.35. Эскиз детали и схема базирования в приспособлении



Рис. 7.36. Контрольное приспособление для проверки размера $3 \pm 0,05$: 1 — индикатор; 2 — контролируемая деталь; 3 — установочный палец

Задача 7.3.20. Выполнить расчет точности контрольного приспособления для проверки отклонения от соосности отверстия $\varnothing 180H7$ относительно отверстия $\varnothing 350H7$, если допустимое отклонение не должно превышать 0,05 мм (рис. 7.37).

Деталь устанавливают по плоскости *A* и трем установочным пальцам по $\varnothing 350$ мм под углом 120° (рис. 7.38). Индикатор закреплен на вращающейся стойке 5 диаметром *d*. Индикатор

настраивают от оси валика на требуемый размер с помощью эталонной детали.

Назначить основные требования к установочным элементам приспособления (см. рис. 7.38): к установочным пальцам по $\varnothing 350$ (3 шт.), к диаметру d стойки 5, на котором находится планка 2 с индикатором. Выбрать цену деления индикатора и точность эталонной детали для настройки индикатора. Недостающие размеры назначить самостоятельно.

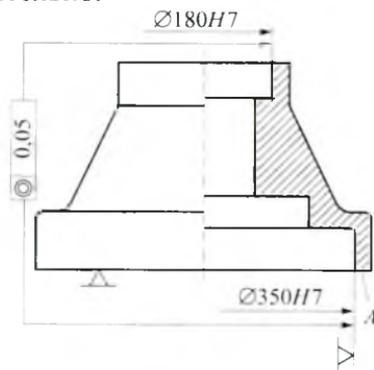


Рис. 7.37. Схема базирования детали в приспособлении

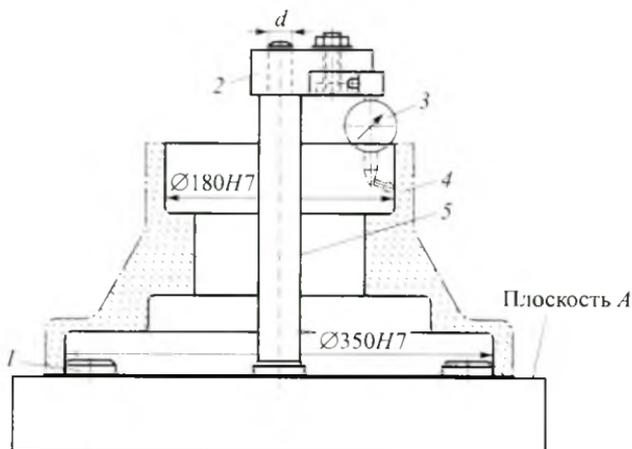


Рис. 7.38. Приспособление для контроля отклонения от соосности отверстий $\varnothing 180H7$ и $\varnothing 350H7$:
 1 — установочные пальцы (3 шт.); 2 — вращающаяся планка; 3 — индикатор; 4 — контролируемая деталь; 5 — стойка

Задача 7.3.21. Рассчитать точность контрольного приспособления (рис. 7.39) для проверки отклонения от соосности двух внутренних поверхностей ($\varnothing 38^{+0,025}$ и $\varnothing 50^{+0,03}$) детали, если допустимое отклонение не должно быть больше $0,06 \text{ мм}$ $\left(\frac{0,06 \text{ мм}}{200 \text{ мм}} \right)$.

Назначить основные требования к установочным элементам приспособления, выбрать точность измерительного прибора, рычажной передачи ($k = 1$), прямой передачи и другие параметры.

При расчете следует обратить внимание на то, что базовая плоскость контрольного приспособления расположена под углом $\alpha = 15^\circ$.

Недостающие размеры назначить самостоятельно.

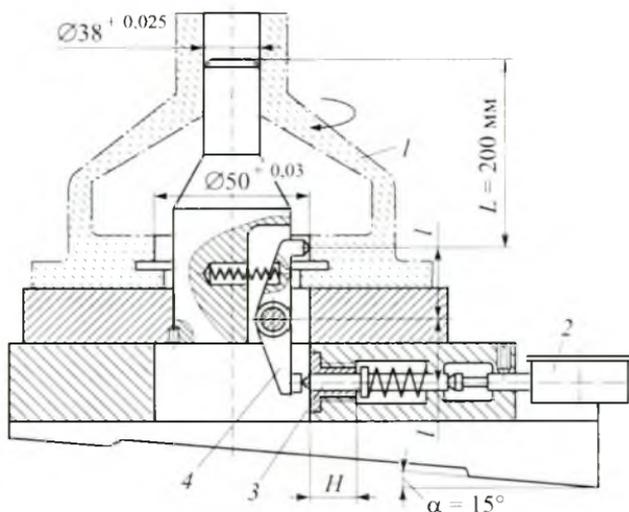


Рис. 7.39. Приспособление для контроля отклонения от соосности двух внутренних поверхностей детали:

1 — контролируемая деталь; 2 — индикатор; 3 — прямая передача; 4 — рычажная система ($k = 1$)

ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. / под ред. А.М. Дальского, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова, А.Г. Сулова. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение-1, 2001. Т. 2. 944 с.

2. Технология машиностроения: учеб. для вузов: в 2 т. / В.М. Бурцев, А.С. Васильев, И.Н. Гемба и др.; под ред. Г.Н. Мельникова. 3-е изд., испр. и перераб. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. Т. 2. Производство машин. 551 с.

8. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

В предыдущих главах были рассмотрены задачи, решаемые на отдельных этапах при разработке технологических процессов (ТП) изготовления изделий. В данной главе предложены методика составления маршрутного технологического процесса и задания, выполнение которых основано на решении ряда технологических задач. При выполнении заданий необходимо принимать конкретные технологические решения, например выбирать схему установки и рассчитывать погрешность базирования ϵ_6 .

8.1. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЗАДАНИЙ

Исходными данными для разработки ТП являются:

рабочий чертеж детали, который вычерчивают в соответствии с правилами ЕСКД согласно выданному варианту задания;

тип производства;

материал детали.

Разработку ТП ведут в следующем порядке:

1) анализируют технические требования и выявляют технологические задачи, которые необходимо решать при изготовлении детали;

2) подвергают анализу технологичность конструкции детали с учетом заданного типа производства;

3) выбирают тип заготовки и метод ее получения;

4) назначают маршруты обработки отдельных поверхностей детали;

- 5) выбирают схемы установки заготовок и маршруты изготовления детали с учетом типов средств технологического оснащения;
- 6) рассчитывают припуски и промежуточные размеры по переходам;
- 7) оформляют эскизы операций маршрута изготовления детали.

8.1.1. Анализ технических требований к детали и выявление технологических задач при ее изготовлении

Технические требования на рабочем чертеже детали содержат: предельные отклонения размеров и параметры шероховатости поверхностей;

допуски формы — плоскостности, некруглости и профиля сечений детали;

допуски расположения — параллельности плоскостей, соосности шеек вала, симметричности профиля сечений детали;

вид термической обработки и твердость рабочих поверхностей; вид покрытия;

специфические требования, например, допустимую неуравновешенность массы, герметичность и др.

При анализе качества поверхностного слоя и точности размеров, формы и расположения поверхности, а также других требований к детали их рассматривают со следующих позиций:

обоснованность назначения требований исходя из условий работы детали в машине или в сборочной единице;

достижимость заданных требований известными в машиностроении технологическими методами (возможно назначение нескольких альтернативных методов), причем выбор технологического метода окончательной обработки, обеспечивающего соблюдение требований точности и качества поверхностного слоя детали, следует проводить по таблицам [6];

возможность проверки назначенных требований к поверхностям деталей соответствующими методами измерения и контроля; проверяют выполнение требований по расположению поверхностей с помощью разрабатываемых схем контроля [4].

При изучении технических требований к детали выявляют технологические задачи. С этой целью на детали выделяют наиболее ответственные поверхности, совокупность требований к которым определяют заключительные отделочные технологические методы,

устанавливают длительность (число операций) и последовательность процесса обработки (маршрут изготовления), необходимое технологическое оборудование. Если существуют специфические требования к изготовлению детали, то в маршруте обработки предусматривают соответствующие операции, например проведение динамической балансировки детали. Проанализировав требования к расположению осей отверстий, плоскостей и других поверхностей, определяют технологические базы в операциях, схемы установки заготовки, типы приспособлений и режущих инструментов.

8.1.2. Анализ технологичности конструкции детали

Технологичность конструкции детали (изделия) определяется совокупностью свойств изделия, обеспечивающих приспособленность ее конструкции к достижению оптимальных материальных и трудовых затрат при изготовлении и эксплуатации с учетом заданных показателей качества детали (технических требований), объема и сроков выпуска (типа производства), условий выполнения работ (возможностей конкретного производства).

Общие требования технологичности к конструкции детали включают следующие положения:

конфигурация детали должна представлять собой сочетание простых геометрических форм;

конструкция детали должна быть такой, чтобы в процессе изготовления обеспечивалась ее надежная и удобная установка с совмещением технологических и измерительных баз;

при высокой жесткости конструкции детали следует предусматривать возможность применения высокопроизводительных технологических методов ее изготовления;

заданные технические требования к детали необходимо обосновать ее служебным назначением;

элементы конструкции детали должны быть стандартизированы или унифицированы;

при наличии сложных форм детали потребуются применение дорогостоящих методов получения заготовок или увеличение материальных затрат при изготовлении.

Рекомендации по проведению анализа технологичности конструкции детали приведены в [6, 7].

8.1.3. Выбор типа заготовки и метода ее получения

При выборе заготовки необходимы такие исходные данные, как рабочий чертеж детали с указанием ее размеров, массы, материала, технических требований; объем и сроки выпуска, тип производства.

Заготовку выбирают в следующей последовательности:

- 1) определяют ТП получения заготовки (литье, обработка давлением и др.);
- 2) устанавливают метод изготовления заготовки (литье в песчаные, металлические, оболочковые формы и др.);
- 3) назначают технологическое оборудование (штамповка на молотах, на прессах или др.).

На выбор процесса и метода получения заготовки влияет ряд факторов:

технологическая характеристика материала деталей и его свойства определяют возможность применения литья, пластического деформирования, сварки, порошковой металлургии и других процессов:

конструктивные формы, размеры и масса деталей оказывают решающее значение при выборе таких прогрессивных методов, как литье под давлением, литье по выплавляемым моделям, горячая объемная штамповка и др.;

объемы выпуска изделий влияют на себестоимость изготовления детали, что, в свою очередь, сказывается на экономической эффективности принимаемых решений. В условиях единичного и мелкосерийного производства применяют отливки, полученные в песчано-глинистых формах; поковки, изготовленные свободной ковкой, и заготовки из проката. В крупносерийном и массовом производстве используют заготовки, полученные прогрессивными методами, в результате чего почти на одну треть уменьшают припуски на механическую обработку.

Методы получения заготовок и технологическое оборудование приведены в [2, 6, 7]. После выбора метода получения заготовки следует определить допуски и припуски по таблицам соответствующих ГОСТов и оформить чертеж заготовки.

8.1.4. Выбор маршрутов обработки отдельных поверхностей детали

Маршрут обработки назначают на основании выбранного метода окончательной обработки поверхности и чертежа заготовки. При наличии метода (или нескольких методов) окончательной обработки и метода получения заготовки выбирают промежуточные методы, которых также может быть несколько. Например, такому окончательному методу, как шлифование плоскости детали из чугуна, предшествует чистовое фрезерование, которое выполняют после чернового фрезерования. При формировании маршрута следует придерживаться правила: каждый последующий переход должен быть точнее предыдущего.

Число этапов обработки конкретной поверхности определяется: точностью выполняемых размеров и шероховатостью поверхностного слоя;

точностью формы поверхности;

точностью заготовки;

необходимостью термической обработки, которая приводит к деформации заготовки и, как следствие, к дополнительной механической обработке.

Выбор технологических методов следует делать по данным таблиц справочника [6, гл. 1—4].

8.1.5. Выбор схем установки и маршрута изготовления детали

Выбор схем установки. В рабочем пространстве станка заготовку перед обработкой устанавливают по технологическим базам. Кроме того, для обеспечения условий несдвигаемости при действии сил, возникающих при механической обработке, заготовку закрепляют.

В зависимости от формы заготовки применяют различные схемы установки, отличающиеся числом, формой и расположением баз, количеством лишаемых степеней свободы и схемой закрепления заготовки. Существуют типовые схемы установки. Примеры, описания и рекомендации по их применению приведены в [1, 3, 6—8].

При выборе технологических баз следует придерживаться следующих правил:

обеспечивать совмещение технологических и измерительных баз;

максимально сохранять постоянные технологические базы в маршруте изготовления детали;

выбирать более точную поверхность в качестве следующей установочной поверхности при вынужденной смене технологических баз;

повторно не использовать «черную» базу (кроме случаев применения приспособлений типа спутника), поскольку это недопустимо.

В схемах установки изделий следует применять графические изображения установочных и зажимных элементов приспособлений, указанные в ГОСТ 3.1107–81 (табл. 2–4) или в [1, 3, 6].

Выбор маршрута изготовления детали. На данном этапе разработки ТП изготовления детали определяют содержание и последовательность выполнения технологических операций и выбирают средства технологического оснащения.

Маршрут изготовления составляют на основе [7, 8]:

1) типового ТП изготовления детали определенного класса и уровня точности типовой или комплексной детали;

2) индивидуального проектирования в соответствии с технологическими принципами и правилами.

В первом случае последовательность разработки маршрута изготовления включает следующие этапы:

определение класса, типа или группы деталей, к которым принадлежит деталь;

выбор типового ТП изготовления деталей данного типа;

формирование подробного содержания технологических операций типового ТП путем объединения в них переходов из маршрутов обработки отдельных поверхностей детали;

выбор или уточнение средств технологического оснащения технологических операций — станка, приспособления, инструментов и вспомогательной оснастки.

Во втором случае при определении содержания и последовательности операций придерживаются следующих правил [7]:

сначала осуществляют подготовку технологических баз;

поскольку последовательность обработки зависит от системы простановки размеров, то в начало маршрута выносят обработку той поверхности, относительно которой на чертеже указано наибольшее число других поверхностей;

при невысокой точности исходной заготовки сначала обрабатывают поверхности с наибольшими общими припусками для раннего выявления дефектов заготовки;

чем выше точность поверхности, тем позже в маршруте следует назначать ее обработку;

поверхности, имеющие второстепенное значение (мелкие отверстия, канавки, фаски и т. п.), необходимо выполнять на чистовом этапе ТП, перед операциями окончательной обработки ответственных поверхностей;

легко повреждаемые поверхности (наружные резьбы, зубчатые поверхности, наружные шлицевые поверхности и т. п.) обрабатывают на завершающем этапе процесса изготовления;

операции, связанные с термическим и силовым воздействиями на поверхности деталей, выполняют до перехода к завершающим этапам обработки (чистовым и отделочным).

Разработку маршрутного описания ТП ведут в два этапа:

1) предварительно определяют содержание технологических операций путем объединения в них переходов из маршрутов обработки отдельных поверхностей и назначений типов применяемых средств технологического оснащения;

2) устанавливают общую последовательность выполнения сформированных операций с внесением необходимых коррективов в содержание операций и в состав выбранных средств технологического оснащения.

8.1.6. Расчет припусков по переходам

При расчете припусков и промежуточных размеров на каждом переходе придерживаются следующего порядка действий:

1) из маршрутов обработки основных поверхностей выбирают маршрут, относящийся к наиболее точной поверхности;

2) устанавливают допуски на заготовки и по переходам обработки T_i ;

3) для каждого перехода определяют высоту неровностей Rz_{i-1} и глубину поверхностного слоя h_{i-1} , получаемых на смежном предшествующем переходе;

4) для каждого перехода рассчитывают пространственные отклонения ρ_{i-1} , получаемые на смежном предшествующем переходе;

5) определяют погрешность установки ε_i для каждого перехода;

6) для каждого перехода рассчитывают минимальный припуск на обработку

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

7) назначают наименьшие и наибольшие предельные размеры P_{\min} и P_{\max} на каждом переходе;

8) устанавливают наибольшие припуски на каждом переходе $Z_{i\max}$;

9) рассчитывают общие минимальный ($Z_{0\min}$) и максимальный ($Z_{0\max}$) припуски.

Величина минимального припуска по переходам может быть определена по данным таблиц [6]. Результаты расчетов припусков заносят в таблицу.

8.1.7. Оформление эскизов операций маршрута изготовления детали

Разработанный маршрут изготовления детали дополняют также эскизами технологических операций. Эскизы необходимы для всех операций, кроме тех, при выполнении которых не происходит изменение формы размеров и параметров шероховатости поверхностей (химико-термические, слесарные, моечные, комплектующие и др.).

Эскиз операции должен содержать:

номер и название (Операция 010. Горизонтально-фрезерная);

тип оборудования (Оборудование: горизонтально-фрезерный станок);

описание схемы установки в виде условных обозначений конструктивных элементов приспособлений для ориентирования и крепления заготовки;

выделение поверхностей, которые подвергаются обработке, линиями красного цвета либо черной утолщенной линией на заготовке;

параметры качества поверхностного слоя для обрабатываемых поверхностей (например, параметр шероховатости \sqrt{Ra}), а также размеры и отклонения размеров в численном виде.

8.2. ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЯ

Каждое выдаваемое задание содержит комплексный чертеж детали (рис. 8.1) с буквенно-цифровым описанием параметров конструктивных элементов детали и исходные данные по вариантам (табл. 8.1) — численные значения параметров с буквенным описа-

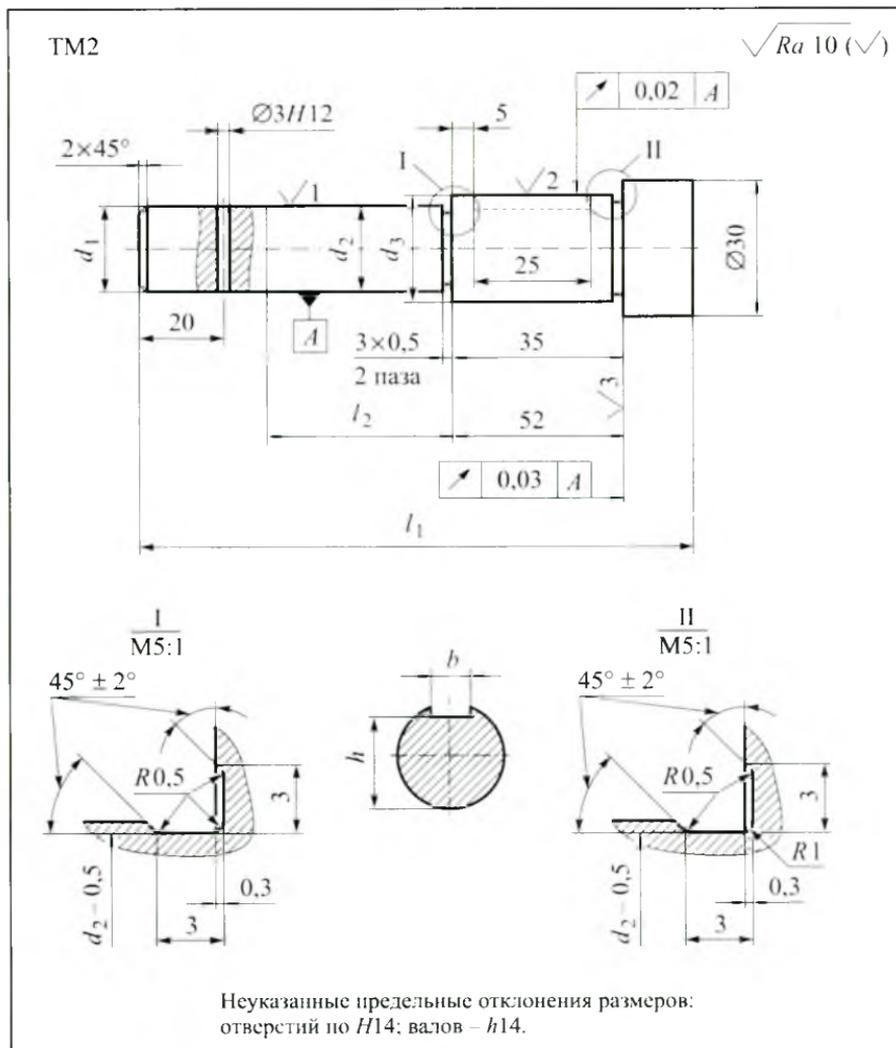


Рис. 8.1. Комплексный чертеж детали

нием. В нижней части таблицы приведены изменяемые исходные данные с буквенным описанием, численные значения которых выбираются произвольно из общих конструкторско-технологических соображений. Все варианты студенту выдает преподаватель.

Таблица 8.1

Данные для разработки технологического процесса

Исходные данные	Вариант		
	1	2	3
Длина, мм: l_1 l_2	120 40	220 —	170 —
Ширина паза b , мм	8js8	10js8	5js8
Высота паза h , мм	20H12	16H12	18H12
Диаметр, мм: d_1 d_2 d_3	18g6 18j6 23	15g6 15j6 20	16g6 16j6 22
<i>Изменяемые исходные данные</i>			
Материал	Сталь 35	Сталь 40Х	Сталь 45
Тип производства	Мелкосерийное	Серийное	Единичное
Шероховатость, мкм	Ra 0,63	Ra 1,25	Ra 0,63

Обучающемуся необходимо выполнить рабочий чертеж детали в соответствии с правилами ЕСКД (рис. 8.2) и разработать маршрут изготовления детали, составляя эскизы технологических операций в последовательности, указанной в п. 8.1.

