

Федеральное агентство по образованию
САНКТ–ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

**Приоритетный национальный проект «Образование»
Инновационная образовательная программа
Санкт-Петербургского государственного политехнического
университета**

Э. Л. Жуков В. С. Кобчиков В. И. Никифоров

ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

ОСНОВЫ И МЕТОДИКА РЕШЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

Рекомендовано Учебно-методическим объединением
по университетскому политехническому образованию
для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по направлениям подготовки
150200 – «Машиностроительные технологии и оборудование»,
150400 — «Технологические машины и оборудование»,
150900 – «Технология, оборудование и автоматизация
технологических производств»

Санкт-Петербург
Издательство Политехнического университета

2008

УДК 621.001.2

ББК 35.4

Т38

Технология машиностроения. Основы и методика решения технологических задач : учеб. пособие / Э. Л. Жуков [и др.]; под ред. В. И. Никифорова. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008. – 156 с.

ISBN

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор СПбГПУ М. Т. Коротких;
доктор технических наук, профессор Санкт-Петербургского института
машиностроения Д. В. Васильков

Изложены теоретические основы и методика решения основных типов технологических задач; рассмотрены вопросы разработки структуры технологического процесса, построения и расчета размерных технологических цепей, проектирования теоретической схемы базирования и выбора баз, отработки чертежа детали на технологичность и расчета припусков. Содержит задания для самостоятельной работы студентов, приведена методика их выполнения, имеются необходимые нормативные данные и ссылки на литературу.

Предназначено для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлениям подготовки 150200 – «Машиностроительные технологии и оборудование», 150400 — «Технологические машины и оборудование» и 150900 – «Технология, оборудование и автоматизация технологических производств».

Табл. 36. Ил. 36. Библиогр.: 13 назв.

Работа выполнена в рамках реализации Инновационной образовательной программы Санкт-Петербургского государственного политехнического университета «Развитие политехнической системы подготовки кадров в инновационной среде науки и высокотехнологичных производств Северо-Западного региона России».

Печатается по решению редакционно-издательского совета Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.

ISBN

© Жуков Э. Л., Кобчиков В. С., Никифоров В. И., 2008
© Санкт-Петербургский государственный
политехнический университет, 2008

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
1. Разработка структуры технологической операции	6
2. Оценка правильности наладки станка по пробным деталям и определение количества вероятного брака деталей	21
3. Разработка схем базирования и установки заготовки	34
4. Назначение технологических баз для черновой обработки.....	52
5. Расчет технологических размерных цепей	59
6. Отработка чертежа детали на технологичность	78
7. Расчет припуска на механическую обработку поверхности заготовки аналитическим методом	99
Библиографический список	129
Приложения	130
Приложение 1. Значения функции Лапласа	130
Приложение 2. Средняя экономическая точность разме- ров и шероховатость поверхностей заготовок	131
Приложение 3. Средняя экономическая точность и пара- метры качества поверхностей для операций обработки резани- ем.....	133
Приложение 4. Точность заготовок	139
Приложение 5. Погрешности закрепления заготовок в приспособлениях	141
Приложение 6. Припуски и допуски на заготовки	149

ВВЕДЕНИЕ

Деятельность технолога-машиностроителя основана на последовательном решении технологических задач в областях проектирования новых и совершенствования существующих технологических процессов изготовления и ремонта изделий. Подготовка к выполнению этой деятельности является основой содержания обучения специалистов технологического профиля, что может быть реализовано только на базе широкой самостоятельной работы студентов.

Учебное пособие предназначено для организации работы студентов технических вузов, обучающихся основам науки «Технология машиностроения» путем решения технологических задач. В нем представлены теоретические основы и методика решения основных задач этой группы. Студентам предлагаются задания по разработке структуры технологического процесса, наладки станка на изготовление партии заготовок, базированию заготовок и расчету размерных цепей, отработке чертежа детали на технологичность изготовления и расчета припусков на обработку поверхности.

Последовательность тем пособия соответствует примерной программе учебной дисциплины «Технология машиностроения» для студентов направлений подготовки и специальностей технического профиля. В основу отбора теоретического материала положены учебные пособия для вузов, разработанные в Санкт-Петербургском государственном политехническом университете.

В структуру каждой темы пособия входят следующие разделы: теоретические основы, необходимые для решения задач данной группы; методика решения этих задач, задания для самостоятельной работы студентов и содержание отчета.

Теоретическим основам решения технологических задач придана в пособии практическая направленность. Уровни предлагаемых

для решения задач в каждой из тем и представленный теоретический материал соответствуют уровню лекционных знаний, полученных студентами к моменту проведения занятия. В то же время материал пособия иначе структурирован, чем лекционный, дополнен практическими аспектами и детализирован до вида, необходимого для решения соответствующих задач.