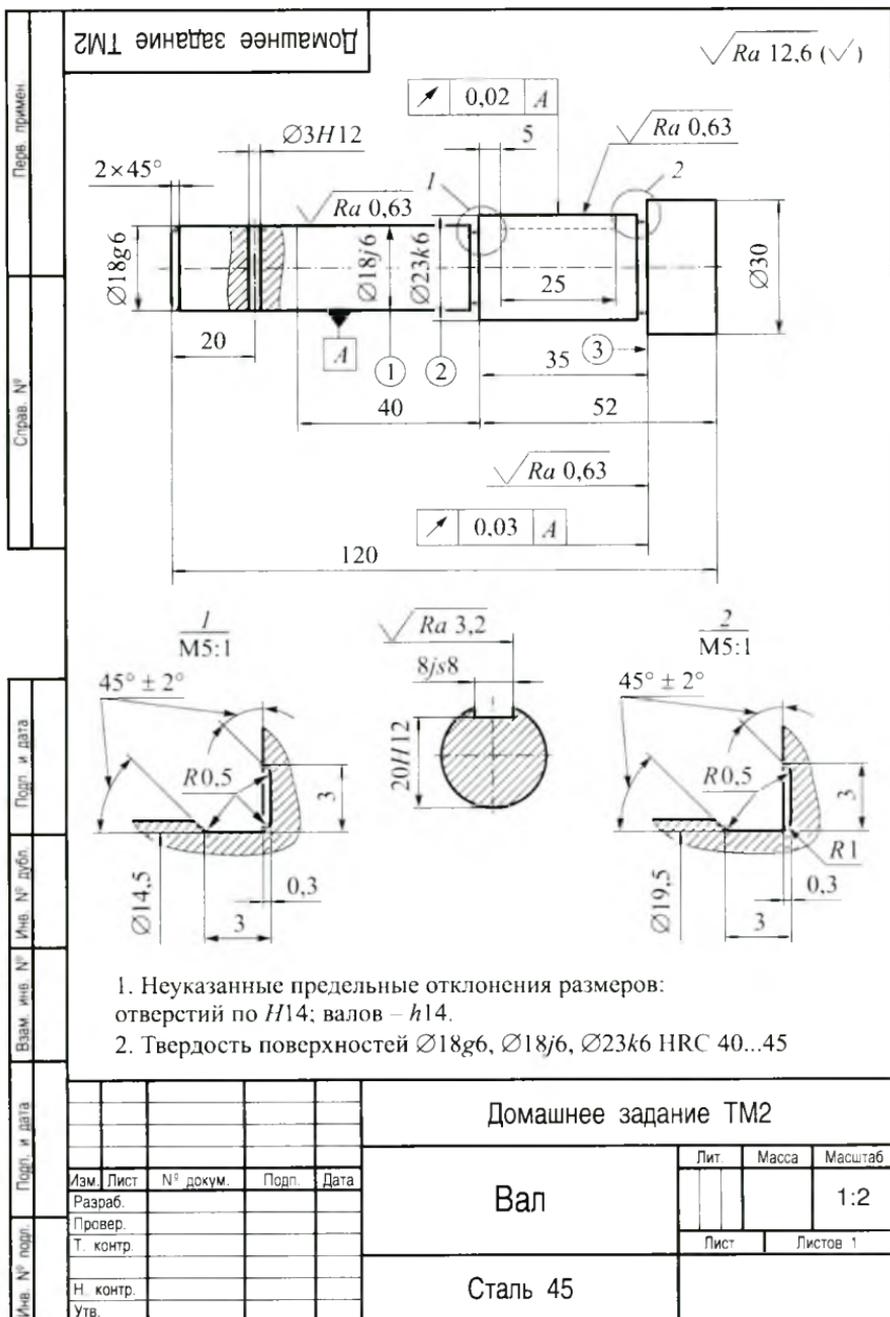


Рис. 8.2. Пример рабочего чертежа по варианту задания

8.2.1. Анализ технических требований и выявление технологических задач при изготовлении детали

Заданные точности получения размеров и шероховатости поверхностей можно обеспечить при выполнении технологических переходов:

чистовым шлифованием — цилиндрические поверхности $\varnothing 18g6$, $\varnothing 18j6$ и $\varnothing 23k6$ шероховатостью $Ra\ 0,63$;

сверлением однократным — отверстие $\varnothing 3H12$ шероховатостью $Ra\ 12,6$;

чистовым фрезерованием — шпоночный паз шириной $8j6$ ($8^{+0,0045}_{-0,0045}$) шероховатостью $Ra\ 3,2$;

однократной лезвийной обработкой (точением или фрезерованием) — торцы вала (кроме торца 1 канавки 2), которые должны быть выполнены с шероховатостью $Ra\ 12,6$ и в размеры по 14-му качеству точности;

шлифованием, как исключение, может быть получен указанный выше торец 2 шероховатостью $Ra\ 0,63$.

На рабочем чертеже указаны технические требования к расположению:

радиальное биение цилиндра $\varnothing 23k6$ относительно поверхности A — $\varnothing 18j6$ (можно обеспечить при совместной обработке указанных поверхностей за один установ);

биение торца левого $\varnothing 30h14$ относительно $\varnothing 18j6$ — данное требование выполняется также при обработке отмеченных поверхностей за один установ.

Указанное на рабочем чертеже техническое требование HRC 40...45 к твердости шеек $\varnothing 18g6$, $\varnothing 18j6$ и $23k6$ достигают термической обработкой — закалкой (материал детали сталь 45).

После обработки необходимо контролировать:

размеры точных поверхностей $\varnothing 18g6$, $\varnothing 18j6$ и $\varnothing 23k6$ и шпоночного паза $8j6$ микрометром с индикатором, имеющим цену деления 1 мкм;

размеры линейные по 14-му качеству точности микрометром с ценой деления 0,01 мм;

размер отверстия $\varnothing 3H12 (3^{+0,1})$ нутромером с ценой деления 0,005 мм;

шероховатость Ra с помощью профилометра;

твёрдость поверхностей HRC 40...45 с помощью приборов типа ПМТ-5 (твёрдомеров) вдавливанием и измерением отпечатка алмазной пирамиды;

технические требования к расположению поверхностей с помощью специальных приспособлений.

Ниже приведены типовые схемы измерения радиального биения $T_{p,б}$ поверхности $\varnothing 23k6$ относительно цилиндра $\varnothing 18j6$ с базированием измеряемой детали в патроне, имеющем прецизионное вращение (рис. 8.3, а) и биения левого торца $T_{l,б}$ поверхности $\varnothing 30$ относительно $\varnothing 18j6$ по аналогичной схеме базирования (рис. 8.3, б).

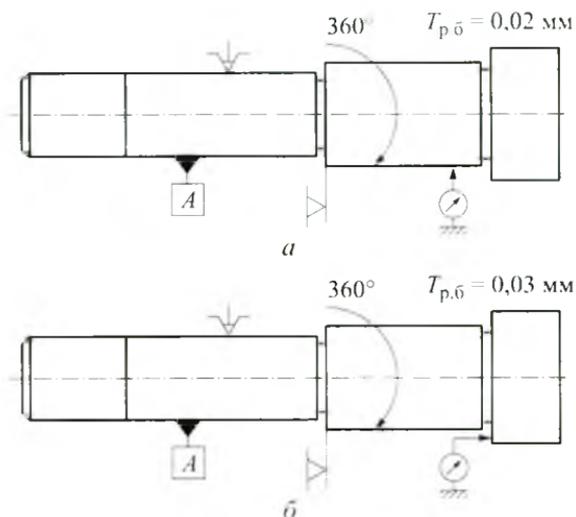


Рис. 8.3. Схемы измерения радиального биения (а) и биения левого торца (б) поверхностей

8.2.2. Анализ технологичности конструкции детали по качественным и количественным показателям

Конструкцию детали анализируем с учетом следующих требований технологичности:

конструктивно форма детали представляет собой сочетание простых геометрических поверхностей — цилиндров, торцев, канавок;

на валу имеется шпоночный паз закрытого типа на цилиндре $\varnothing 23k6$, но изменить конструкцию паза практически невозможно;

хотя отверстие $\varnothing 3H12$ и малого размера, но оно является сквозным, и его выполняют по 12-му качеству точности;

деталь представляет собой вал жесткой конструкции; отношение $L_0/D_{cp} = 120/20,98 = 5,7 < 12 \dots 15$, здесь L_0 — общая длина детали; D_{cp} — средний диаметр детали;

деталь представляет собой тело с односторонним утолщением, что позволяет выбрать для нее достаточно простой производительный метод штамповки — на горизонтально-ковочных машинах (ГКМ);

степень точности изготовления детали оценивается коэффициентом точности, который вычисляют по формуле

$$K_{10} = 1 - \frac{1}{A_{cp}} = 1 - \frac{\sum n_i}{\sum A_i n_i} \geq 0,86,$$

где A_{cp} — средний квалитет точности поверхностей детали; A_i — квалитет точности изготовления; n_i — число размеров соответствующего квалитета точности A_i ; i — квалитет точности. Тогда

$$n_6 = 3; \quad n_{12} = 2; \quad n_{14} = 15;$$

$$\begin{aligned} \sum A_i n_i &= A_6 n_6 + A_{12} n_{12} + A_{14} n_{14} = 6 \cdot 3 + 12 \cdot 2 + 14 \cdot 15 = \\ &= 18 + 24 + 210 = 252; \end{aligned}$$

$$\sum n_i = 20.$$

Отсюда

$$K_{10} = 1 - \frac{20}{252} = 0,92 > 0,86.$$

Как видим, значение расчетного коэффициента точности K_{10} превышает предельно допустимое, поэтому с точки зрения точности деталь технологична:

на точных поверхностях $\varnothing 18j6$ и $\varnothing 23k6$ предусмотрены канавки для выхода шлифовального круга;

элементы конструкции детали стандартизированы, этот показатель технологичности оценивается коэффициентом унификации элементов конструкции

$$K_{y,3} = \frac{N_{y,3}}{N_3} > 0,3,$$

где $N_{y,3}$ — число унифицированных конструктивных элементов;
 N_3 — общее число конструктивных элементов,

$$K_{y,3} = \frac{8}{12} = 0,67.$$

Величина расчетного коэффициента $K_{y,3} = 0,67$ свидетельствует о том, что только третья часть конструктивных элементов детали является нестандартной: это говорит о достаточной технологичности изделия.

Принимая во внимание полученные и качественные, и количественные показатели, можно сделать вывод о том, что деталь является технологичной.

Тип заготовки и метод ее получения определяются следующими критериями:

материалом детали является сталь 45, которая хорошо поддается обработке давлением, но обладает плохими литейными свойствами;

конструктивно деталь представляет собой тело с односторонним утолщением, что позволяет получать для нее заготовку на ГKM;

при серийном типе производства применение такого прогрессивного оборудования экономически оправдано.

8.2.3. Выбор маршрутов обработки поверхностей детали

Маршруты обработки выбираем по таблицам справочника [2, 6, гл. 1—4].

Для того чтобы получить точность шеек вала $\varnothing 18g6$, $\varnothing 18j6$ и $\varnothing 23k6$ по 6-му качеству и шероховатость Ra 0,63, необходимо

предусмотреть последовательное выполнение следующих переходов:

штамповка на ГKM, в результате чего обеспечиваются $T_{\text{заг}} = 1,3$ мм и $Ra 40$ ($Rz 160$);

черновое точение — получаем 12-й квалитет точности и $Ra 12,6$ ($Rz 50$);

получистовое точение — достигаются 10-й квалитет точности и $Ra 9,5$ ($Rz 38$);

чистовое точение — обеспечиваются 9-й квалитет точности и $Ra 6,3$ ($Rz 25$);

тонкое точение — гарантирует 8-й квалитет точности и $Ra 2,5$ ($Rz 10$);

закалка ТВЧ — обеспечивает HRC 40...45;

предварительное шлифование — получаем 7-й квалитет точности и $Ra 2,5$ ($Rz 10$);

окончательное чистовое шлифование — достигаются 6-й квалитет точности и $Ra 0,63$ ($Rz 2,5$).

Для выполнения технических требований к шейке вала $\varnothing 30h14$ шероховатостью $Ra 12,6$ достаточно одного перехода механической обработки — чернового точения:

штамповка на ГKM — обеспечиваются $T = 1,3$ мм и $Ra 40$;

черновое точение — достигаются 14—12-й квалитеты точности и $Ra 12,6$.

Отверстие $\varnothing 3H12$ ($\varnothing 3^{-0,1}$) шероховатостью $Ra 12,6$ получаем сверлением в сплошном металле, при этом обеспечиваются 12-й квалитет точности и $Ra 12,6$.

Для обработки шпоночного паза $8js6$ шероховатостью стенок $Ra 3,2$ выбираем два фрезерных перехода:

черновое фрезерование шпоночной фрезой, в результате чего получаем шероховатость $Ra 6,3$;

чистовое фрезерование шпоночного паза до шероховатости $Ra 3,2$.

Для соблюдения технических требований рабочего чертежа к торцу левого цилиндра $\varnothing 30h14$ шероховатостью $Ra 0,63$ необходимо выполнить следующий маршрут обработки этой поверхности:

штамповка на ГКМ — получаем $T = 1,7$ мм и Ra 40;
черновая подрезка торца — обеспечиваются 12-й квалитет точности и Ra 12,6;

получистовая подрезка торца — достигаются 10-й квалитет точности и Ra 6,3;

чистовая подрезка торца (при получении канавки) — гарантирует 9-й квалитет точности и Ra 2,5;

окончательное шлифование — удовлетворяется техническое требование по биению торца, обеспечиваются 8-й квалитет точности и Ra 0,63.

Для крайних торцев вала шероховатостью Ra 12,6 и точностью размера $120h14$ достаточно однократной обработки:

штамповка на ГКМ;

однократное фрезерование обеспечивает 14-й квалитет точности и Ra 12,6.

Для получения шероховатости Ra 12,6 левого торца поверхности $\varnothing 18j6$ детали достаточно черновой подрезки торца, что обеспечивает 14-й квалитет точности размера $52h14$ и Ra 12,6.

При обработке фасок $2 \times 45^\circ$ шероховатостью Ra 12,6 и точностью размера по 14-му квалитету выбираем однократную лезвийную обработку, что гарантирует Ra 12,6.

8.2.4. Разработка маршрута изготовления детали

Детали типа вала длиной более 100 мм изготавливают в следующей последовательности:

- 1) получение заготовки;
- 2) термическая обработка — отжиг после штамповки;
- 3) предварительная (черновая и получистовая) обработка основных поверхностей вала;
- 4) чистовая обработка основных поверхностей вала с допусками под шлифование ответственных поверхностей;
- 5) получение вспомогательных поверхностей на основных поверхностях (пазы, шлицы, радиальные отверстия и др.);
- 6) термическая обработка ответственных поверхностей;
- 7) выполнение отделочных переходов по ответственным поверхностям.

При изготовлении валов используют такие схемы установки, как:

установка на центровые отверстия с поводковым устройством для приведения во вращение заготовки при обработке;

базирование на две шейки и на один из торцев вала при сверлении отверстий, обработке шпоночных пазов.

Сформированные переходы маршрутов обработки поверхностей детали распределяем по этапам общей последовательности изготовления валов [8].

На этапах предварительной и чистовой обработки основных поверхностей заготовку на токарных станках устанавливают по фаскам центровых отверстий на крайних торцах детали. Центровые отверстия получают после обработки торцев вала либо на токарных станках последовательным выполнением переходов подрезки торца и сверления центровых отверстий за два установа, либо на фрезерно-центровальных станках фрезерованием торцев и сверлением центровых отверстий. Выбираем вариант выполнения операции на фрезерно-центровальных станках.

Черновые и получистовые токарные переходы по всем поверхностям объединяем в этап предварительной обработки, который выполняют либо в одну операцию за два установа, либо за две разные токарные операции. Выберем первый вариант.

При получении вспомогательных поверхностей используют различное технологическое оборудование. Шпоночные пазы данной конструкции обрабатывают или на вертикально-фрезерных станках концевой фрезой, или на шпоночно-фрезерных станках шпоночной фрезой. В условиях серийного производства предпочтительнее второй вариант. Вал устанавливают в призмы по шейкам $\varnothing 18g6$, $\varnothing 18j6$ и $\varnothing 23k6$ с упором в торец шейки $\varnothing 23k6$ для обеспечения размера 5.

Имеющиеся на валах радиальные отверстия обрабатывают на радиально-сверлильных или вертикально-сверлильных станках. Выбираем второй вариант, так как отверстие одно. Заготовку устанавливаем в призмы с упором в крайний левый торец заготовки, от которого задано расположение отверстия по оси детали.

Маршрут изготовления детали

Номер п/п	Наименование и краткое содержание операции	Технологические базы	Тип оборудования
005	Заготовительная. Получение заготовки шгамповкой на ГКМ	—	Горизонтально-ковочная машина
010	Термическая. Отжиг штампованной заготовки	—	Печь термическая
015	Фрезерно-центровальная. Фрезерование крайних торцев заготовки, сверление центровых отверстий	Ступени заготовок и торцев	Фрезерно-центровальный станок
020	Токарно-винторезная (два станова). Черновое и получистовое точение ступеней вала, подрезка торцев	Центровые отверстия	Токарно-винторезный станок
025	Токарная с ЧПУ. Чистовое и тонкое точение ступеней вала, прорезка двух канавок, подрезка торцев	Центровые отверстия	Токарный станок с ЧПУ
030	Шпоночно-фрезерная. Предварительное фрезерование шпоночного призматического паза	Шейки вала и торцев	Шпоночно-фрезерный станок
035	Шпоночно-фрезерная. Окончательное фрезерование шпоночного паза	Шейки вала и торцев	Шпоночно-фрезерный станок
040	Вертикально-сверлильная. Сверление радиального отверстия $\varnothing 3H/12$	Шейки вала и торцев	Вертикально-сверлильный станок
045	Термическая. Закалка шеек вала до HRC 40...45	—	Печь термическая

Окончание табл. 8.2

Номер п/п	Наименование и краткое содержание операции	Технологические базы	Тип оборудования
050	Токарная, Правка центровых фасок	Шейки вала, торцы	Токарный станок
055	Круглошлифовальная. Предварительное шлифование шейки $\varnothing 23k6$	Центровые отверстия	Круглошлифовальный станок
060	Круглошлифовальная. Предварительное шлифование шеек $\varnothing 18/6$ и $\varnothing 18g6$	Центровые отверстия	Круглошлифовальный станок
065	Круглошлифовальная. Окончательное шлифование шейки $\varnothing 23k6$ с подшлифовкой торца	Центровые отверстия	Круглошлифовальный станок
070	Круглошлифовальная. Шлифование шеек $\varnothing 18/6$ и $\varnothing 18g6$	Центровые отверстия	Круглошлифовальный станок
075	Моечная. Мойка детали в горячем содовом растворе и сушка	—	Ванны моечные, установки для сушки
080	Контрольная. Окончательный контроль размеров, шероховатости и физико-механических свойств поверхностного слоя, а также технических требований по расположению поверхностей вала	—	Плита контрольная, средства и установки для контроля и измерения

Для соблюдения технического требования к твердости поверхностей $\varnothing 18g6$, $\varnothing 18j6$ и $\varnothing 23k6$ в маршрут изготовления необходимо включать термическую операцию — закалку до HRC 40...45.

Выполнение отделочных переходов шлифования основных шеек и торцев вала осуществляют на круглошлифовальных станках различного типа — с продольной или поперечной рабочей подачей вращающейся заготовки на шлифовальный круг. На станках с поперечной подачей обрабатывают короткие шейки.

Рассматриваемая деталь имеет шейки $\varnothing 18g6$, $\varnothing 18j6$ и $\varnothing 23k6$ длиной 28, 40, 35 мм соответственно, поэтому применяем станки с поперечной рабочей подачей. Шлифование каждой шейки выполняем за две операции — предварительной и окончательной обработки.

Полученную деталь необходимо проверить на соответствие всем техническим требованиям, указанным на чертеже. Для этого в маршруте предусматривают контрольную операцию. Предварительно перед контролем деталь необходимо тщательно очистить, поэтому в маршрут должна быть включена моечная операция.

Сформированная таким образом последовательность операций (маршрут изготовления) обработки данного вала приведена в табл. 8.2, в которой также указаны технологические базы и тип применяемого технологического оборудования.

8.2.5. Определение припусков и промежуточных размеров

Расчет припусков на наиболее точную поверхность проводим для шейки вала 2 диаметром $\varnothing 23k6$ ($23^{+0,012}_{+0,001}$), шероховатостью Ra 0.63. В пп. 8.2.3 выбран маршрут обработки данной поверхности, он состоит из ряда переходов, в результате обеспечивающих точность обработки:

- штамповка на ГКМ;
- черновое точение — до IT12;
- получистовое точение — до IT10;
- чистовое точение — до IT9;
- тонкое точение — до IT8;
- термическая обработка;

предварительное шлифование — до IT7;

окончательное шлифование — до IT6.

Заносим маршрут обработки в первую графу расчетной таблицы (табл. 8.3).

В соответствии с достигаемыми качеством точности и размером поверхности $\varnothing 23k6$ по справочнику [5] определяем значения допусков для переходов обработки и записываем их в соответствующую графу табл. 8.3:

штамповка на ГКМ $T_{\text{заг}} = 1,3 \text{ мм} \begin{pmatrix} +0,9 \\ -0,4 \end{pmatrix}$;

черновое точение $T_1 = 0,210 \text{ мм}$;

получистовое точение $T_2 = 0,084 \text{ мм}$;

чистовое точение $T_3 = 0,052 \text{ мм}$;

тонкое точение $T_4 = 0,033 \text{ мм}$;

предварительное шлифование $T_5 = 0,023 \text{ мм}$;

окончательное шлифование $T_6 = 0,011 \text{ мм}$.

Для каждого перехода из пп. 8.2.3 переносим значения высоты неровностей Rz_i и по справочнику [6] определяем глубину дефектного слоя h_i :

штамповка на ГКМ $Rz_{\text{заг}} = 160 \text{ мкм}$, $h_3 = 200 \text{ мкм}$;

черновое точение $Rz_1 = 80 \text{ мкм}$, $h_1 = 50 \text{ мкм}$;

получистовое точение $Rz_2 = 40 \text{ мкм}$, $h_2 = 38 \text{ мкм}$;

чистовое точение $Rz_3 = 20 \text{ мкм}$, $h_3 = 25 \text{ мкм}$;

тонкое точение $Rz_4 = 10 \text{ мкм}$, $h_4 = 10 \text{ мкм}$;

предварительное шлифование $Rz_5 = 10 \text{ мкм}$, $h_5 = 10 \text{ мкм}$;

окончательное шлифование $Rz_6 = 2,5 \text{ мкм}$, $h_6 = 2,5 \text{ мкм}$.

Значения шероховатости и глубины дефектного слоя для переходов записываем в соответствующие графы табл. 8.3.

Для каждого перехода рассчитываем значение пространственных отклонений ρ_i .

При штамповке на ГКМ пространственные отклонения обусловлены образуемой кривизной заготовки, смещением элементов штампа в процессе формирования шейки вала. Кроме того, перед токарной обработкой в штампованной заготовке сверлением получают центровые отверстия.

Таблица 8.3

МГТУ им. Н.Э. Баумана	КАРТА РАСЧЕТА ПРИПУСКОВ НА ОБРАБОТКУ ПРЕДЕЛЬНЫХ РАЗМЕРОВ ПО ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПЕРЕХОДАМ		Наименование детали: вал										Группа МТЗ-91 (Индекс группы)
			Вид заготовки: <i>штамповка на ГКМ</i>				Марка материала: <i>сталь 45</i>		Студент: <i>Иванов П.И.</i> (Фамилия, инициалы)				
Факультет <i>МТ</i>													
Кафедра <i>МТ-3</i>													
Элементарная поверхность детали. Технологический маршрут ее обработки с указанием качества точности и шероховатости поверхности по переходам	Элементы припуска, мкм		Расчетный минимальный припуск, мкм	Расчетный размер, мм	Допуск, мкм	Принятые (округленные) размеры заготовки по переходам, мм		Полученные предельные значения припусков		Примечание			
	R_z	h_i				ρ_i	ϵ_i	наибольший	наименьший		$Z_{\text{полн}}$	Z_{max}	
<i>Штамповка на ГКМ</i>	160	100	610	—	25,767	1300	27,1	25,8					
1. Черновое точение	80	50	40	0	23,797	210	24,01	23,8	2,00	3,09			
2. Получистовое точение	40	38	2	0	23,457	84	23,451	23,457	0,343	0,469			
3. Чистовое точение	25	25	0	0	23,297	52	23,349	23,297	0,16	0,192			
4. Тонкое точение	10	10	0	0	23,207	33	23,240	23,207	0,090	0,109			
Термическая обработка — закалка			60	—									
5. Шлифование преварительное	10	10	3	0	23,047	23	23,07	23,047	0,16	0,17			
6. Шлифование окончательное	2,5	2,5	0	0	23,001	11	23,012	23,001	0,046	0,058			
								$Z_0 \rightarrow$	2,799	4,088			

Пространственные отклонения зацентрированной штампованной заготовки определяем по формуле

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

где ρ_k — кривизна заготовки, мм; $\rho_{\text{см}}$ — смещение штампуемой правой шейки заготовки (см. рис. 8.2) по отношению к остальной цилиндрической части заготовки, мм; $\rho_{\text{ц}}$ — пространственные отклонения (смещение осей центровых отверстий), которые возникли при зацентровке вала, мм.

Величину кривизны рассчитываем как

$$\rho_k = \rho_{k_y} l_c,$$

где ρ_{k_y} — удельная кривизна, мкм на 1 мм длины заготовки (мкм/мм); l_c — расстояние от крайнего левого торца детали до среднего сечения вала.

Пространственные отклонения, которые возникают при зацентровке, определяем по формуле

$$\rho_{\text{ц}} = 0,25\sqrt{T_{\text{заг}}^2 + 1}.$$

При $T_{\text{заг}} = 1,3$ мм получаем $\rho_{\text{ц}} = 0,25\sqrt{1,3^2 + 1} = 0,425$ мм.

Величины удельной кривизны ρ_{k_y} и смещения штампа $\rho_{\text{см}}$ устанавливаем по таблицам [6, гл. 4]: $\rho_{k_y} = 6$ мкм/мм; $\rho_{\text{см}} = 0,25$ мм.

Рассчитываем величину кривизны для сечения детали, совпадающего с левым торцом (см. рис. 8.2) шейки $\varnothing 23k6$, при $l_c = 60$ мм:

$$\rho_k = 6 \cdot 60 = 360 \text{ мкм.}$$

Величина пространственных отклонений зацентрированной заготовки $\rho_{\text{заг}} = \sqrt{360^2 + 250^2 + 425^2} = 610$ мкм.

При выполнении последующих переходов пространственные отклонения будут частично сохраняться в результате явления копирования. Их рассчитываем по формуле

$$\rho_i = K_y \rho_{i-1},$$

где ρ_{i-1} — пространственные отклонения, полученные на предшествующем переходе; K_y — коэффициент уточнения (копирования)

погрешностей, для черновых переходов обработки $K_y = 0,06$; для получистовых переходов $K_y = 0,0547$; для чистовых и отделочных переходов $K_y = 0,04$.

В результате термической обработки изменяется форма детали. Кривизну вала рассчитываем по формуле

$$\rho_{\text{то}} = \rho_{\text{т.у}} L/2,$$

где L — общая длина детали, мм; $\rho_{\text{т.у}}$ — удельное значение кривизны стержня заготовки при термической обработке. Найдем ее значение для рассматриваемого случая в таблице [6, гл. 4]: $\rho_{\text{т.у}} = 1$ мкм/мм. Тогда предельная кривизна заготовки после термической обработки при длине $L = 120$ мм составит $\rho_{\text{то}} = 1 \cdot 60 = 60$ мкм.

Определяем пространственные отклонения после выполнения технологических переходов:

черновое точение $\rho_1 = K_y \rho_{\text{нар}} = 0,06 \cdot 610 = 36,6$ мкм ≈ 40 мкм;

получистовое точение $\rho_2 = K_y \rho_1 = 0,0547 \cdot 36,6 \approx 2$ мкм;

чистовое точение $\rho_3 = K_y \rho_2 = 0,04 \cdot 2 = 0,08 \approx 0$;

термическая обработка (закалка) $\rho_{\text{то}} = 60$;

предварительное шлифование $\rho_6 = K_y \rho_{\text{то}} = 0,04 \cdot 60 = 2,4 \approx 3$ мкм.

Для каждого перехода обработки выявляем погрешность установки ϵ_i . В данном случае схема установки будет одна и та же — в центрах с поводком. Погрешность установки ϵ_i для этой схемы равна нулю.

Для каждого перехода обработки рассчитываем минимальный припуск по формуле

$$2Z_{i\text{min}} = 2 \left(R_{z_{i-1}} + h_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \epsilon_i^2} \right).$$

Тогда получаем припуски:

черновое точение $2Z_{1\text{min}} = 2 (160 + 200 + 610) = 1970$ мкм;

получистовое точение $2Z_{2\text{min}} = 2 (80 + 50 + 40) = 340$ мкм;

чистовое точение $2Z_{3\text{min}} = 2 (40 + 38 + 2) = 160$ мкм;

тонкое точение $2Z_{4\text{min}} = 2 (20 + 25) = 90$ мкм;

предварительное шлифование $2Z_{5\text{min}} = 2 (10 + 10 + 60) = 160$ мкм;

окончательное шлифование $2Z_{6\text{min}} = 2 (10+10+3) = 46$ мкм.

Расчет минимальных припусков закончен, значения ρ_i , ε_i , $Z_{i \min}$ заносим в табл. 8.3.

Переходим к расчету промежуточных размеров.

Вычисляем наименьшие расчетные размеры по переходам. Начинаем с последнего перехода обработки:

шлифование окончательное

$$d_{6 \min p} = d_{\text{чертежа min}} = 23,001 \text{ мм};$$

шлифование предварительное

$$d_{5 \min p} = d_{6 \min p} + Z_{6 \min} = 23,001 + 0,046 = 23,047 \text{ мм};$$

точение тонкое

$$d_{4 \min p} = d_{5 \min p} + Z_{5 \min} = 23,047 + 0,160 = 23,207 \text{ мм};$$

точение чистовое

$$d_{3 \min p} = d_{4 \min p} + Z_{4 \min} = 23,207 + 0,090 = 23,297 \text{ мм};$$

точение получистовое

$$d_{2 \min p} = d_{3 \min p} + Z_{3 \min} = 23,297 + 0,160 = 23,457 \text{ мм};$$

точение черновое

$$d_{1 \min} = d_{2 \min p} + Z_{2 \min} = 23,457 + 0,340 = 23,797 \text{ мм};$$

штамповка на ГKM

$$d_{\text{шт min}} = d_{1 \min p} + Z_{1 \min} = 23,797 + 1,970 = 25,967 \text{ мм}.$$

Определяем предельные наименьшие размеры по переходам $d_{i \min}$, для чего округляем расчетные наименьшие размеры в сторону увеличения до такого десятичного знака, который имеет допуск:

штамповка на ГKM $d_{\text{шт min}} = 25,8 \text{ мм}$, $T_{\text{шт}} = 1,3 \text{ мм}$;

черновое точение $d_{1 \min} = 23,8 \text{ мм}$, $T_1 = 0,21 \text{ мм}$;

получистовое точение $d_{2 \min} = 23,457 \text{ мм}$, $T_2 = 0,084 \text{ мм}$;

чистовое точение $d_{3 \min} = 23,297 \text{ мм}$, $T_3 = 0,052 \text{ мм}$;

тонкое точение $d_{4 \min} = 23,207 \text{ мм}$, $T_4 = 0,033 \text{ мм}$;

шлифование предварительное $d_{5 \min} = 23,047 \text{ мм}$, $T_5 = 0,023 \text{ мм}$;

шлифование окончательное $d_{6 \min} = 23,001 \text{ мм}$, $T_6 = 0,011 \text{ мм}$.

Рассчитываем предельные максимальные размеры по переходам $d_{i \max}$:

штамповка на ГКМ $d_{\text{заг max}} = d_{\text{заг min}} + T_{\text{заг}} = 27,1$ мм;

черновое точение $d_{1 \text{ max}} = d_{1 \text{ min}} + T_1 = 24,01$ мм;

получистовое точение $d_{2 \text{ max}} = d_{2 \text{ min}} + T_2 = 23,541$ мм;

чистовое точение $d_{3 \text{ max}} = d_{3 \text{ min}} + T_3 = 23,349$ мм;

тонкое точение $d_{4 \text{ max}} = d_{4 \text{ min}} + T_4 = 23,240$ мм;

шлифование предварительное $d_{5 \text{ max}} = d_{5 \text{ min}} + T_5 = 23,070$ мм;

шлифование окончательное $d_{6 \text{ max}} = d_{6 \text{ min}} + T_6 = 23,012$ мм.

Определяем размеры по переходам. Для внешней цилиндрической поверхности отклонения размеров указывают в тело детали:

штамповка на ГКМ — $26,2^{+0,9}_{-0,4}$;

черновое точение — $24,01_{0,21}$;

получистовое точение — $23,541_{0,084}$;

чистовое точение — $23,349_{0,052}$;

тонкое точение — $23,240_{0,033}$;

шлифование окончательное — $23,070_{0,023}$;

шлифование предварительное — $23,012^{+0,012}_{-0,001}$.

Корректируем припуски на основе установленных предельных размеров:

$$Z_{i \text{ min}} = d_{i-1 \text{ min}} - d_{i \text{ min}}; \quad Z_{i \text{ max}} = d_{i-1 \text{ max}} - d_{i \text{ max}}.$$

Тогда после вычисления получаем:

черновое точение $Z_{1 \text{ min}} = 2,0$ мм, $Z_{1 \text{ max}} = 3,09$ мм;

получистовое точение $Z_{2 \text{ min}} = 0,343$ мм, $Z_{2 \text{ max}} = 0,469$ мм;

чистовое точение $Z_{3 \text{ min}} = 0,160$ мм, $Z_{3 \text{ max}} = 0,192$ мм;

тонкое точение $Z_{4 \text{ min}} = 0,090$ мм, $Z_{4 \text{ max}} = 0,109$ мм;

шлифование окончательное $Z_{5 \text{ min}} = 0,16$ мм, $Z_{5 \text{ max}} = 0,170$ мм;

шлифование предварительное $Z_{6 \text{ min}} = 0,046$ мм, $Z_{6 \text{ max}} = 0,058$ мм.

Для рассматриваемой детали:

общий минимальный припуск $Z_{0 \text{ min}} = 2,799$ мм;

общий максимальный припуск $Z_{0 \text{ max}} = 4,088$ мм.

Для проверки правильности расчетов воспользуемся равенством

$$Z_{0 \text{ max}} - Z_{0 \text{ min}} = T_{\text{заг}} - T_6.$$

В данном случае

$$4,088 - 2,799 = 1,3 - 0,011 = 1,289 \text{ мм.}$$

Поскольку выполняется приведенное выше равенство, можем сделать вывод, что расчеты проведены верно.

Результаты расчета припусков и промежуточных размеров заносим в табл. 8.3.

8.2.6. Пример оформления эскизов операций маршрута изготовления детали

Операция 005. Заготовительная

Оборудование: горизонтально-ковочная машина



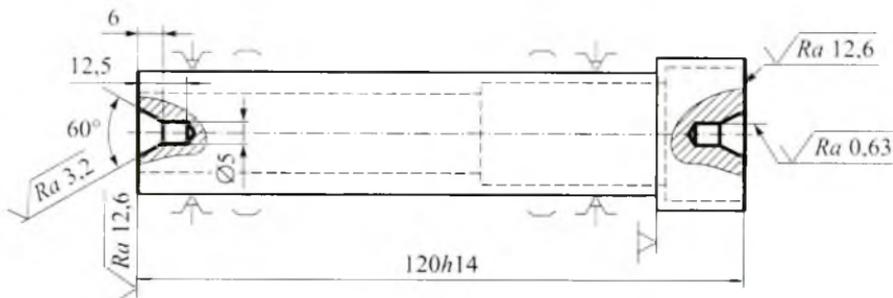
Операция 010. Термическая

Оборудование: печь термическая

Отжиг штамповки

Операция 015. Фрезерно-центровальная

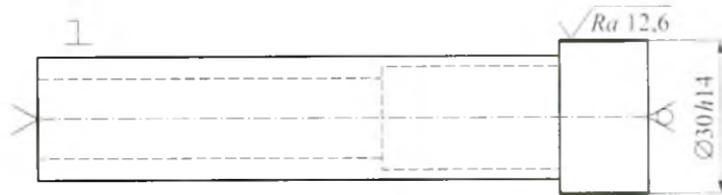
Оборудование: фрезерно-центровальный станок



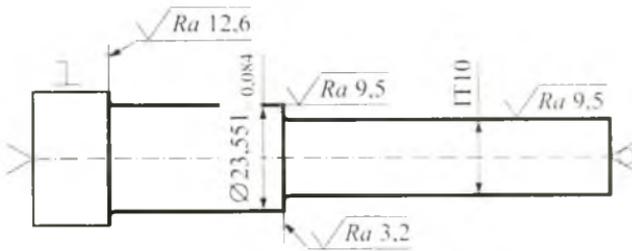
Операция 020. Токарно-винторезная (2 установка)

Оборудование: токарно-винторезный станок

Установ 1

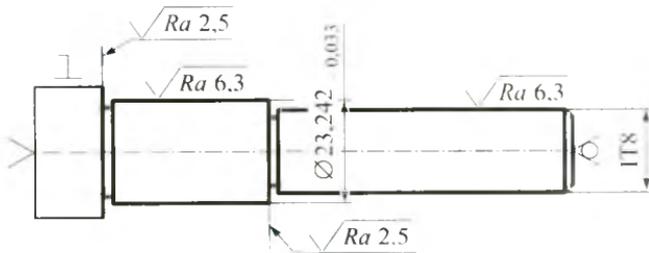


Установ 2



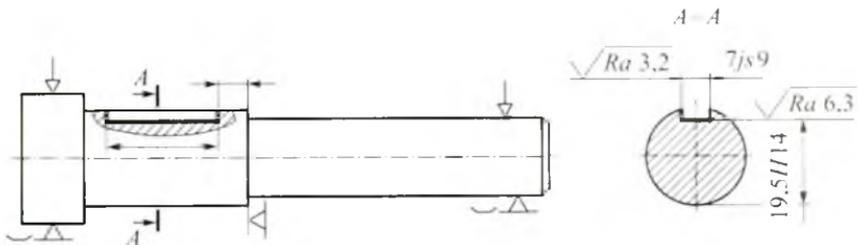
Операция 025. Токарная с ЧПУ

Оборудование: токарный станок с ЧПУ



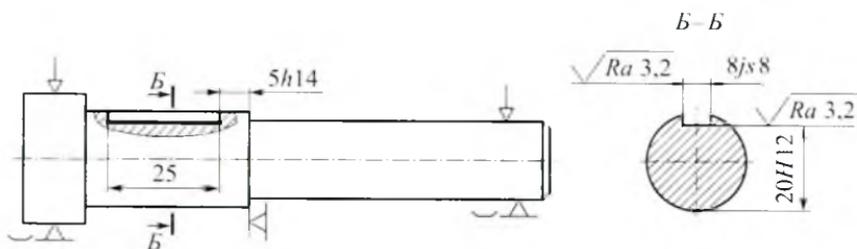
Операция 030. Шпоночно-фрезерная

Оборудование: шпоночно-фрезерный станок



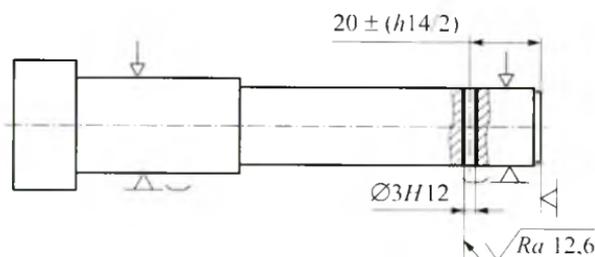
Операция 035. Шпоночно-фрезерная

Оборудование: шпоночно-фрезерный станок



Операция 040. Вертикально-сверлильная

Оборудование: вертикально-сверлильный станок



Операция 045. Термическая

Оборудование: печь термическая

Закалить поверхности до HRC 40...45

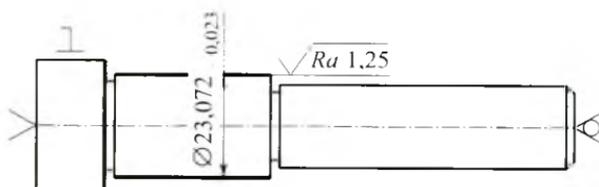
Операция 050. Токарная

Оборудование: токарный станок

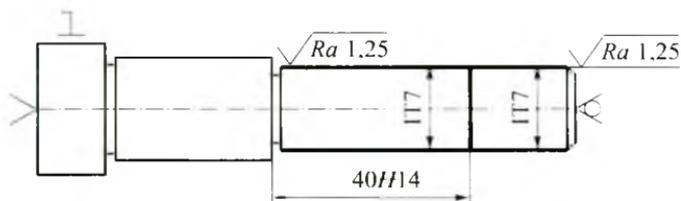
Править центровые фаски

Операция 055. Круглошлифовальная

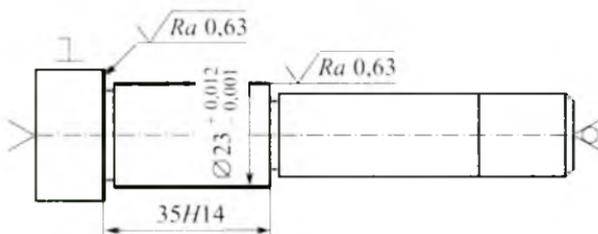
Оборудование: круглошлифовальный станок



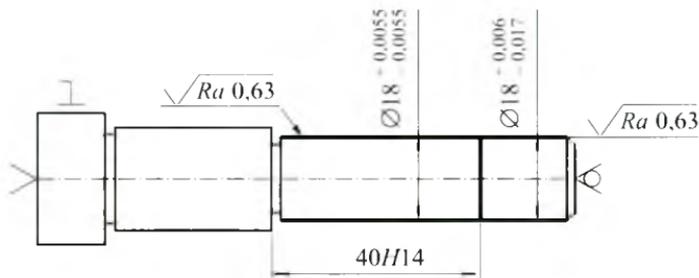
Операция 060. Круглошлифовальная
Оборудование: круглошлифовальный станок



Операция 065. Круглошлифовальная
Оборудование: круглошлифовальный станок



Операция 070. Круглошлифовальная
Оборудование: круглошлифовальный станок



Операция 075. Моечная
Оборудование: ванна моечная
Промыть деталь в горячем содовом растворе

Операция 080. Контрольная
Оборудование: плита контрольная

Контроль окончательный размеров, параметров микронеровностей и физико-механических свойств поверхностного слоя, а также технических требований по взаимному расположению поверхностей.

8.3. ЗАДАНИЯ

Задача 8.3.1. Разработать маршрутный технологический процесс изготовления вала (рис. 8.4) в условиях заданного типа производства. Неуказанные предельные отклонения размеров: $H14$, $h14$, $\pm IT14/2$.

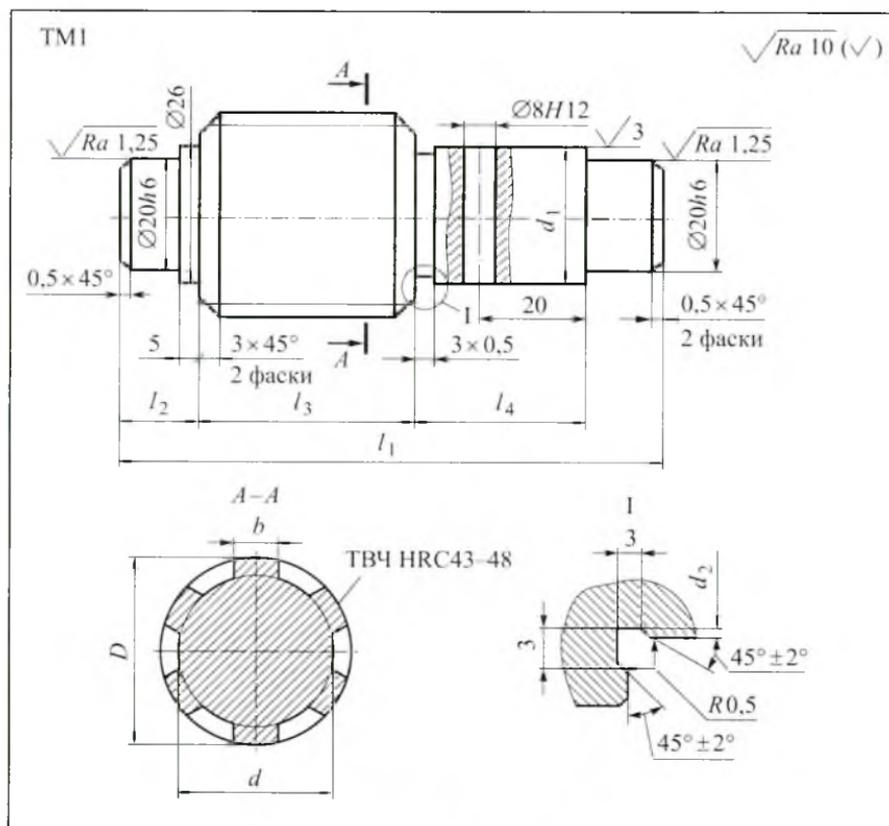


Рис. 8.4

Исходные данные	Вариант		
	1	2	3
Размеры шлицев	$d-8 \times 36f7 \times 40 \times 7h8$	$D-8 \times 36 \times 40f \times 7f8$	$b-8 \times 36 \times 40 \times 7f8$
Диаметр, мм: d_1 d_2	30j6 $d_1 - 0,5$ мм	25j6 $d_1 - 0,5$ мм	20j6 $d_1 - 0,5$ мм
Длина, мм: l_1 l_2 l_3 l_4	100 20 30 30	300 70 100 60	160 30 60 40
Параллельность боковых поверхностей шлицев, мм	$\leq 0,02$ на 100 мм длины		
Биение центрирующих поверхностей шлицев относительно шеек $20h/6$, мм	0,02		
<i>Изменяемые исходные данные</i>			
Материал	Сталь 45	Сталь 40X	Сталь 40
Тип производства	Мелкосерийное	Серийное	Единичное
Шероховатость, мкм, $\sqrt{1}$, $\sqrt{2}$, $\sqrt{3}$	Ra 0,63	Ra 1,25	Ra 0,32
Твердость поверхности d_1	HB 280—320	HRC, 45—50	HRC, 40—45

Задача 8.3.2. Разработать маршрутный технологический процесс изготовления вала (рис. 8.5) в условиях заданного типа производства. Неуказанные предельные отклонения размеров: $H14$, $h14$, $\pm IT14/2$.