Методика решения технологических задач представлена в темах в виде эвристической последовательности действий студента. Эта последовательность ещё не гарантирует получения правильного решения, но указывает на основные этапы деятельности, её направление и, в целом, на ориентиры в подходах к решению задач данной группы.

Задания для практической работы студентов по разным темам даются с учётом требуемого для их изложения объёма. Там, где это оказалось возможным, приведены таблицы с заданиями. Для тех тем, где задания требуют изображения чертежей деталей и заготовок, в учебном пособии приводится только одно задание. Оно может служить преподавателю основой для разработки конкретных заданий всем студентам группы.

Перечень включённых в пособие тем, а вместе с ними и предлагаемых к решению технологических задач, ограничен трудоёмкостью изучения дисциплины «Технология машиностроения» и ее прикладным назначением — для подготовки бакалавров направлений и специальностей в области техники и технологий.

В работе 7 «Расчет припуска на механическую обработку поверхности заготовки аналитическим методом» широко использован материал работы А. Ф. Горбачевича и В. А. Шкреда «Курсовое проектирование по технологии машиностроения», 1983 [2]. В основе остальных работ лежит опыт и практические разработки кафедры «Технология машиностроения» ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет» («СПбГПУ»). И с этой позиции, изложенные теоретические основы отражают концептуальный подход авторов к формированию технологической подготовки технологов–машиностроителей. По этой же причине в перечне

рекомендуемой литературы по темам представлены, главным образом, учебники и учебно-методические пособия, используемые при изучении учебной дисциплины «Технология машиностроения» в ГОУ «СПбГПУ».

1. РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОПЕРАЦИИ

Цель работы: знания структуры и элементов технологической операции, системы их записи в технологической документации, правил составления технологических эскизов операций; умения назначать элементы технологической операции в зависимости от типа производства изделия и используемого технологического оборудования и разрабатывать технологические эскизы выполнения отдельных переходов.

Общие сведения

Технологическая операция в условиях механосборочного производства — это законченная часть технологического процесса, выполняемая на одном рабочем месте непрерывно над одним или несколькими одновременно обрабатываемыми изделиями одним или несколькими рабочими.

Условие непрерывности операции означает выполнение предусмотренной ею работы без перехода к обработке другого изделия. Обработка следующего изделия с возвратом к исходному соответствует началу новой технологической операции.

Наименование технологической операции, относящейся к методу обработки резанием, должно отражать применяемый вид оборудования и записываться именем прилагательным в именительном падеже (ГОСТ 3.1702–79). Например, токарно-револьверная, автоматнотокарная, вертикально-сверлильная операция.

Содержание операции раскрывается предложением с указанием в нем:

– ключевого слова, характеризующего метод обработки, выраженного глаголом в неопределенной форме (точить, сверлить, фрезеровать и т. д.);

– наименования обрабатываемой поверхности, ее конструктивных элементов или предмета труда (галтель, цилиндр, заготовка и т. п.);

– информации по размерам или их условным обозначениям;

– дополнительной информации, характеризующей количество одновременно или последовательно обрабатываемых поверхностей, характер обработки (одновременно, предварительно, по копиру и т. п.).

При отсутствии графических изображений рекомендуется делать полную запись содержания технологической операции. Например: сверлить 4 сквозных отверстия с последующим зенкованием фасок, выдерживая $d = 10^{+0,2}$; $D = 40^{+0,5}$; $< 90^\circ + 30'$ и фаски $1 \times 45^\circ$ согласно чертежу.

В сокращенной форме записи, которая используется при наличии графических изображений, дополнительная информация не указывается. Ранее приведенный пример полной записи содержания операции в сокращенной форме будет следующим: сверлить 4 отв. $d = 10^{+0,2}$, зенковать фаски $1 \times 45^\circ$ согласно чертежу.

Технологическая операция имеет определенную структуру, элементами которой являются технологический и вспомогательный переходы, установ, позиция, рабочий и вспомогательный ходы (ГОСТ 3.1109–62).

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

Одним переходом является не только часть операции, относящаяся к обработке одной простой или фасонной поверхности простым или фасонным инструментом, но и одновременная обработка нескольких поверхностей комплектом режущих инструментов (набором фрез, многорезцовая обработка), а также обработка криволинейных поверхностей простым инструментом, движущимся по копиру

или заданной программе (фрезерование кулачков, рабочего профиля турбинной лопатки и т. п.). Такие переходы называют сложными.

В то же время, обработку одной и той же поверхности последовательно одним или разными инструментами при измененных режимах резания описывают двумя технологическими переходами. Это относится, например, к последовательной черновой и чистовой обработке поверхности, последовательному сверлению, зенкерование и развертыванию отверстия и подобным указанным совокупностям этапов обработки поверхности.