Исходные данные	Вариант		
	1	2	3
Диаметр, мм: d_1 d_2 d_3	18g6 18j6 23	15g6 15j6 20	16g6 16j6 22
Длина, мм: l_1 l_2	120 40	155 60	170 80

Задача 8.3.3. Разработать маршрутный технологический процесс изготовления вала (рис. 8.6) в условиях заданного типа производства. Неуказанные предельные отклонения размеров: $H14$, $h14$, $\pm IT14/2$.

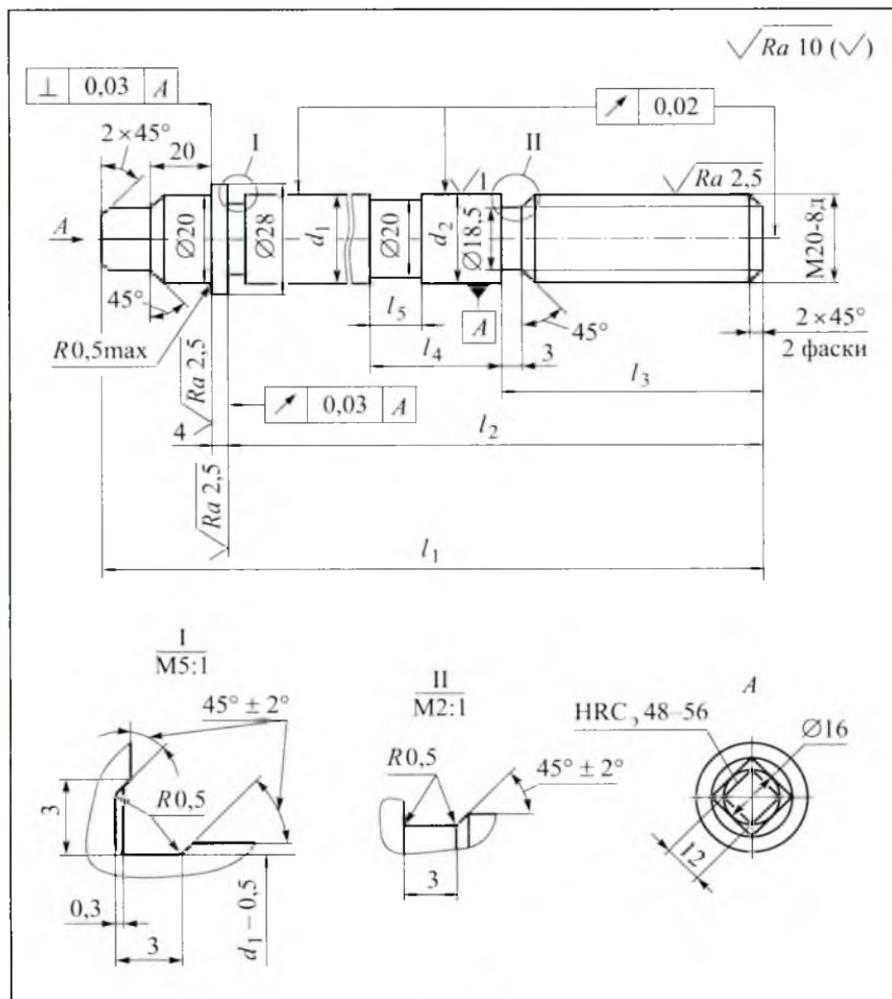


Рис. 8.6

Исходные данные	Вариант		
	1	2	3
Длина, мм:			
l_1	260	260	155
l_2	220	210	115
l_3	60	50	40
l_4	100	120	55
l_5	40	40	30
<i>Изменяемые исходные данные</i>			
Диаметр, мм:			
d_1	21f7	23f7	22f7
d_2	21g6	22g6	23g6
Материал	Сталь 45	Сталь 40X	Сталь 40
Тип производства	Мелкосерийное	Серийное	Единичное
Шероховатость, мкм:			
$\sqrt{1}$	Ra 0,63	Ra 1,25	Ra 0,32
$\sqrt{2}$	Ra 0,32	Ra 0,63	Ra 1,25
Твердость поверхности d_1	HB 280—320	HRC, 45—50	HRC, 40—45

Задача 8.3.4. Разработать маршрутный технологический процесс изготовления вала (рис. 8.7) в условиях заданного типа производства. Неуказанные предельные отклонения размеров: $H14$, $h14$, $\pm IT14/2$.

Исходные данные	Вариант		
	1	2	3
Диаметр, мм:			
d_1	60k6	25k6	20k6
d_2	70h6	35h6	30h6
d_3	90	55	40
d_4	30k6	25k6	20k6
Длина, мм:			
l_1	300	220	180
l_2	55	40	30
l_3	65	50	40
l_4	80	60	45
Ширина паза b , мм	12P9	10P9	8P9
Высота паза h , мм	25H12	20H12	15H12

Исходные данные	Вариант		
	1	2	3
<i>Изменяемые исходные данные</i>			
Материал	Сталь 40	Сталь 40X	Сталь 45
Тип производства	Мелкосерийное	Серийное	Единичное
Шероховатость d_4 , мкм	Ra 0,32	Ra 0,63	Ra 1,25
Твердость поверхностей d_2 и d_4	HB 280—320	HRC, 30—35	HRC, 40—45

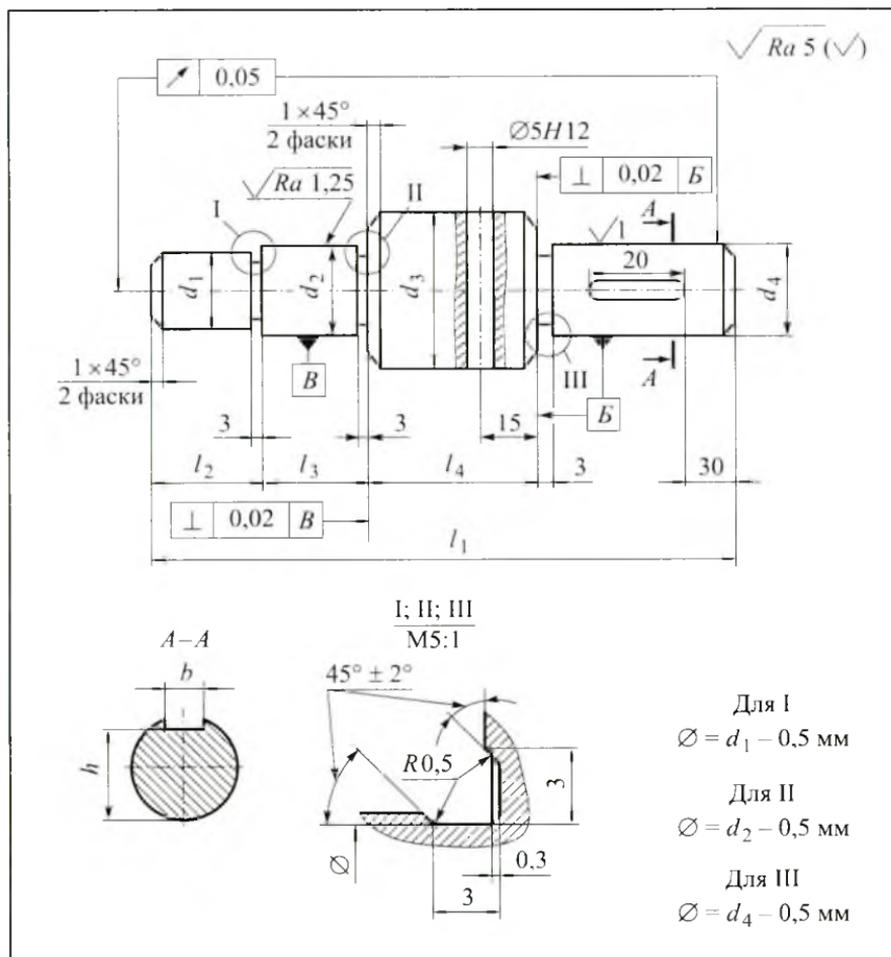


Рис. 8.7

Задача 8.3.5. Разработать маршрутный технологический процесс изготовления вала (рис. 8.8) в условиях заданного типа производства. Неуказанные предельные отклонения размеров: $H/14$, $h/14$, $\pm IT14/2$.

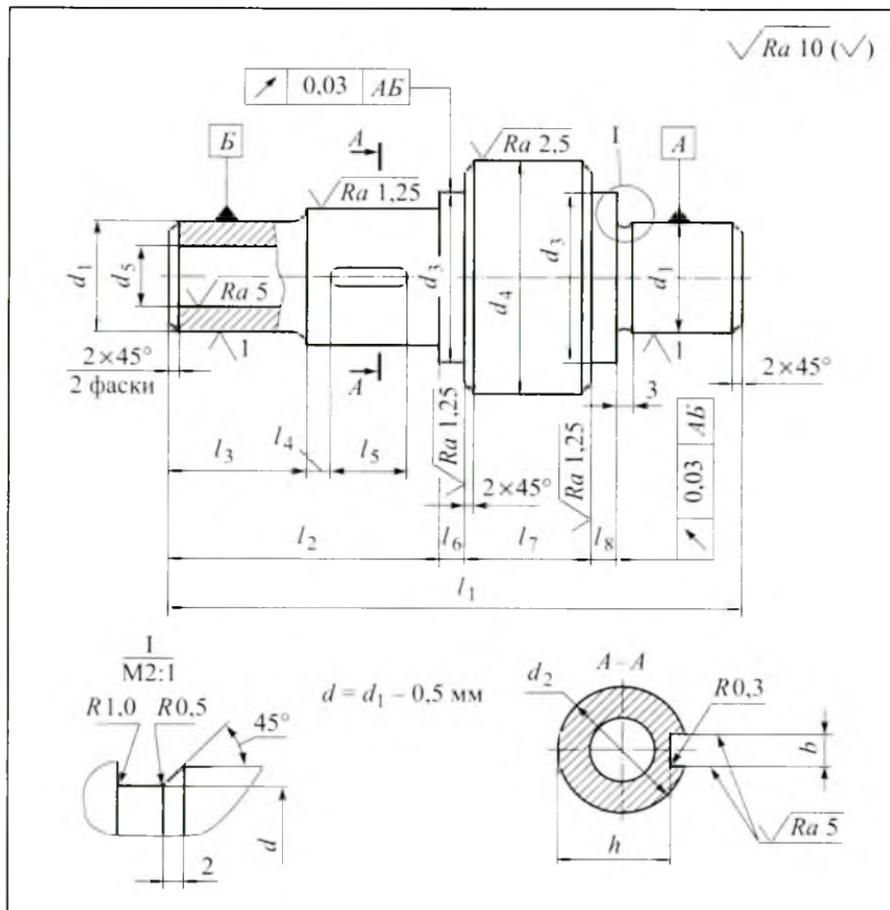


Рис. 8.8

Исходные данные	Вариант		
	1	2	3
Диаметр, мм:			
d_1	25k6	45f7	35k6
d_2	30j6	50j6	40k6
d_3	38	60	50
d_4	50	80	70
d_5	15	25	20
Длина, мм:			
l_1	125	180	220
l_2	60	80	100
l_3	30	35	45
l_4	5	10	10
l_5	20	30	35
$l_6 = l_8$	5	10	10
l_7	25	40	40
Ширина паза b , мм	12P9	20P9	16P9
Высота паза h , мм	25H12	44H12	35H12
<i>Изменяемые исходные данные</i>			
Материал	Сталь 40X	Сталь 45	Сталь 40
Тип производства	Мелкосерийное	Серийное	Единичное
Шероховатость $\sqrt{1}$, мкм	Ra 0,32	Ra 0,63	Ra 1,25
Твердость поверхностей d_1	HB 280—320	HRC, 45—50	HRC, 40—45

Задача 8.3.6. Разработать маршрутный технологический процесс изготовления вала (рис. 8.9) в условиях заданного типа производства. Неуказанные предельные отклонения размеров: H14, h14, $\pm IT14/2$.

Исходные данные	Вариант		
	1	2	3
Модуль m , мм	4	3	2,5
Число зубьев z	22	18	26
Угол наклона зуба, град	0		
Направление линии зуба	Прямозубое		
Коэффициент смещения исходного контура x	0		

Исходные данные	Вариант		
	1	2	3
Диаметр, мм:			
D	88	60	70
d_1	40	45	30
d_2	50	55	36
d_3	60	—	45
Длина, мм:			
l_1	160	130	135
l_2	10	—	10
l_3	70	60	55
l_4	40	30	26
l_5	60	40	50
Ширина b , мм	16	14	10
Глубина паза t_1 , мм	5,5	5,5	4,5
Шероховатость, мкм:			
$\sqrt{2}$	Ra 1,25	Ra 2,5	Ra 6,3
$\sqrt{4}$	Ra 0,8	Ra 1,25	Ra 2,5
$\sqrt{5}$	Ra 0,8	Ra 1,25	Ra 2,5
<i>Изменяемые исходные данные</i>			
Материал	Сталь 40X	Сталь 45	Сталь 20X
Тип производства	Мелкосерийное	Серийное	Единичное
Шероховатость, мкм:			
$\sqrt{1}$	Ra 0,63	Ra 1,25	Ra 2,5
$\sqrt{3}$	Ra 1,25	Ra 0,63	Ra 0,32
Твердость поверхности d_1	HRC, 50—55	HRC, 45—50	HRC, 40—45
Степень точности по ГОСТ 1643–72	7D	8B	6C

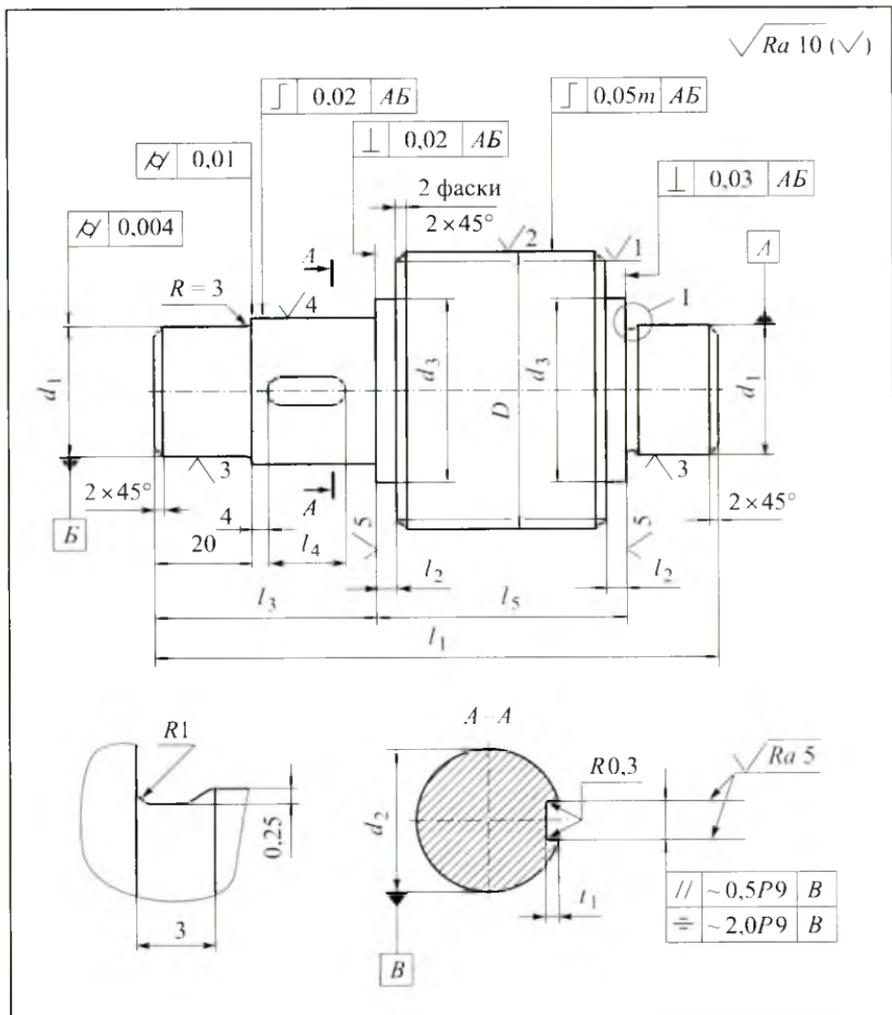


Рис. 8.9

Задача 8.3.7. Разработать маршрутный технологический процесс изготовления рычага (рис. 8.10) в условиях заданного типа производства. Неуказанные предельные отклонения размеров: $H14$, $h14$, $\pm IT14/2$, шероховатость шести фасок $Ra 10$. Неуказанные литейные и штамповочные радиусы и радиусы сопряжения назначить в зависимости от размеров заготовок по ГОСТ 25346–89.

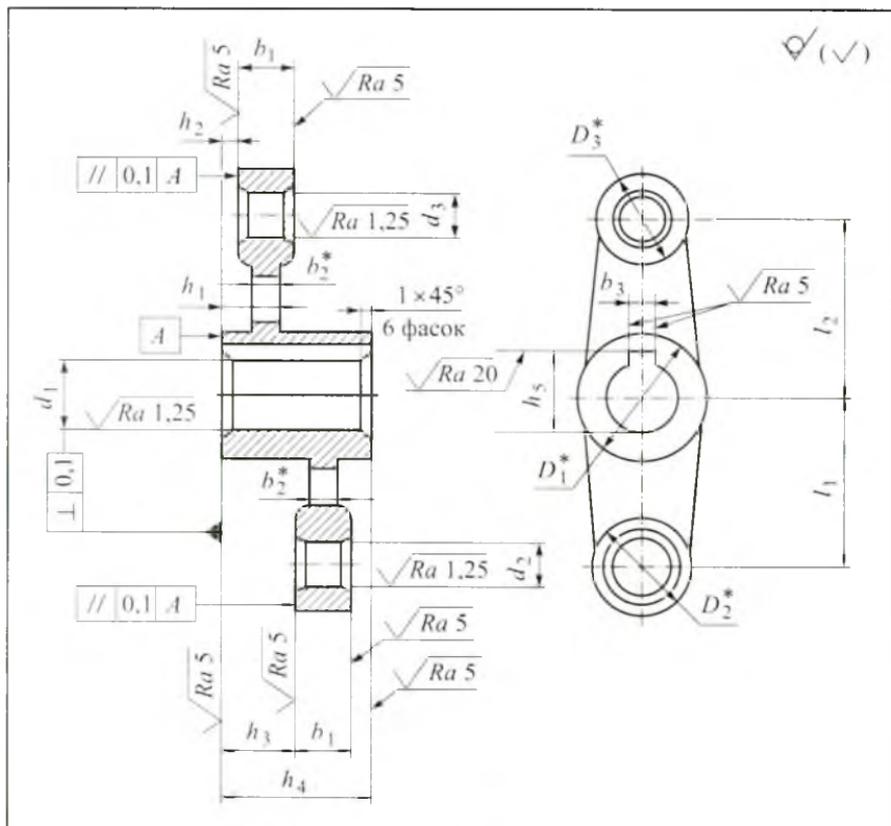


Рис. 8.10

Исходные данные	Вариант		
	1	2	3
Диаметр, мм:			
d_1	20H7	30H7	38H7
d_2	15H7	23H7	30H7
d_3	12H7	18H7	25H7
D_1	38	55	75
D_2	30	44	54
D_3	26	38	52
Межосевые расстояния $l_1 = l_2$, мм	$50 \pm 0,031$	$75 \pm 0,037$	$100 \pm 0,043$
Толщина, мм:			
h_1	$18_{1,0}$	$28_{1,0}$	$36_{1,0}$
h_2	5H12	8H12	10H12
h_3	15H12	30H12	42H12

Исходные данные	Вариант		
	1	2	3
Толщина, мм: серьги h_4 бобышки b_1 стержня b_2	42H11 16h11 9h14	62H11 24h11 13h14	82H11 32h11 18h14
Глубина паза h_5 , мм	22,8 ^{+0,1}	33,3 ^{+0,2}	41,3 ^{+0,2}
Ширина паза b_3 , мм	6D10	8D10	10D10
<i>Изменяемые исходные данные</i>			
Материал	Чугун СЧ21	Сталь 30	Сталь 30Л
Тип производства	Мелкосерийное	Серийное	Единичное

Задача 8.3.8. Разработать маршрутный технологический процесс изготовления вала (рис. 8.11) в условиях заданного типа производства. Неуказанные предельные отклонения размеров: $H14$, $h14$, $\pm IT14/2$. Неуказанные литейные и штамповочные радиусы и радиусы сопряжения назначить по ГОСТ 25346–89 в пределах 2...40 мм в зависимости от размеров заготовок.

Исходные данные	Вариант		
	1	2	3
Диаметр, мм: d_1 d_2 d_3 D	15H7 32H12 5H12 35	30H7 65H12 10H12 70	60H7 100H12 20H12 100
Расстояние, мм: l_1 l_2 b_1 b_3 b_6	85 2,5H14 17h14 5h12 8	125 2,5H14 35h14 10h12 15	190 5H14 70h14 20h12 30
Ширина бобышки, мм: b_2 b_5	30 15h11	60 30h11	120 60h11
Толщина стержня, мм: b_4 b_7	9 9	20 20	40 30

Исходные данные	Вариант		
	1	2	3
Радиус R	30	44	80
<i>Изменяемые исходные данные</i>			
Материал	Сталь 40X	Чугун СЧ21	Чугун КЧ37
Тип производства	Мелкосерийное	Серийное	Единичное
Поле допуска b_2	$h8$	$h10$	$h12$
Шероховатость $\sqrt{1}$ и $\sqrt{2}$. мкм	$Ra 6,3$	$Ra 2,5$	$Ra 1,25$

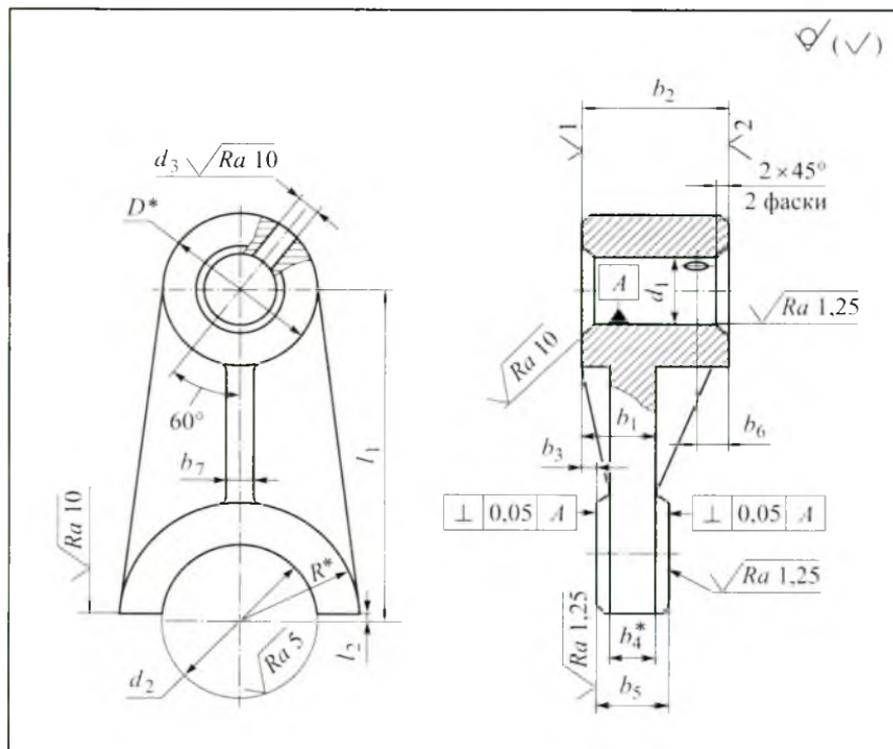


Рис. 8.11

Задача 8.3.9. Разработать маршрутный технологический процесс изготовления вилки (рис. 8.12) в условиях заданного типа производства. Неуказанные предельные отклонения размеров: $H/14$, $h/14$, $\pm IT14/2$. Неуказанные литейные и штамповочные радиу-

сы и радиусы сопряжения назначить в зависимости от размеров заготовок по ГОСТ 25346–89.

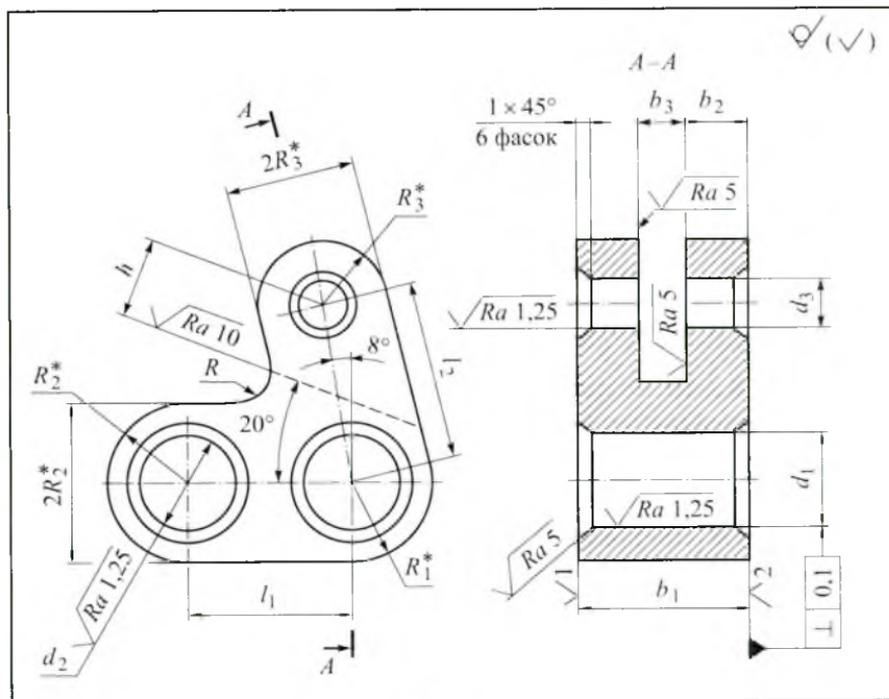


Рис. 8.12

Исходные данные	Вариант		
	1	2	3
Диаметр, мм:			
d_1	22H7	32H7	42H7
d_2	22H7	32H7	42H7
d_3	12H7	16H7	20H7
Расстояние, мм:			
$l_1 = l_2$	40 ± 0.031	60 ± 0.037	85 ± 0.043
h	16H12	22H12	28H12
Ширина, мм:			
вилки b_1	40	50	60
b_2	14h11	17h11	20h11
паза b_3	12H11	16H11	20H11

Исходные данные	Вариант		
	1	2	3
Радиус, мм:			
R	5	10	15
R_1	22	30	38
R_2	22	30	38
R_3	15	20	25
<i>Изменяемые исходные данные</i>			
Материал	Сталь 30	Чугун СЧ21	—
Тип производства	Мелкосерийное	Серийное	Единичное
Поле допуска h_1	$h8$	$h10$	$h12$
Шероховатость $\sqrt{1}$ и $\sqrt{2}$, мкм	$Ra 6,3$	$Ra 2,5$	$Ra 1,25$

Задача 8.3.10. Разработать маршрутный технологический процесс изготовления вилки (рис. 8.13) в условиях заданного типа производства. Неуказанные предельные отклонения размеров: $H14$, $h14$, $\pm IT14/2$. Неуказанные литейные и штамповочные радиусы и радиусы сопряжения назначить в зависимости от размеров заготовок по ГОСТ 25346–89.

Исходные данные	Вариант		
	1	2	3
Диаметр, мм:			
d_1	18H7	25H7	36H7
$d_2 = d_3$	8H7	12H7	16H7
d_4	5H12	8H12	12H12
D_1	30	45	60
D_2	18	25	36
Расстояние, мм:			
l	60	90	120
h_1	2	3	4
h_2	7	10	14
Ширина, мм:			
бобышки b_1	44	60	80
b_2	64H12	96H12	128H12
вилки b_3	80	120	160
Радиус, мм:			
R_1	34	50	68
R_2	40	60	80

Исходные данные	Вариант		
	1	2	3
<i>Изменяемые исходные данные</i>			
Материал	Сталь 30	Чугун СЧ21	—
Тип производства	Мелкосерийное	Серийное	Единичное

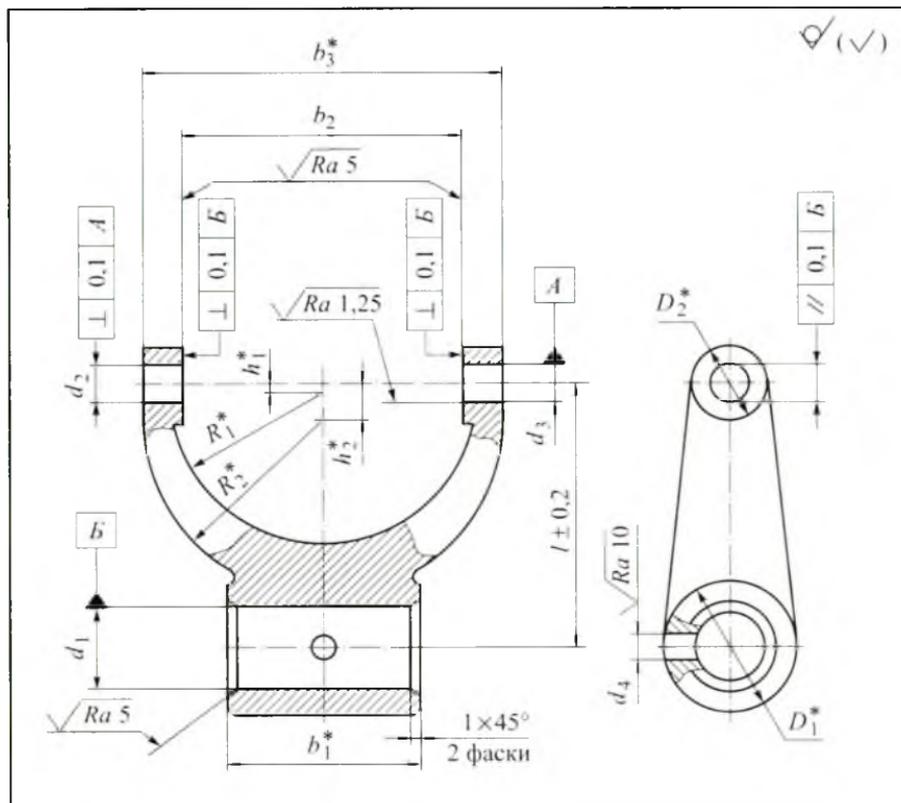


Рис. 8.13

Задача 8.3.11. Разработать маршрутный технологический процесс изготовления рычага (рис. 8.14) в условиях заданного типа производства. Неуказанные предельные отклонения размеров: $H14$, $h14$, $\pm IT14/2$. Неуказанные литейные и штамповочные радиусы и радиусы сопряжения назначить в зависимости от размеров заготовок по ГОСТ 25346–89.

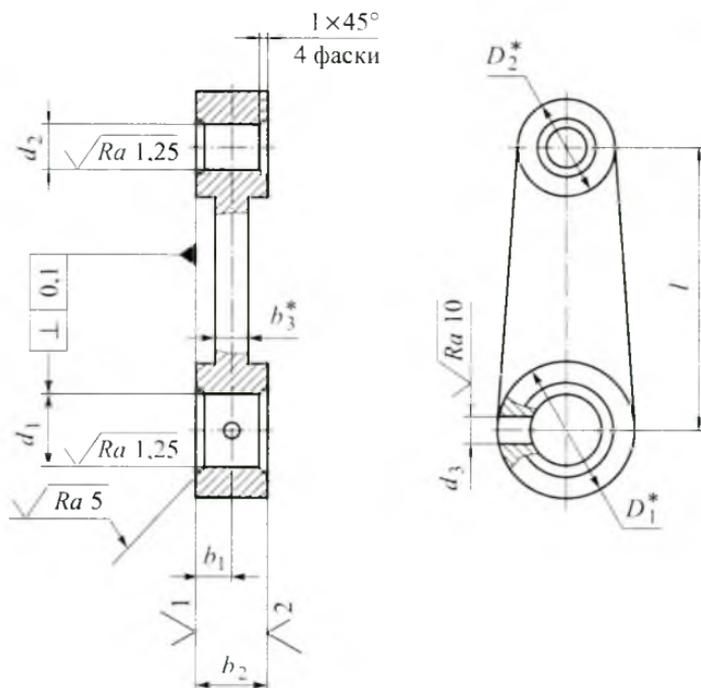


Рис. 8.14

Исходные данные	Вариант		
	1	2	3
мм:	22H7 18H7 6H11 42 34	40H7 30H7 8H11 65 48	55H7 42H7 10H11 80 65
мм:	100 ± 0,043 15	175 ± 0,050 20	250 ± 0,057 25
га b_2 , мм	30	40	50
жня b_3 , мм	20	30	40

Исходные данные	Вариант		
	1	2	3
<i>Изменяемые исходные данные</i>			
Материал	Сталь 30	Чугун СЧ21	—
Тип производства	Мелкосерийное	Серийное	Единичное
Предельные отклонения b_1 , мм	$\pm 0,1$	$\pm 0,25$	$\pm 0,5$
Поле допуска b_2 , мм	<i>H9</i>	<i>H10</i>	<i>H12</i>
Шероховатость $\sqrt{1}$ и $\sqrt{2}$, мкм	<i>Ra 0,63</i>	<i>Ra 1,25</i>	<i>Ra 2,5</i>

Задача 8.3.12. Разработать маршрутный технологический процесс изготовления крышки (рис. 8.15) в условиях заданного типа производства. Неуказанные предельные отклонения размеров: $H14$, $h14$, $\pm IT14/2$. Острые кромки притупить: $r_k = 0,2$.

Исходные данные	Вариант		
	1	2	3
Диаметр, мм:			
D_1	110	145	220
D_2	90	120	190
D_3	70F9	100F9	155f9
D_4	62	90	145
D_5	53	56	125
D_6	43	72	101
D_7	9	11	15
Толщина крышки H_1 , мм	18	23	25
Размер, мм:			
H_2	15	18	20
h_1	50	65	100
l_1	4	6	8
l_4	14	19,5	21
Глубина, мм:			
l_1	14	16	18
l_2	4	6	8
Радиус, мм:			
R_1	1,5	2	2,5
R_2	2		

Исходные данные	Вариант		
	1	2	3
<i>Изменяемые исходные данные</i>			
Материал	Сталь 30	Чугун СЧ21	—
Тип производства	Мелкосерийное	Серийное	Единичное
Предельные отклонения b_1 , мм	$\pm 0,1$	$\pm 0,25$	$\pm 0,5$
Поле допуска b_2 , мм	H9	H10	H12
Шероховатость $\sqrt{1}$ и $\sqrt{2}$, мкм	Ra 0,63	Ra 1,25	Ra 2,5

Задача 8.3.12. Разработать маршрутный технологический процесс изготовления крышки (рис. 8.15) в условиях заданного типа производства. Неуказанные предельные отклонения размеров: H14, h14, $\pm IT14/2$. Острые кромки притупить: $r_k = 0,2$.

Исходные данные	Вариант		
	1	2	3
Диаметр, мм:			
D_1	110	145	220
D_2	90	120	190
D_3	70F9	100F9	155f9
D_4	62	90	145
D_5	53	56	125
D_6	43	72	101
D_7	9	11	15
Толщина крышки H_1 , мм	18	23	25
Радиус, мм:			
H_2	15	18	20
h_1	50	65	100
l_3	4	6	8
l_4	14	19,5	21
Глубина, мм:			
l_1	14	16	18
l_2	4	6	8
Радиус, мм:			
R_1	1,5	2	2,5
R_2	2		

Исходные данные	Вариант		
	1	2	3
<i>Изменяемые исходные данные</i>			
Материал	Сталь 30	Чугун СЧ21	—
Тип производства	Мелкосерийное	Серийное	Единичное
Предельные отклонения b_1 , мм	$\pm 0,1$	$\pm 0,25$	$\pm 0,5$
Поле допуска b_2 , мм	H9	H10	H12
Шероховатость $\sqrt{1}$ и $\sqrt{2}$, мкм	Ra 0,63	Ra 1,25	Ra 2,5

Задача 8.3.12. Разработать маршрутный технологический процесс изготовления крышки (рис. 8.15) в условиях заданного типа производства. Неуказанные предельные отклонения размеров: H/14, h/14, $\pm IT/14/2$. Острые кромки притупить: $r_k = 0,2$.

Исходные данные	Вариант		
	1	2	3
Диаметр, мм:			
D_1	110	145	220
D_2	90	120	190
D_3	70f9	100f9	155f9
D_4	62	90	145
D_5	53	56	125
D_6	43	72	101
D_7	9	11	15
Толщина крышки H_1 , мм	18	23	25
Размер, мм:			
H_2	15	18	20
h_1	50	65	100
l_3	4	6	8
l_4	14	19,5	21
Глубина, мм:			
l_1	14	16	18
l_2	4	6	8
Радиус, мм:			
R_1	1,5	2	2,5
R_2	2	4	6

Исходные данные	Вариант		
	1	2	3
Ширина канавки, мм:			
B_1	4	5	6
B_2	5.5	7.1	8.5
<i>Изменяемые исходные данные</i>			
Материал	Чугун СЧ12	Чугун СЧ15	Чугун СЧ18
Тип производства	Мелкосерийное	Серийное	Единичное

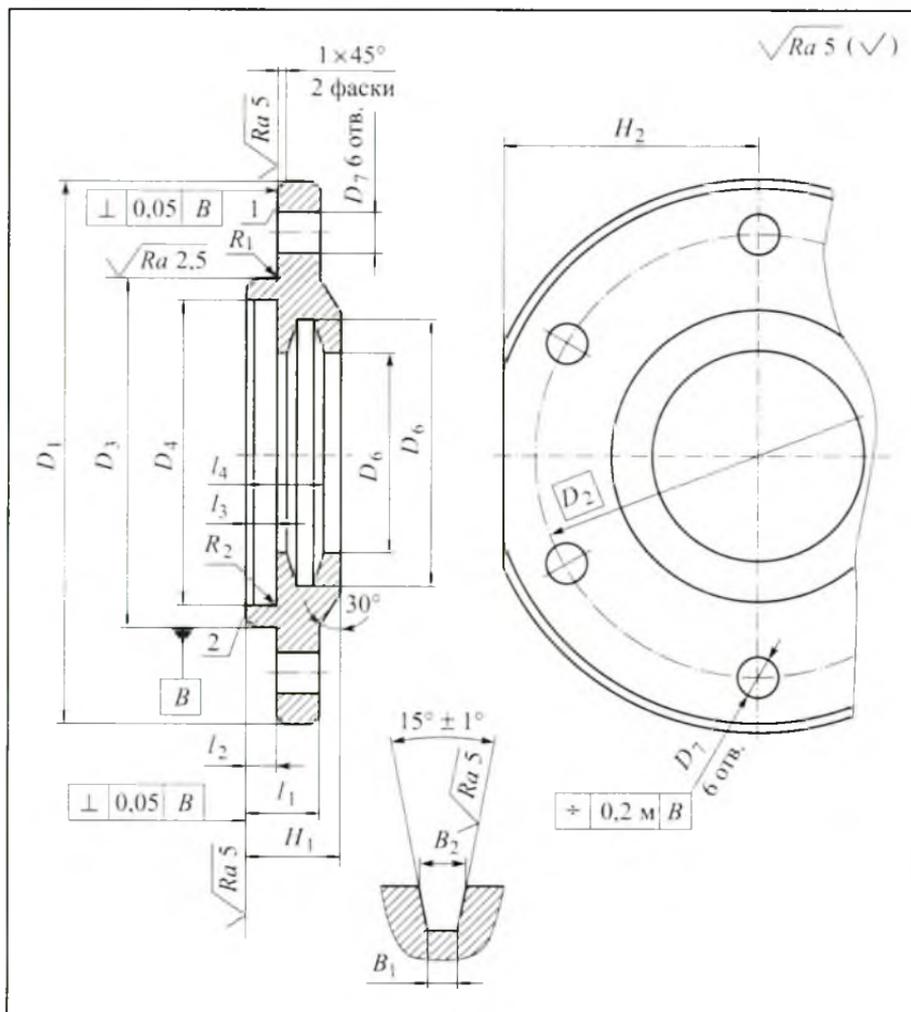


Рис. 8.15

Задача 8.3.13. Разработать маршрутный технологический процесс изготовления крышки (рис. 8.16) в условиях заданного типа производства. Неуказанные предельные отклонения размеров: $H14$, $h14$, $\pm IT14/2$, шероховатость двух фасок $Ra 10$. Острые кромки притупить: $r_k = 0,3$.

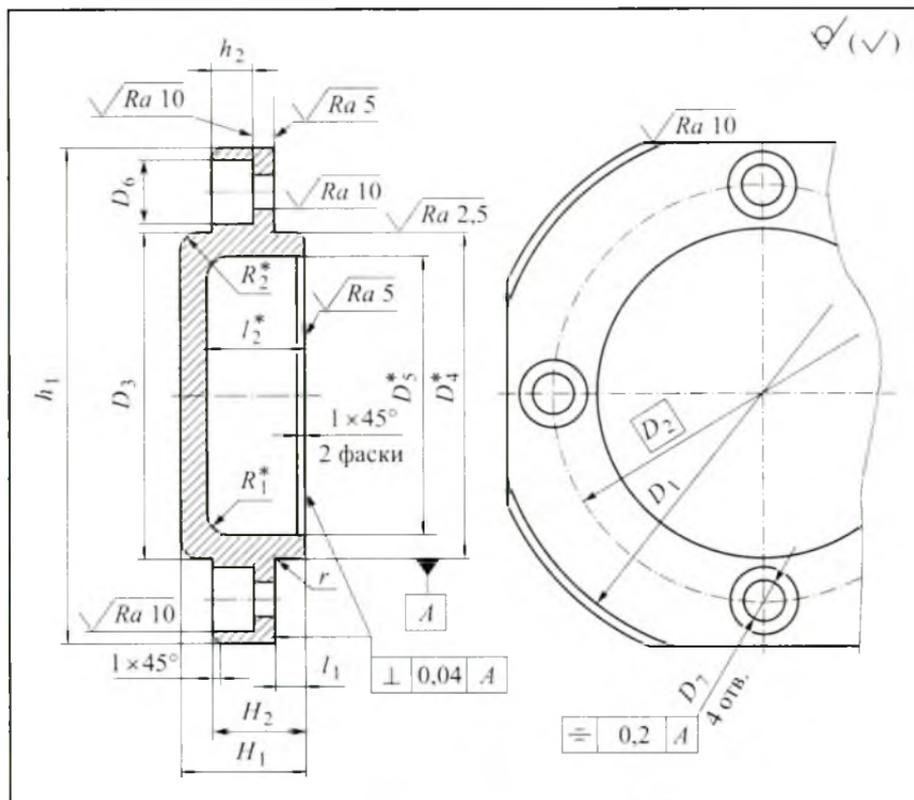


Рис. 8.16

Исходные данные	Вариант		
	1	2	3
Диаметр, мм:			
D_1	85	120	175
D_2	60	94	142
D_3	46	74	120
D_4	45d11	72d11	120d11
D_5	38	62	105
D_6	12	18	20
D_7	7	9	11

Исходные данные	Вариант		
	1	2	3
Толщина крышки H_1 , мм	24	30	36
Размер, мм:			
H_2	19	22	27
h_1	75	115	165
h_2	6	8	10
Глубина, мм:			
l_1	9	10	12
выемки l_2	20	24	29
Радиус, мм:			
r	1	1,5	2
R_1	6	9	12
R_2	4	6	8
<i>Изменяемые исходные данные</i>			
Материал	Чугун СЧ12 Сталь 20Х	Чугун СЧ15 Сталь 45	Чугун СЧ18 Сталь 45Л
Тип производства	Мелкосерийное	Серийное	Единичное

Задача 8.3.14. Разработать маршрутный технологический процесс изготовления крышки (рис. 8.17) в условиях заданного типа производства. Неуказанные предельные отклонения размеров: H_{14} , h_{14} , $\pm IT_{14}/2$.