На станках с программным или адаптивным управлением изменение режима работы станка может осуществляться автоматически в рамках одного технологического перехода.

ГОСТ 3.1702–79 устанавливает следующий порядок полной записи содержания технологического перехода:

- ключевое слово (подрезать, расточить, цековать, сверлить и т. п.);
- наименование предмета труда, обрабатываемых поверхностей, конструктивных элементов (фаска, галтель, резьба, зуб и т. п.);
- условные обозначения размеров и конструктивных элементов.

Пример. Точить поверхность, выдерживая $d = 40_{-0,34}$ и $\ell = 100^{+0,8}$.

Допускается полная или сокращенная форма записи содержания технологического перехода. Полную запись выполняют при необходимости перечисления всех выдерживаемых размеров. Она характерна для технологических переходов черновой обработки, не имеющих

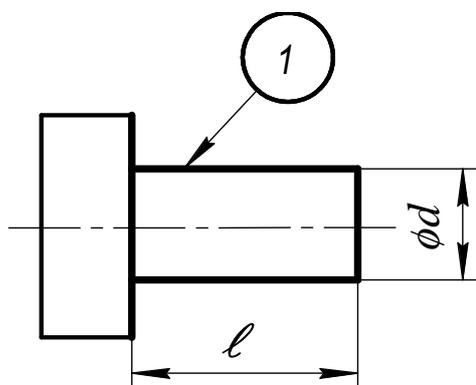


Рис. 1.1. Технологический эскиз

графических иллюстраций. Сокращенная запись технологического перехода делается со ссылкой на условное обозначение конструктивного элемента обрабатываемой заготовки на эскизе. Она используется при наличии достаточной графической информации.

Пример сокращенной записи содержания технологического перехода: «Точить поверхность 1 (рис. 1.1)».

Вспомогательный переход — законченная часть технологической операции, состоящая из действий человека и (или) оборудования, которые не сопровождаются изменением формы, размеров и шероховатости поверхности, но необходимы для выполнения технологического перехода. Примерами вспомогательных переходов могут быть: установка или переустановка заготовки, смена инструмента и т. п.

Правила записи содержания вспомогательного перехода аналогичны правилам для технологического перехода. К ключевым словам, характеризующим вспомогательные переходы относят: выверить, закрепить, настроить, переустановить, переустановить и закрепить, поджать, проверить, смазать, снять, установить, установить и выверить, установить и закрепить и т. п.

В соответствии с ГОСТ 3.1104–81 технологические и вспомогательные переходы следует нумеровать последовательно числами натурального ряда (1, 2, 3, 4 и т. д.).

Установ — часть технологической операции, выполняемая при неизменном закреплении обрабатываемой заготовки или собираемой сборочной единицы. В соответствии с требованиями ГОСТ 3.1104–81 *установы* следует нумеровать прописными буквами русского алфавита (А, Б, В и т. д.). Перезакрепление заготовки или сборочной единицы, выполняемое в рамках одной технологической операции, соответствует введению следующего установка и вспомогательного перехода, формулировка содержания которого характеризуется одним из следующих ключевых слов: переустановить, переустановить и закрепить; переустановить, выверить и закрепить; переместить.

Позиция — фиксированное положение, занимаемое неизменно закрепленной заготовкой совместно с приспособлением относительно инструмента или неподвижной части оборудования для выполнения определенной части операции.

Позиции нумеруют в технологической документации последовательным рядом римских цифр (I, II, III и т. д.).

Рабочий ход — законченная часть технологического перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно

заготовки, сопровождаемого изменением формы, размеров, качества поверхности и свойств заготовки.

Число рабочих ходов при постоянной глубине резания определяется припуском на обработку (Z) и допустимой глубиной резания.

Вспомогательный ход — законченная часть технологического перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки, но необходимая для выполнения рабочего хода.

Проектирование технологического процесса изготовления детали — задача весьма сложная, трудоемкая и многовариантная. Она содержит в решении ряд этапов, одним из которых является разработка структуры каждой из технологических операций, т. е. перечня их элементов и последовательности выполнения. Для одной и той же операции можно предложить ряд вариантов выполнения с различными перечнем и следованием элементов.

Поиск оптимальной структуры технологической операции на текущем этапе изучения студентами теоретических основ технологии машиностроения не может быть осуществлен, так как требует дополнительных к указанным выше теоретических сведений. Общий подход в решении этой задачи состоит в анализе содержания операции, технологических возможностей оборудования, других исходных данных и на этой основе синтезе искомой последовательности установов, переходов и ходов технологической операции.