Исходные данные	Вариант		
	1	2	3
Диаметр, мм:			
D_1	180	220	430
D_2	150	180	370
D_3	80H8	100H8	270H8
D_4	120h11	140h11	330h11
D_5	11	13	17
Длина l , мм	6	8	10
Толщина крышки H , мм	16	20	24
Радиус R , мм	1,5	1,5	1,5
<i>Изменяемые исходные данные</i>			
Материал	Сталь 12ХН3А	Сталь 1Х13Н3	—
Тип производства	Мелкосерийное	Серийное	Единичное

Исходные данные	Вариант		
	1	2	3
Поле допуска, мм:			
<i>H</i>	B11	H12	—
<i>l</i>	D11	B12	—
Шероховатость $\sqrt{1}$, мкм	Ra 6,3	Ra 2,5	—

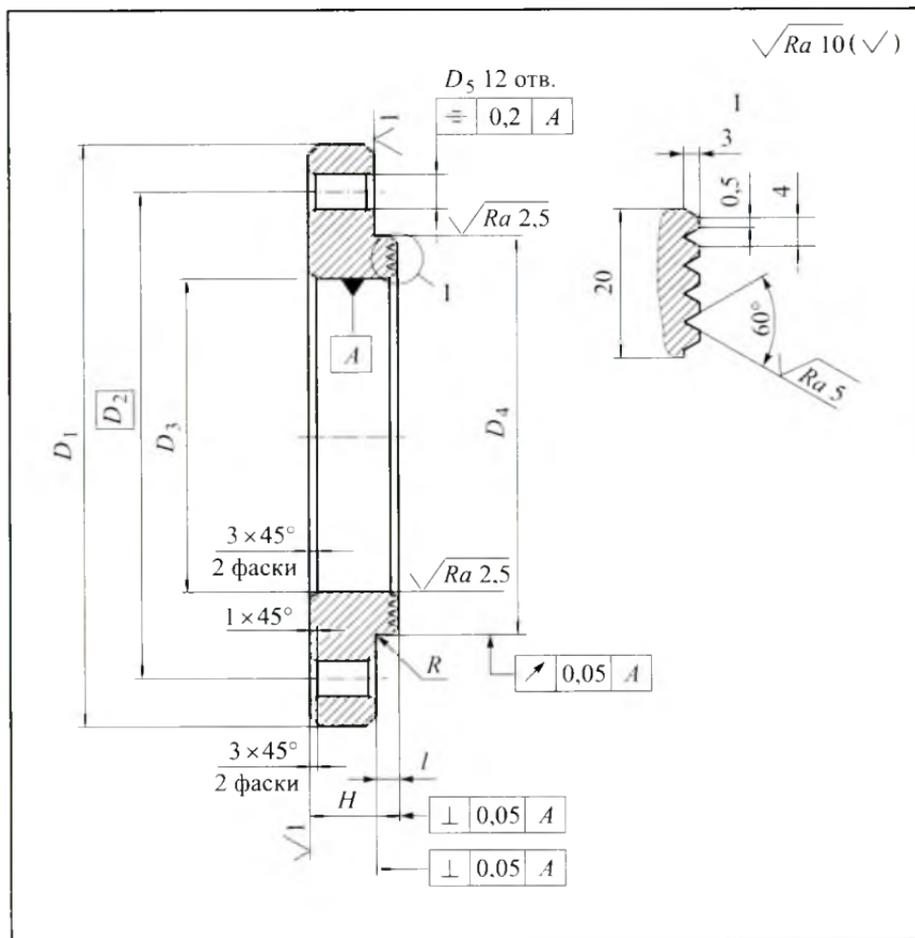


Рис. 8.17

Задача 8.3.15. Разработать маршрутный технологический процесс изготовления шестерни (рис. 8.18) в условиях заданного типа производства, неуказанные предельные отклонения размеров: $H14$, $h14$, $\pm IT14/2$. шероховатость шести фасок $Ra 10$.

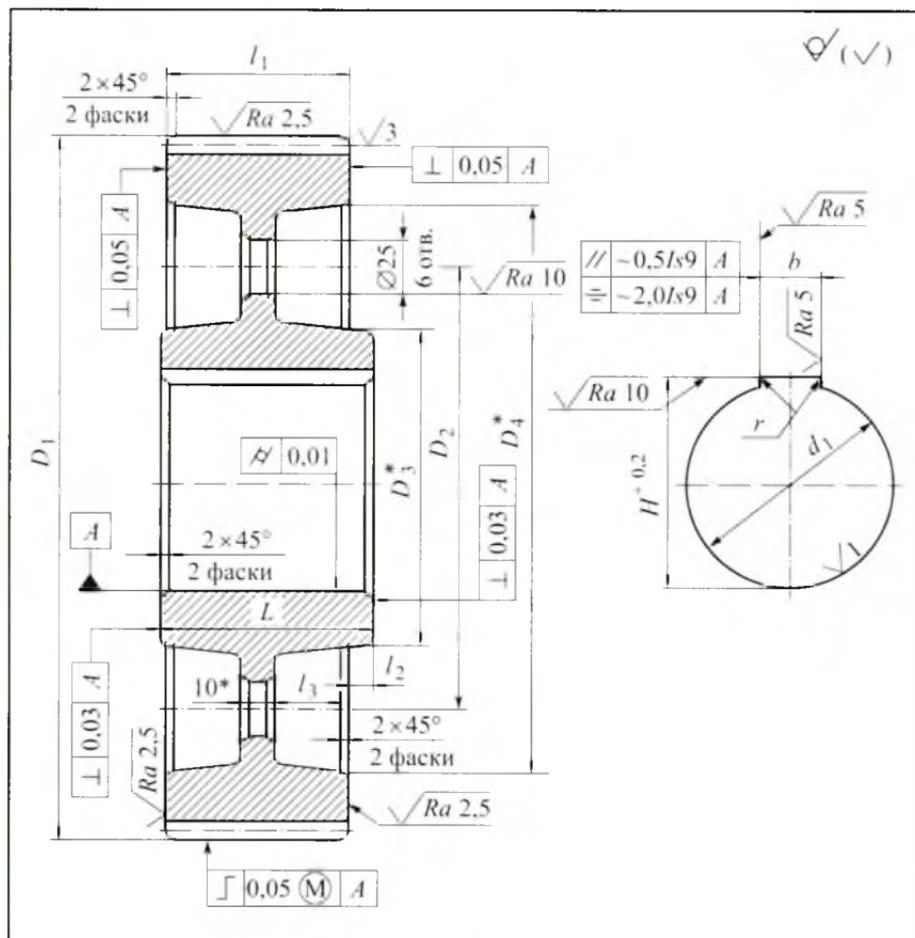


Рис. 8.18

Исходные данные	Вариант		
	1	2	3
Модуль m , мм	3	4	5
Число зубьев z	70	75	72
Угол наклона зуба, град	0		
Направление линии зуба	Прямозубое		
Коэффициент смещения исходного контура x	0		
Степень точности по ГОСТ 1643–72	7D	8B	6C
Диаметр, мм:			
D_1	226 $h11$	308 $h11$	370 $h11$
D_2	136	175	200
D_3	84	100	110
D_4	192	250	290
Диаметр d_1 , мм	50H7	60H7	370 $h11$
Длина, мм:			
ступицы L	50	60	100
зуба l_1	50	40	60
l_2	—	20	10
l_3	20	15	25
Ширина паза b , мм	16js9	18js9	20js9
Высота H , мм	55,1	65,1	76,1
Радиус r , мм	0,5	0,5	0,5
<i>Изменяемые исходные данные</i>			
Материал	Сталь 45	Сталь 20X	—
Тип производства	Мелкосерийное	Серийное	Единичное
Твердость зуба	HB 230—260	HRC 40—45	—
Шероховатость, мкм:			
$\sqrt{1}$	Ra 2,5	Ra 1,25	Ra 0,63
$\sqrt{2}$	Ra 1,25	Ra 2,5	Ra 6,3
$\sqrt{3}$	Ra 2,5	Ra 1,25	Ra 0,63

Задача 8.3.16. Разработать маршрутный технологический процесс изготовления зубчатого блока (рис. 8.19) в условиях заданного типа производства. Неуказанные предельные отклонения размеров: $H14, h14, \pm IT14/2$.

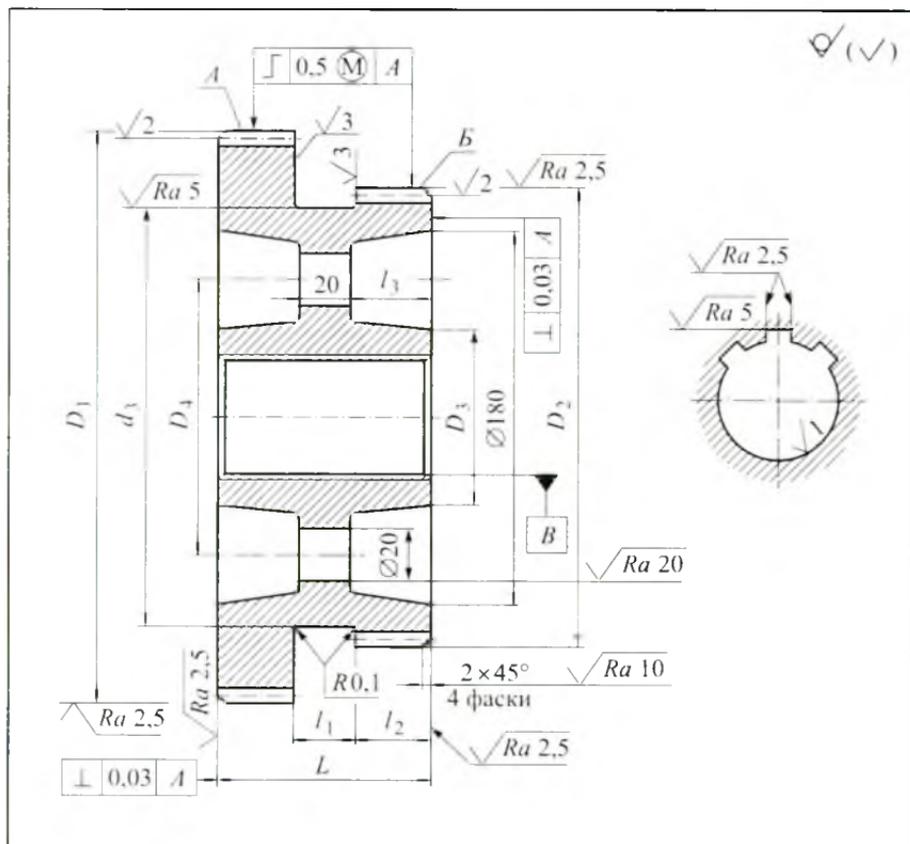


Рис. 8.19

Исходные данные	Вариант		
	1	2	3
<i>Венец А</i>			
Модуль m , мм	3	2,5	4
Число зубьев z	77	80	65
Диаметр D_1 , мм	227 _{0,29}	205 _{0,29}	268 _{0,3}
<i>Венец Б</i>			
Модуль m , мм	3	2,5	4
Число зубьев z	77	100	75
Диаметр D_2 , мм	227 _{0,25}	255 _{0,3}	221 _{0,29}
Угол наклона зуба, град	0		
Направление линии зуба	Прямозубое		
Коэффициент смещения исходного контура x	0		
Степень точности по ГОСТ 1643–72	7D	8B	6C
Диаметр, мм:			
d_3	210	190	200
D_3	90	110	100
D_4	135	145	140
Длина, мм:			
ступицы L	68	80	130
зуба l_2	30	30	40
l_3	35	24	55
Впадина l_1 , мм	8	20	40
Размеры шлицевого отверстия	$d-8 \times 62H7 \times 68H12 \times 12D9$	$d-10 \times 82H7 \times 88H12 \times 12D9$	$d-10 \times 72H8 \times 78H12 \times 12D10$
Шероховатость $\sqrt{3}$, мкм	Ra 12,6	Ra 2,5	Ra 1,25
<i>Изменяемые исходные данные</i>			
Материал	Сталь 45	Сталь 35Л	Сталь 40Х
Тип производства	Мелкосерийное	Серийное	Единичное
Твердость зуба	НВ 170—190	НВ 260—290	—
Шероховатость $\sqrt{1}$, $\sqrt{2}$, мкм	Ra 0,63	Ra 1,25	Ra 0,32

Задача 8.3.17. Разработать маршрутный технологический процесс изготовления вала — шестерни конической (рис. 8.20) в условиях заданного типа производства. Неуказанные предельные отклонения размеров: $H14, h14, \pm IT14/2$.

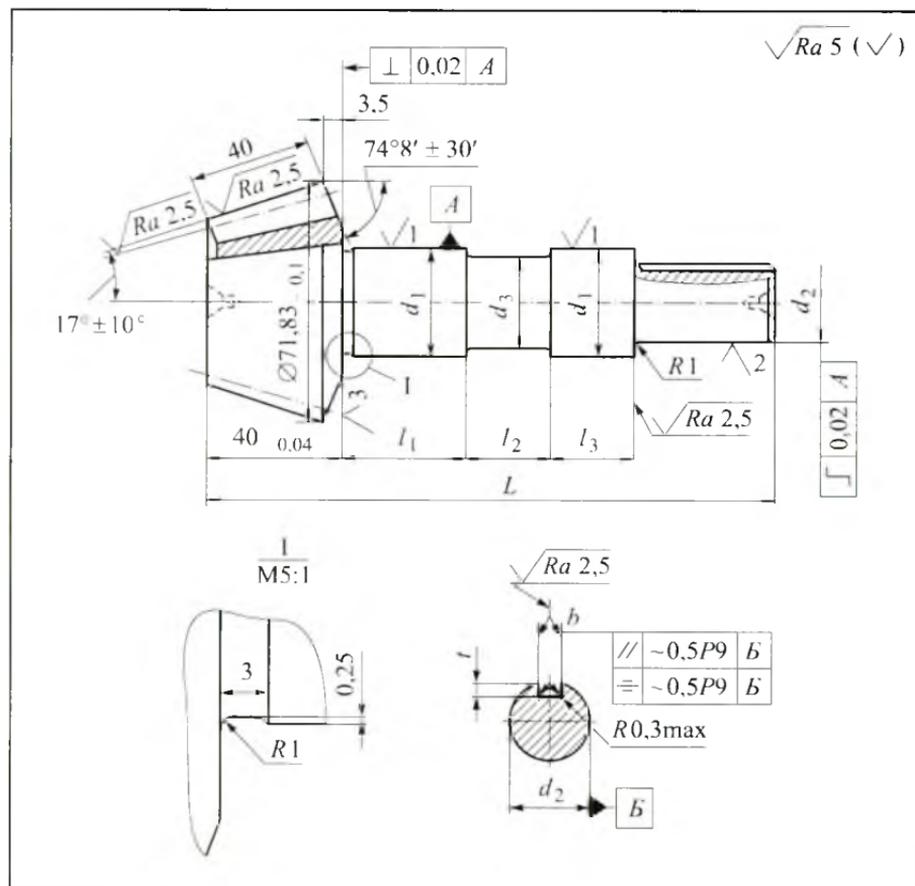


Рис. 8.20

Исходные данные	Вариант		
	1	2	3
Модуль m , мм	2		
Число зубьев z	34		
Тип зуба	Прямой		
Исходный контур	ГОСТ 13754-68		
Коэффициент смещения X_c	0		
Коэффициент изменения толщины зуба X_f	0		
Угол делительного конуса	15°52'		
Степень точности	8B		
Диаметр, мм:			
d_1	40k6	35k6	30k6
d_2	35j6	30p6	28h8
d_3	36	31	28
Длина, мм:			
L	145	180	105
l_1	25	20	20
l_2	30	60	20
l_3	25	20	20
Ширина паза b , мм	10P9	10P9	8P9
Глубина паза t , мм	4,5	4,5	4
<i>Изменяемые исходные данные</i>			
Материал	Сталь 45	Сталь 40X	—
Тип производства	Мелкосерийное	Серийное	Единичное
Твердость зуба	HB 190—230	HRC, 42—48	—
Шероховатость, мкм:			
$\sqrt{1}$	Ra 1,25	Ra 0,63	Ra 0,32
$\sqrt{2}$	Ra 0,63	Ra 1,25	Ra 2,5
$\sqrt{3}$	Ra 0,63	Ra 1,25	Ra 2,5

Задача 8.3.18. Разработать маршрутный технологический процесс изготовления конического зубчатого колеса (рис. 8.21) в условиях заданного типа производства. Неуказанные предельные отклонения размеров: $H/14$, $h/14$, $\pm IT14/2$.

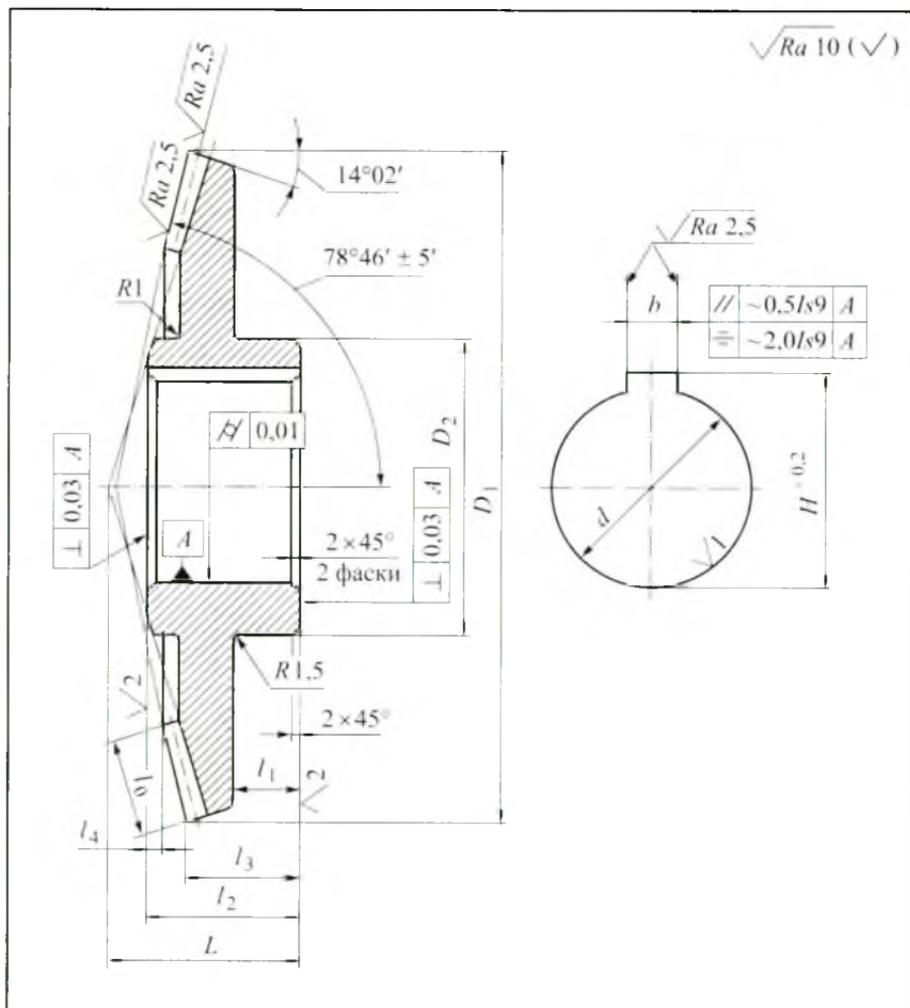


Рис. 8.21

Исходные данные	Вариант		
	1	2	3
Модуль m , мм	3	2.5	4.5
Число зубьев z	64		
Диаметр, мм: D_1 D_2 d	293.47 _{0,26} 80 50H7	161.22 _{0,2} 70 40H7	290 _{0,3} 100 70H8
Расстояние, мм: L l_1 l_3 l_4	64.1 _{0,25} 10 35 _{0,04} 5	78 _{0,25} 30 61.6 _{0,05} 5	65 _{0,25} 10 32 _{0,04} 6
Толщина l_2 , мм	45 _{0,1}	69 _{0,1}	49 _{0,1}
Длина зуба l_0 , мм	30	25	50
Ширина паза b , мм	16js9	12js9	20js9
Размер H , мм	55,1	43,6	76,1
<i>Изменяемые исходные данные</i>			
Материал	Сталь 45	Сталь 40X	—
Тип производства	Мелкосерийное	Серийное	Единичное
Твердость зуба	HВ 230—260	HRC ,40—45	—
Шероховатость, мкм: $\sqrt{1}$ $\sqrt{2}$	Ra 0,63 Ra 0,63	Ra 1,25 Ra 1,25	Ra 2,5 Ra 2,5

Задача 8.3.19. Разработать маршрутный технологический процесс изготовления втулки (рис. 8.22) в условиях заданного типа производства. Неуказанные предельные отклонения размеров: $H14, h14, \pm IT14/2$.

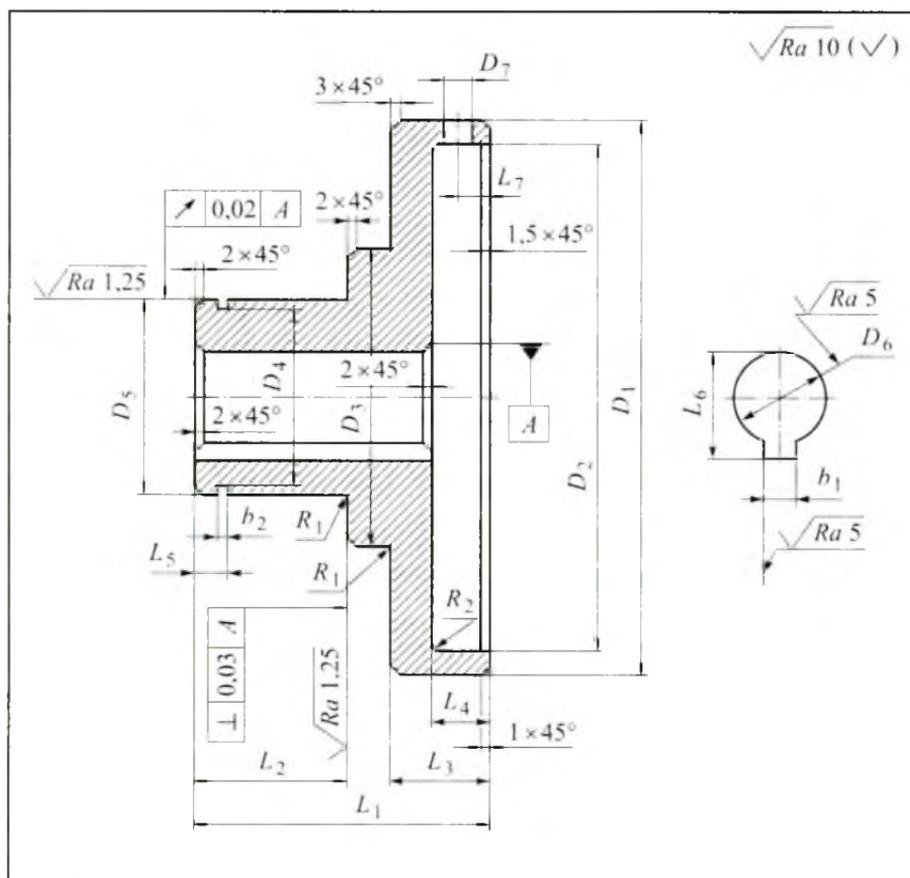


Рис. 8.22

Исходные данные	Вариант		
	1	2	3
Диаметр, мм:			
D_1	120	220	430
D_2	105	200	410
D_3	80	120	160
D_4	$57,5_{-0,34}$	$86,5_{-0,46}$	$115_{-0,46}$
D_5	60	90	120
D_6	30H7	60H7	80H7
D_7	6	9	13
Длина, мм:			
L_1	60	90	120
L_2	30	45	60
L_3	20	30	40
расточки L_4	12	18	24
Расстояние L_5 , мм	4,5	6	8
Высота, мм:			
L_6	$33,2^{+0,14}$	$64^{+0,16}$	$86^{+0,2}$
L_7	6	9	12
Ширина, мм:			
паза b_1	8D10	18D10	18D10
канавки b_2	$2,2_{-0,25}$	$3,4_{-0,3}$	$3,4_{-0,3}$
Радиус, мм:			
R_1	2	2	3
R_2	3	3	4
<i>Изменяемые исходные данные</i>			
Материал	Чугун СЧ15 Сталь 20Х	Чугун СЧ18 Сталь 45	Чугун СЧ35 Сталь 45Л
Тип производства	Мелкосерийное	Серийное	Единичное

Задача 8.3.20. Разработать маршрутный технологический процесс изготовления втулки (рис. 8.23) в условиях заданного типа производства. Неуказанные предельные отклонения размеров: $H/14, h/14, \pm IT14/2$.

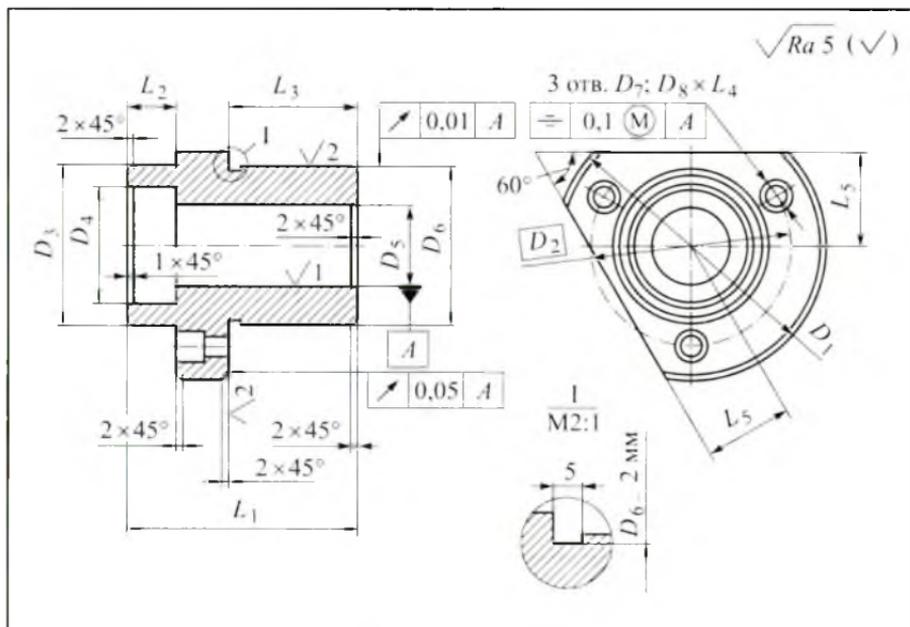


Рис. 8.23

Исходные данные	Вариант		
	1	2	3
Диаметр, мм:			
D_1	90h12	160h12	250h12
D_2	70	130	200
D_3	50h11	100h11	150h11
D_4	45h11	58h11	120h11
D_5	35	75	110
D_6	50	100	150
D_7	10H12	16H12	24H12
D_8	16H12	25H12	37H12
Длина мм:			
втулки L_1	60H12	120H12	180H12
L_2	20h12	20h12	40h12
L_3	30h12	80h12	115h12
L_4	5 _{0,2}	8 _{0,2}	10 _{0,2}

Исходные данные	Вариант		
	1	2	3
Расстояние L_5 , мм	35h14	60h14	85h14
<i>Изменяемые исходные данные</i>			
Материал	Сталь 20	Сталь 20X	Чугун СЧ12
Тип производства	Мелкосерийное	Серийное	Единичное
Поле допуска:			
D_5	H6	H7	H8
D_6	f6	f7	f8
Шероховатость, мкм:			
$\sqrt{1}$	Ra 0,63	Ra 1,25	Ra 2,5
$\sqrt{2}$	Ra 0,63	Ra 1,25	Ra 2,5

Задача 8.3.21. Разработать маршрутный технологический процесс изготовления втулки (рис. 8.24) в условиях заданного типа производства. Неуказанные предельные отклонения размеров: H14, h14, $\pm IT14/2$.

Исходные данные	Вариант	
	1	2
Диаметр, мм:		
D_1	125h12	170h12
D_2	105	140
D_3	62	90
D_4	80h6	110h6
D_5	12H12	16H12
Длина, мм:		
втулки L_1	45f9	70f9
L_2	35h9	55h9
L_3	17H12	28H12
L_4	110h12	150h12
Параметр h , мм	10	15
<i>Изменяемые исходные данные</i>		
Материал	Сталь 20	Чугун СЧ15
Тип производства	Мелкосерийное	Серийное
Поле допуска D_3	H8	H7
Шероховатость, мкм:		
D_3	Ra 2,5	Ra 1,25
D_4	Ra 2,5	Ra 1,25

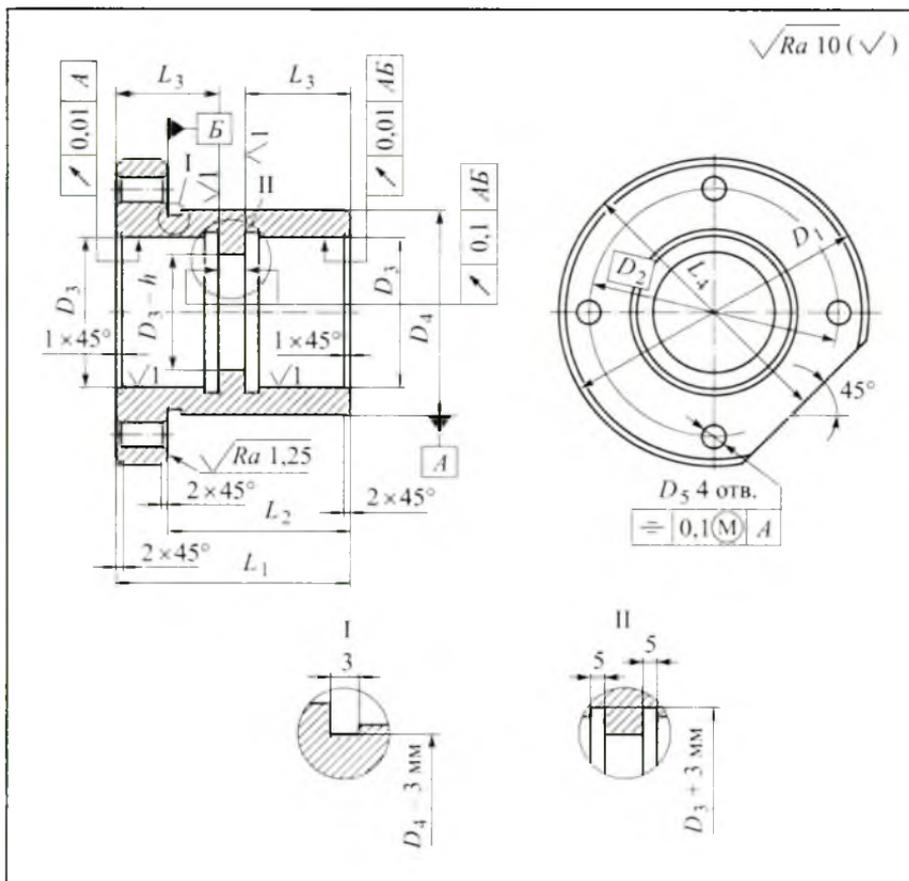


Рис. 8.24

Задача 8.3.22. Разработать маршрутный технологический процесс изготовления втулки (рис. 8.25) в условиях заданного типа производства. Неуказанные предельные отклонения размеров: $H14, h14, \pm IT14/2$.

Исходные данные	Вариант		
	1	2	3
Диаметр, мм:			
D_1	90h12	160h12	250h12
D_2	70	130	200
D_3	35	75	110
D_4	50h6	100h6	150h6
D_5	10H12	16H12	24H12

Исходные данные	Вариант		
	1	2	3
Длина, мм:			
втулки L_1	60h14	80h14	180h14
L_2	50f9	65f9	150f9
L_3	29h14	30h14	60h14
L_4	30	60	85
<i>Изменяемые исходные данные</i>			
Материал	Сталь 20	Чугун СЧ15	Сталь 35
Тип производства	Мелкосерийное	Серийное	Единичное
Поле допуска D_3	H9	H8	H7
Шероховатость D_3 , мкм	Ra 2,5	Ra 1,25	Ra 0,63

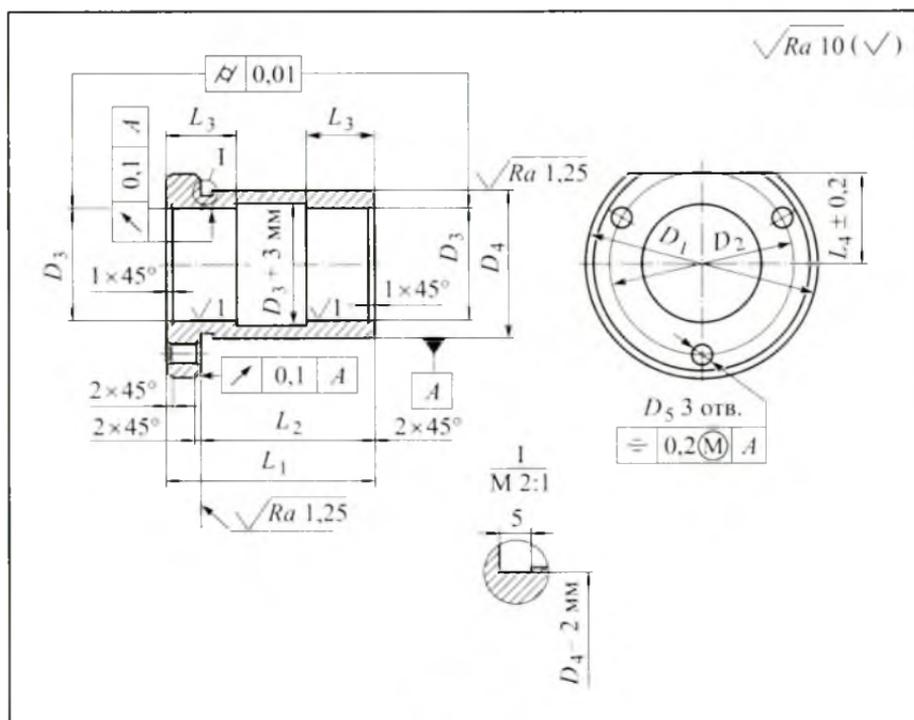


Рис. 8.25

Задача 8.3.23. Разработать маршрутный технологический процесс изготовления втулки (рис. 8.26) в условиях заданного типа производства. Неуказанные предельные отклонения размеров: H14, h14, ±IT14/2. Острые кромки притупить: 2×45°.

Исходные данные	Вариант		
	1	2	3
Диаметр, мм:			
D_1	60h6	80h6	140h6
D_2	30	50	80
D_3	K1/8"	K1/4"	K1/2"
D_4	4H9	7.5H9	14H9
D_5	M5	M8	M16
Длина, мм:			
втулки L_1	60h8	80h8	100h8
L_2	22.5	32.5	55
L_3	30	40	50
$L_4 = 2D_3$	4	6	8
<i>Изменяемые исходные данные</i>			
Материал	Сталь 20	Чугун СЧ15	Сталь 35
Тип производства	Мелкосерийное	Серийное	Единичное
Поле допуска D_2	H8	H7	H6
Шероховатость D_2 , мкм	Ra 2,5	Ra 1,25	Ra 0,63

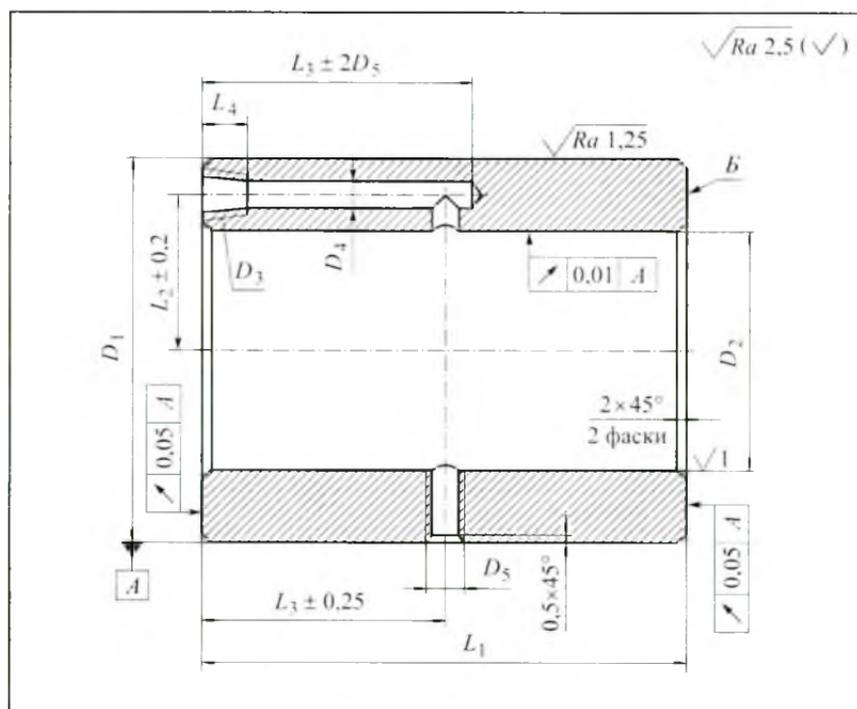


Рис. 8.26

Задача 8.3.24. Разработать маршрутный технологический процесс изготовления втулки (рис. 8.27) в условиях заданного типа производства: неуказанные предельные отклонения размеров: $H14$, $h14$, $\pm IT14/2$.

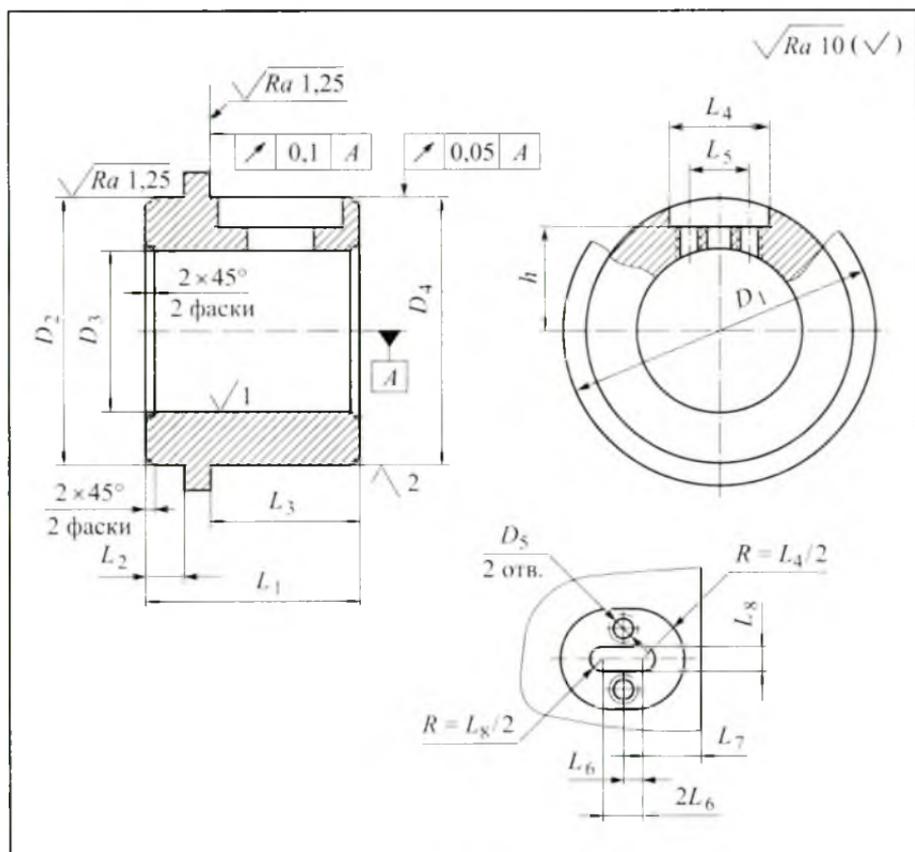


Рис. 8.27

Исходные данные	Вариант		
	1	2	3
Диаметр, мм:			
D_1	60h12	100h12	150h12
D_2	50h12	80h12	120h12
D_3	30	50	80
D_4	50	80	120
D_5	M5	M8	M10

Исходные данные	Вариант		
	1	2	3
Длина, мм:			
втулки L_1	100h12	160h12	200h12
L_2	10h12	15h12	20h12
L_3	85h12	135h12	170h12
L_4	20h12	35h12	50h12
L_5	14h8	22h8	30h8
L_6	26h12	40h12	50h12
L_7	20h12	28h12	35h12
L_8	5H8	10H8	12H8
Расстояние h , мм	20	40	45
<i>Изменяемые исходные данные</i>			
Материал	Сталь 20	Чугун СЧ15	Сталь 35
Тип производства	Мелкосерийное	Серийное	Единичное
Поле допуска:			
D_3	H7	H8	H9
D_4	g6	f7	g7
Шероховатость, мкм:			
$\sqrt{1}$	Ra 2,5	Ra 1,25	Ra 0,63
$\sqrt{2}$	Ra 2,5	Ra 1,25	Ra 0,63

Задача 8.3.25. Разработать маршрутный технологический процесс изготовления кронштейна (рис. 8.28) в условиях заданного типа производства. Неуказанные предельные отклонения размеров: $H14$, $h14$, $\pm IT14/2$. Неуказанные литейные и штамповочные радиусы и радиусы сопряжения назначить в пределах 2...40 мм в зависимости от размеров заготовок по ГОСТ 25346–89.

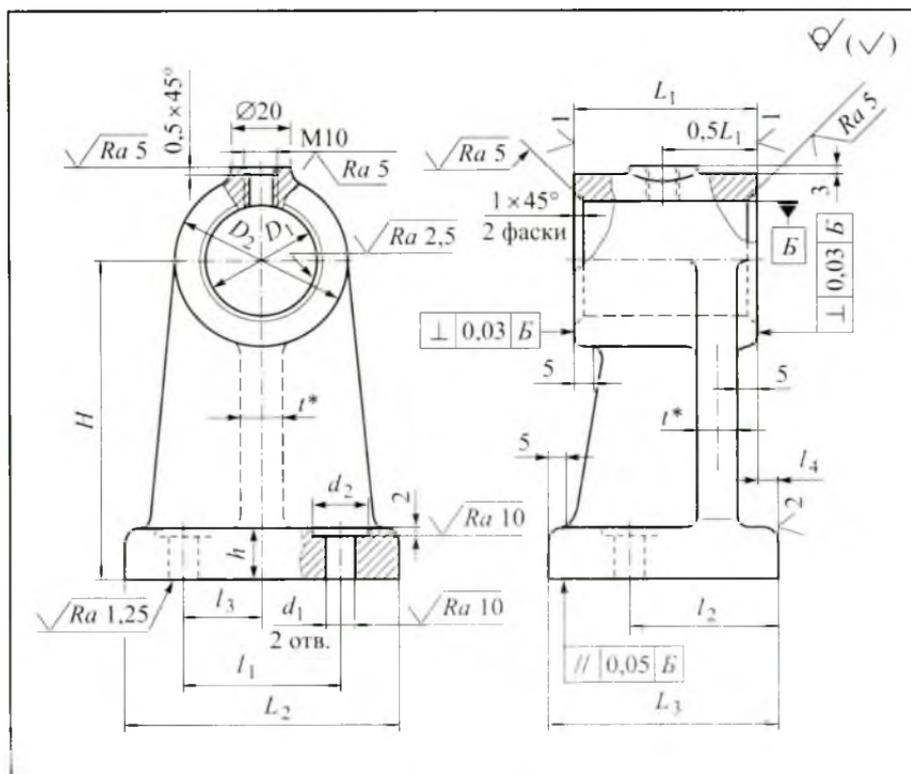


Рис. 8.28

Исходные данные	Вариант	
	1	2
Диаметр, мм:		
D_1	20	30
D_2	35	45
d_1	9	11
d_2	18	22
Толщина t , мм	8	10
Высота H , мм	60	90
Длина, мм:		
L_1	30	45
L_3	49	60
Ширина L_2 , мм	55	80

Исходные данные	Вариант	
	1	2
Расстояние, мм:		
l_1	$30 \pm 0,25$	$45 \pm 0,25$
l_2	28	42
l_3	15	22,5
l_4	5	5
Высота основания h , мм	10	
<i>Изменяемые исходные данные</i>		
Материал	Чугун СЧ18	Сталь 20Л
Тип производства	Мелкосерийное	Серийное
Поле допуска:		
D_1	H9	H7
L_1	H12	H9
Предельные отклонения, мм:		
H	$\pm 0,1$	$\pm 0,02$
l_2	$\pm 0,25$	$\pm 0,05$
Шероховатость, мкм:		
$\sqrt{1}$	Ra 1,25	Ra 6,3
$\sqrt{2}$	Ra 12,6	Ra 6,3

Задача 8.3.26. Разработать маршрутный технологический процесс изготовления кронштейна (рис. 8.29) в условиях заданного типа производства. Неуказанные предельные отклонения размеров: H14, h14, $\pm IT14/2$. Неуказанные литейные и штамповочные радиусы и радиусы сопряжения назначить по ГОСТ 25346–89 в пределах 2...40 мм в зависимости от размеров заготовок.

Исходные данные	Вариант		
	1	2	3
Высота H , мм	80	150	250
Диаметр, мм:			
D_1	24	35	45
D_2	36	50	60
d_1	9	17	21
d_2	20	38	45

Исходные данные	Вариант		
	1	2	3
Диаметр, мм: d_3 d_4	9 M8	13 M12	17 M16
Длина, мм: L_1 L_3	42 60	60 100	80 180
Ширина L_2 , мм	60	100	170
Расстояние, мм: l_1 l_2 l_3 l_4 l_5 h_1	40 18 35 23 21 20	60 30 60 45 30 30	100 65 130 95 40 40
Толщина, мм: f_1 f_2 t_1 t_2	22 10 10 8	27 12 15 12	36 16 20 16
Прорезь f_3 , мм	2	3	4
Глубина h_2 , мм	8	12	17
Радиус, мм: R_1 R_2	7 15	10 20	15 25
<i>Изменяемые исходные данные</i>			
Материал	Чугун СЧ18	Сталь 30Л	Чугун СЧ21
Тип производства	Мелкосерийное	Серийное	Единичное
Поле допуска: D_1 L_1	H7 H12	H8 H10	H9 H9
Шероховатость $\sqrt{1}$, мкм	Ra 6,3	Ra 2,5	Ra 1,25
Предельные отклонения, мм: H L_4	$\pm 0,1$ ± 1	$\pm 0,06$ $\pm 0,2$	$\pm 0,03$ $\pm 0,1$

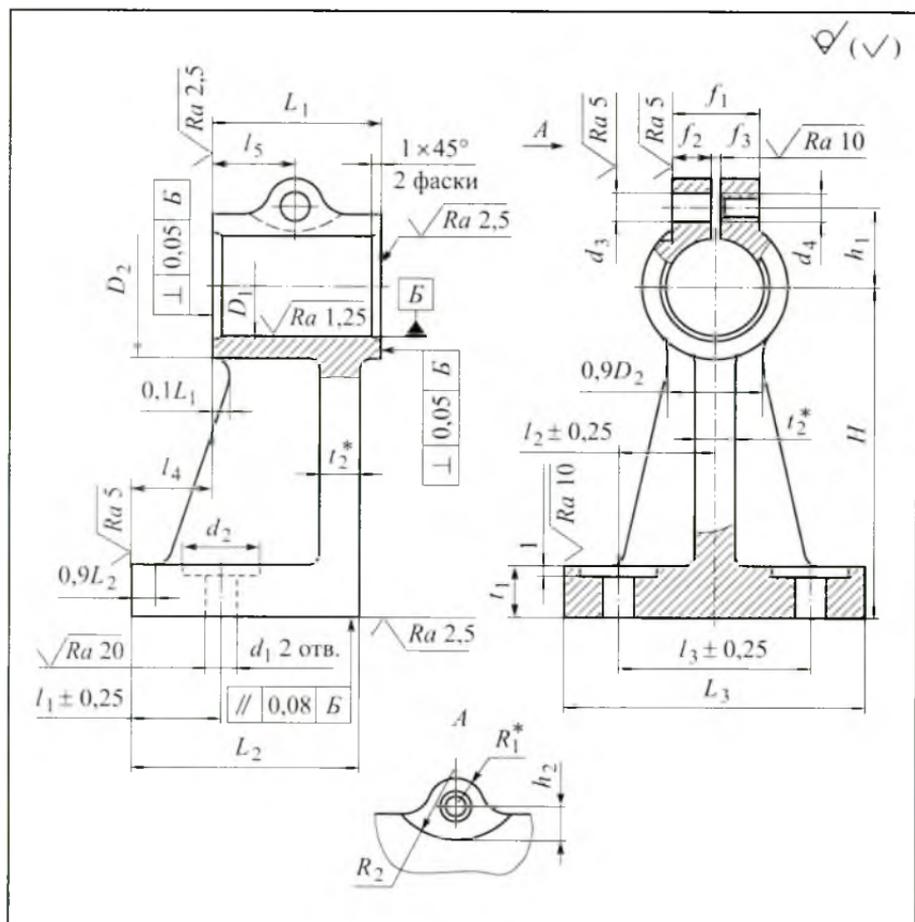


Рис. 8.29

Задача 8.3.27. Разработать маршрутный технологический процесс изготовления кронштейна (рис. 8.30) в условиях заданного типа производства. Неуказанные предельные отклонения размеров: $H14$, $h14$, $\pm IT14/2$; шероховатость двух фасок $Ra\ 10$. Неуказанные литейные и штамповочные радиусы и радиусы сопряжения назначить по ГОСТ 25346–89 в пределах 2...40 мм в зависимости от размеров заготовок.

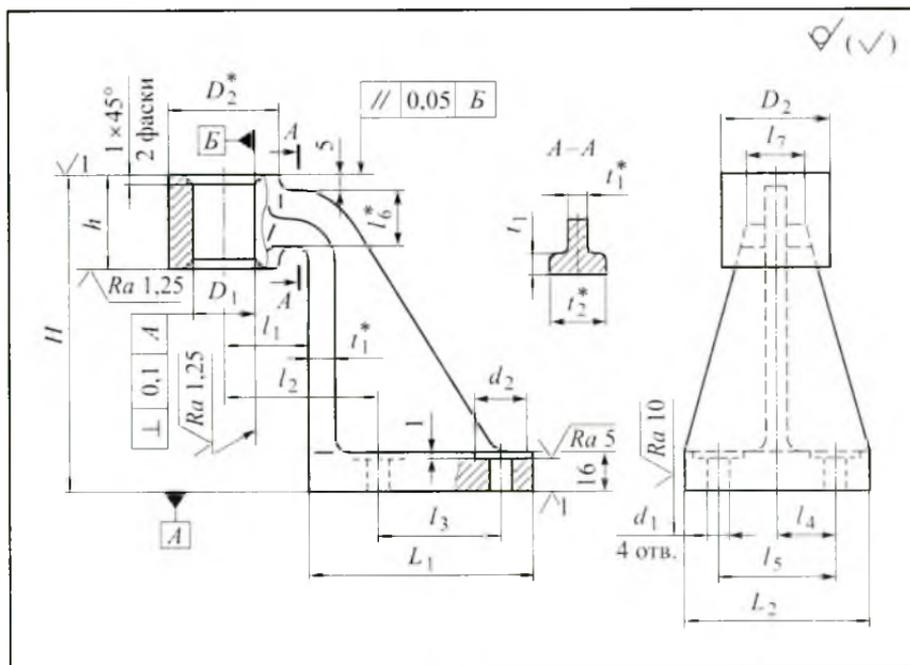


Рис. 8.30

Исходные данные	Вариант		
	1	2	3
Высота H , мм	100	180	300
Диаметр, мм:			
D_1	18	32	40
D_2	32	50	60
d_1	7	13	15
d_2	16	28	32
Толщина, мм:			
t_1	8	10	12
t_2	20	22	30
Ширина L_2 , мм	52	100	160
Длина, мм:			
h	$26h12$	$40h12$	$55h12$
основания L_1	87	145	270

Исходные данные	Вариант		
	1	2	3
Расстояние, мм:			
l_1	26	35	42
l_2	42	75	140
l_3	$35 \pm 0,25$	$65 \pm 0,25$	$110 \pm 0,25$
l_4	$16 \pm 0,1$	$35 \pm 0,1$	$60 \pm 0,1$
l_5	$32 \pm 0,25$	$70 \pm 0,25$	$120 \pm 0,25$
l_6	15	25	35
l_7	16	25	30
<i>Изменяемые исходные данные</i>			
Материал	Чугун СЧ21	Сталь 35Л	Чугун СЧ18
Тип производства	Мелкосерийное	Серийное	Единичное
Поле допуска D_1	$H9$	$H8$	$H7$
Шероховатость $\sqrt{1}$. мкм	$Ra 6,3$	$Ra 2,5$	$Ra 1,25$
Предельные отклонения, мм:			
H	$\pm 0,5$	$\pm 0,25$	$\pm 0,1$
l_2	$\pm 0,1$	$\pm 0,25$	$\pm 0,5$

Задача 8.3.28. Разработать маршрутный технологический процесс изготовления крестовины (рис. 8.31) в условиях заданного типа производства. Неуказанные предельные отклонения размеров: $H14$, $h14$, $\pm IT14/2$. Неуказанные литейные и штамповочные радиусы и радиусы сопряжения назначить по ГОСТ 25346–89 в пределах 2...40 мм в зависимости от размеров заготовок.

Исходные данные	Вариант		
	1	2	3
Диаметр, мм:			
D_1	$60f7$	$40f9$	$40f8$
D_2	$70h12$	$50h12$	$60h12$
Ширина, мм:			
b_1	$150h11$	$100h8$	$120h11$
b_2	$75h11$	$50h8$	$60h11$
b_3	130	90	110
Длина L , мм	260	200	230
Высота H , мм	80	60	70
Радиус R , мм	25	15	20

Исходные данные	Вариант		
	1	2	3
<i>Изменяемые исходные данные</i>			
Материал	Сталь 20	Сталь 45	Чугун СЧ24
Тип производства	Мелкосерийное	Серийное	Единичное
Допуск, мм:			
соосности T_1	0,02	0,2	—
перпендикулярности T_3	0,03	1,5	—
T_2	0,04	1,0	—

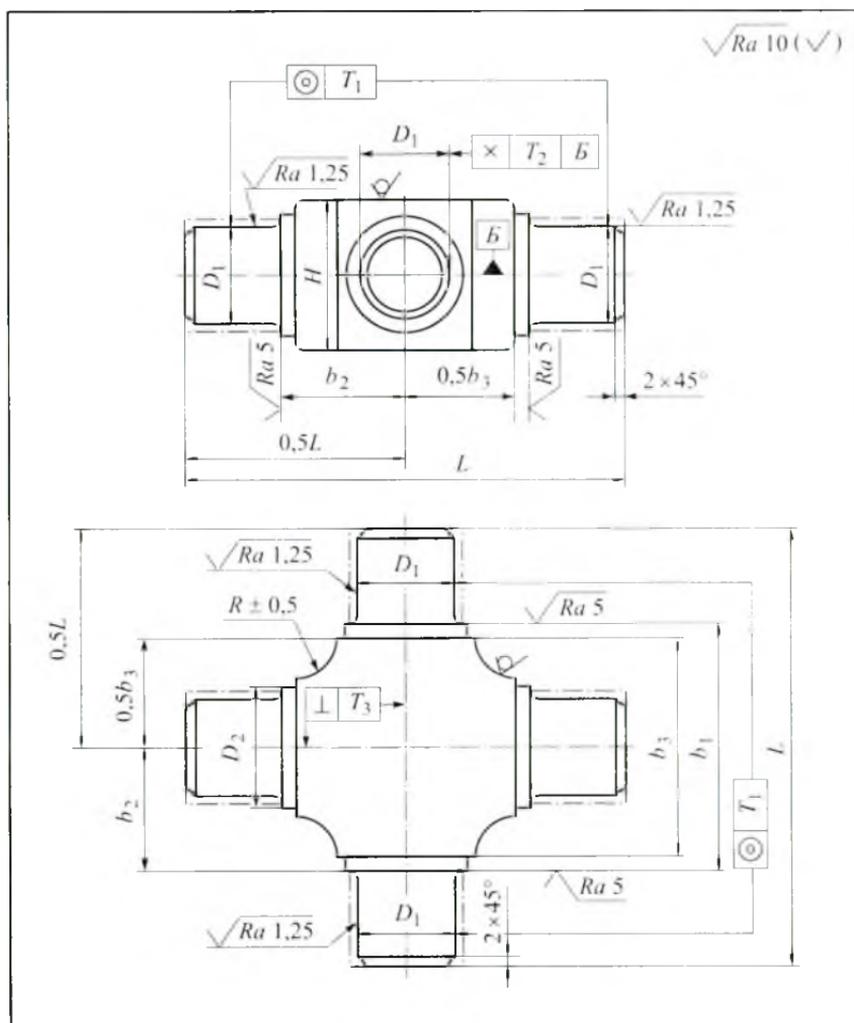


Рис. 8.31

Задача 8.3.29. Разработать маршрутный технологический процесс изготовления держателя (рис. 8.32) в условиях заданного типа производства. Неуказанные предельные отклонения размеров: $H/14, h/14, \pm IT14/2$.

Исходные данные	Вариант		
	1	2	3
Диаметр, мм:			
D_1	50	100	75
D_2	55	110	80
отверстия d_1	20H8	40H6	30H8
оси d_2	25H8	50H8	40H6
отверстия d_3	30	60	45
Ширина, мм:			
B	60	120	90
паза b_1	32H12	80H11	50H12
Расстояние, мм:			
b_2	16H12	35H11	25H12
l_2	90	180	135
l_3	60	120	85
Радиус R , мм	30	60	45
Исходные данные	Вариант		
	1	2	3
Длина, мм:			
l_1	55	110	80
расточки l_4	15	30	20
Шероховатость $\sqrt{1}$, мкм	$Ra\ 6,3$	$Ra\ 2,5$	$Ra\ 6,3$
<i>Изменяемые исходные данные</i>			
Материал	Сталь 20Х	Сталь Х18Н9Т	Чугун СЧ18
Тип производства	Мелкосерийное	Серийное	Единичное
Допуск, мм:			
перпендикулярности T_1	0,05	0,1	0,15
T_2	0,1	0,15	0,20

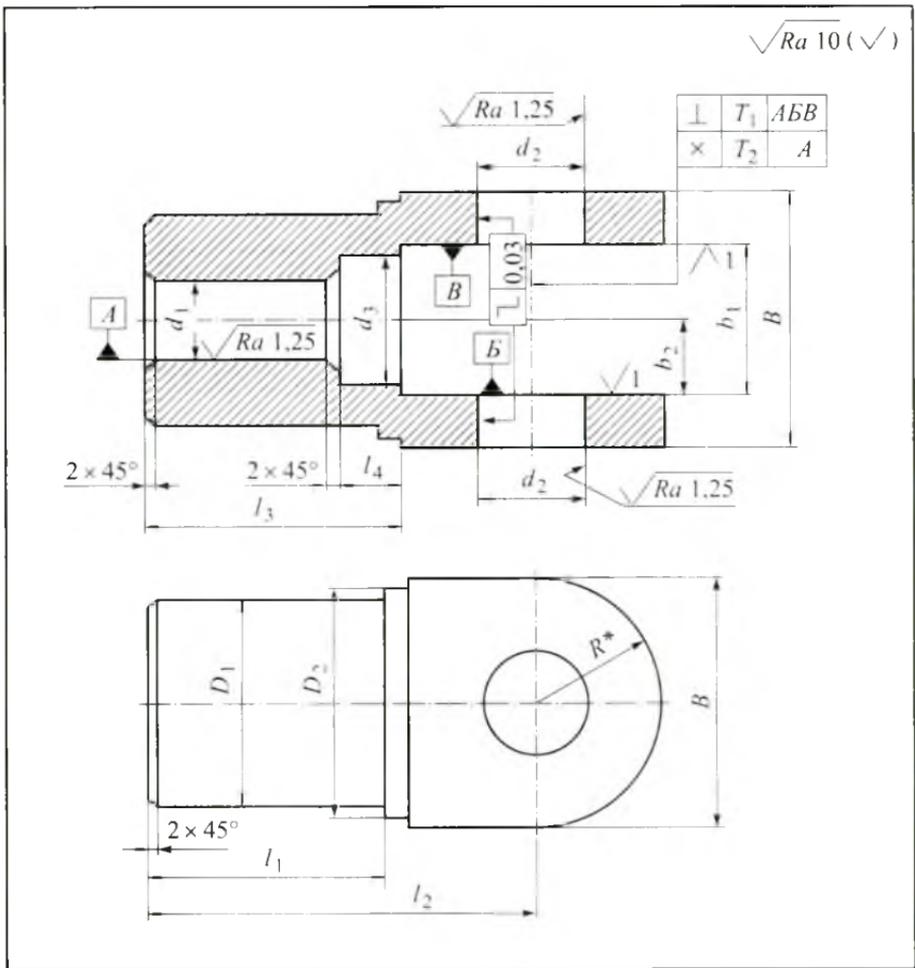


Рис. 8.32

Задача 8.3.30. Разработать маршрутный технологический процесс изготовления направляющей (рис. 8.33) в условиях заданного типа производства. Неуказанные предельные отклонения размеров: $H14, h14, \pm IT14/2$.

Отклонения от параллельности соответственно поверхностей A и B и поверхностей B и Γ на всей их длине не более 0,05 мм.

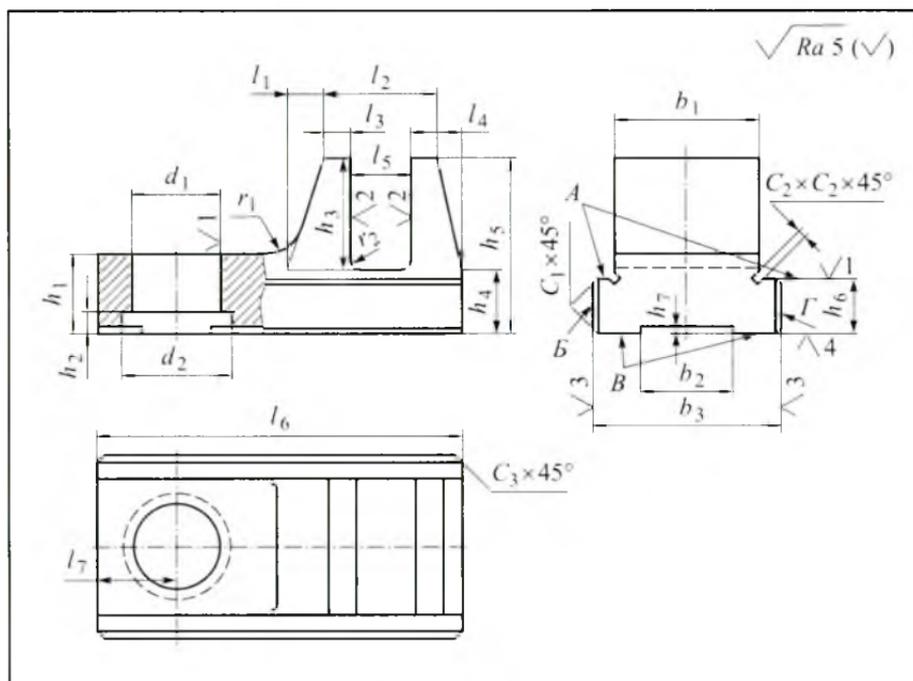


Рис. 8.33

Исходные данные	Вариант		
	1	2	3
Расстояние, мм:			
l_1	10	20	15
l_4	16	32	24
l_7	25	50	37
Ширина, мм:			
l_2	36	72	54
l_3	9	18	13,5
паза l_5	18	36	27
Длина l_6 , мм	118	236	177
Диаметр, мм:			
отверстия d_1	28	56	42
расточки d_2	36	72	54
Глубина, мм:			
расточки h_2	6	12	9
паза h_3	38	76	57

Исходные данные	Вариант		
	1	2	3
Расстояние h_4 , мм	20	40	30
Ширина фасок, мм:			
C_1	1	2	1,5
C_2	2	4	3
C_3	2	4	3
Высота, мм:			
h_1	26	52	39
направляющей h_5	58	116	87
h_6	18	36	27
h_7	2,5	5	4
Ширина, мм:			
b_1	48	96	72
паза b_2	30	60	45
направляющей b_3	60	120	90
Радиус, мм:			
r_1	18	36	27
r_2	3	6	4,5
<i>Изменяемые исходные данные</i>			
Материал	Сталь 40X	Сталь 45	Чугун СЧ21
Тип производства	Мелкосерийное	Серийное	Единичное
Предельные отклонения l_5 , мм	+0,1	+0,05	+0,02
Поле допуска:			
d_1	H7	H8	H10
h_6	h11	h9	h8
b_3	H11	H9	H8
Шероховатость, мкм:			
$\sqrt{1}$	Ra 1,25	Ra 2,5	Ra 6,3
$\sqrt{2}$	Ra 2,5	Ra 6,3	Ra 12,6
$\sqrt{3}$	Ra 1,25	Ra 2,5	Ra 6,3
$\sqrt{4}$	Ra 1,25	Ra 2,5	Ra 6,3
Твердость поверхностей А, Б, В, Г	HRC ₃ 38—42	HRC ₁ 40—45	—

ЛИТЕРАТУРА

1. *Кондаков А.И.* Курсовое проектирование по технологии машиностроения: учеб. пособие. М.: КНОРУС, 2012. 400 с.
2. *Кондаков А.И., Васильев А.С.* Выбор заготовок в машиностроении: Справочник. М.: Машиностроение, 2007. 560 с.
3. *Кондаков А.И., Островский Ю.А.* Разработка маршрутных технологических процессов изготовления деталей: Методические указания для курсового и дипломного проектирования. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. 50 с.
4. *Обработка металлов резанием: Справочник технолога / А.А. ПANOVA.* М.: Машиностроение, 1988. 736 с.
5. *Палей И.А., Романов А.Б., Брагинский В.Л.* Допуски и посадки: Справочник: в 2 ч. М.: Политехника, 2001. 608 с.
6. *Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. Т. 1 / под ред. А.М. Дальского, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова, А.Г. Сулова.* 5-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение-1, 2001. 912 с.
7. *Технология машиностроения: учеб. для вузов: в 2 т. / В.М. Бурцев, А.С. Васильев, И.Н. Гемба и др.; под ред. А.М. Дальского, А.И. Кондакова.* 3-е изд., испр. и перераб. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. Т. 1. Основы технологии машиностроения. 478 с.
8. *Технология машиностроения: учеб. для вузов: в 2 т. / В.М. Бурцев, А.С. Васильев, И.Н. Гемба и др.; под ред. Г.Н. Мельникова.* 3-е изд., испр. и перераб. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. Т. 2. Производство машин. 551 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
1. Статистические методы оценки качества и точности обработки	5
1.1. Методические указания к решению задач	5
1.2. Примеры решения задач	12
1.3. Задачи	16
Приложения	29
Литература	34
2. Расчет степени влияния основных факторов на точность обработки	35
2.1. Методические указания к решению задач	35
2.2. Примеры решения задач	49
2.3. Задачи	52
Литература	57
3. Определение суммарной погрешности обработки	59
3.1. Методические указания к решению задач	59
3.2. Примеры решения задач	61
3.3. Задачи	65
Литература	74
4. Точность координатной обработки отверстий на агрегатных станках и автоматических линиях	75
4.1. Методические указания к решению задач	75
4.2. Примеры решения задач	93
4.3. Задачи	98
Приложения	115
Литература	123
5. Выбор схем установки заготовок, определение погрешности базирования и пересчет технологических размеров	124
5.1. Методические указания к решению задач	124
5.2. Примеры решения задач	127
5.3. Задачи	130
Литература	147
6. Расчеты при конструировании технологической оснастки для механической обработки	148
6.1. Примеры решения задач	149

6.2. Задачи.....	161
Литература.....	187
7. Расчеты при конструировании контрольных приспособлений	188
7.1. Методические указания к решению задач	188
7.2. Пример решения задачи	208
7.3. Задачи.....	213
Литература.....	234
8. Разработка технологических процессов механической обработки	235
8.1. Методические указания к выполнению заданий.....	235
8.2. Пример выполнения задания.....	243
8.3. Задания	266
Литература.....	316

Учебное издание

Васильев Александр Сергеевич
Никадимов Евгений Федорович
Киселев Владимир Леонидович

ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ
Сборник задач и упражнений

Редактор *Е.О. Егорова*
Технический редактор *Э.А. Кулакова*
Художник *О.В. Левашова*
Корректор *Е.В. Авалова*
Компьютерная графика *О.В. Левашовой*
Компьютерная верстка *Н.Ф. Бердавцевой*

Оригинал-макет подготовлен
в Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Сертификат соответствия № РОСС RU. АЕ51. Н 16228 от 18.06.2012.

Подписано в печать 26.02.2013. Формат 60×90 1/16.
Усл. печ. л. 20,0. Тираж 1750 экз.
Заказ 120

Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана.
105005, Москва, 2-я Бауманская, 5, стр. 1.
press@bmstu.ru <http://www.baumanpress.ru>

Отпечатано в типографии МГТУ им. Н.Э. Баумана.
105005, Москва, 2-я Бауманская, 5, стр. 1.
baumanprint@gmail.com