Задания для самостоятельной работы

Содержание задания: разработать структуру технологической операции по данным, представленным в таблице 1.3, сформулировать в соответствии с ГОСТ 3.1109–82 и ГОСТ 3.1702–79 названия и содержание ее элементов, вычертить эскиз одного из технологических переходов.

Последовательность выполнения

1. Изучите операционный эскиз, найдите на нем поверхности, подлежащие изготовлению (они выделены линиями двойной толщины). Обозначьте изготавливаемые элементы заготовки (поверхности или конструктивные элементы типа «канавка», «галтель» и т. п.) цифрами 1, 2, 3 (рис. 1.2). Определите шероховатость поверхностей, которую требуется получить на данной операции.

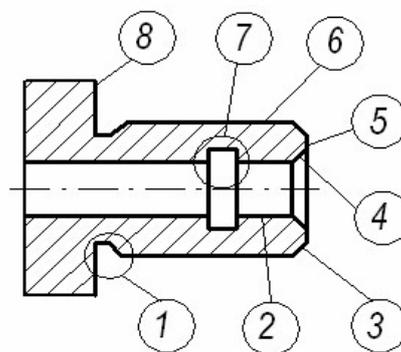


Рис. 1.2. Технологический эскиз

2. По таблице 1.3 определите тип заготовки и величину припуска на обрабатываемые поверхности.

Контур заготовки нанесен на операционный эскиз пунктирной линией.

3. Изучите по учебнику [10] устройство, технологические возможности и особенности используемого на данной технологической операции металлорежущего станка. В частности: количество и расстановку шпинделей и суппортов, наличие револьверных головок, последовательность работы механизмов станка, рабочие позиции узлов, систему загрузки и т. д.

4. Определите по операционному эскизу способ установки и закрепления заготовки на станке. С этой целью обратите внимание на введенные на эскизах следующие условные обозначения приспособлений:

$\sqrt{\quad}^3$ — трехкулачковый самоцентрирующий патрон; \perp — поводковый патрон; \bowtie — плавающий центр; \circlearrowright — вращающийся центр.

Для тех операционных эскизов, на которых нет условных обозначений приспособлений, совместно с преподавателем решите вопросы о положении заготовки на станке в процессе обработки и о тех поверхностях, по которым она будет закреплена в приспособлении.

5. Установите необходимое и достаточное число этапов обработки отдельных поверхностей для обеспечения заданных характеристик точности размеров, формы и качества поверхности.

Известно, что для обработки одной и той же поверхности могут применяться различные технологические методы. Выбор наилучшего из них является трудоемкой, но необходимой для выполнения задач. Один из способов ее решения основан на использовании типовых планов обработки поверхностей. Сведения о некоторых из этих планов обработки, необходимые для выполнения индивидуальных заданий, даны в таблице 1.1.

Таблица 1.1

Типовые планы обработки поверхностей

Этапы обработки поверхности	Достижимые точность размеров и шероховатость поверхности	
	<i>Ra</i> , мкм	квалитеты точности
<i>Наружное обтачивание:</i>		
– черновое	50–12,5	14–12
– чистовое	12,5–1,6	10–8
<i>Внутреннее растачивание:</i>		
– черновое	25–6,3	12–11
– чистовое	6,3–1,6	10–8
<i>Обработка отверстий:</i>		
– сверление	25–3,2	12–11
– зенкерование однократное литого или прошитого отверстия	12,5–3,2	12–11
– зенкерование после сверления	12,5–3,2	11–10
– развертывание нормальное	3,2–1,6	11–10
– развертывание точное	1,6–0,4	9–7

6. Составьте первичный (предварительный) перечень простых переходов (одноинструментная обработка), расположив их в последовательности изготовления детали. Принятую последовательность согласуйте с преподавателем.

7. Определите возможность выполнения всех переходов за один установ, т. е. при одном закреплении заготовки. Если это невозможно, то установите требуемое число установов и распределите простые переходы по технологическим установкам.

8. В рамках каждого из установов выделите технологические позиции и их количество. Согласуйте принятое решение с технологическими возможностями станка, позициями его рабочих органов (суппортов, револьверных головок, шпиндельного блока и пр.).

9. Укрупните, по возможности, простые переходы в сложные, используя многоинструментные схемы наладки, параллельную обработку поверхностей и комбинированные инструменты.

10. Выделите вспомогательные переходы и определите их место в общей структуре технологической операции.

11. Дайте полную формулировку всем выделенным элементам технологической операции в соответствии с рекомендациями, приведенными в разделе «Общие сведения», и заполните таблицу 1.2.

Таблица 1.2

Структура технологической операции изготовления детали

Технологическая операция		Номера			Число рабочих ходов	Полная запись содержания элемента технологической операции
Номер	Наименование	установов	позиций	переходов		

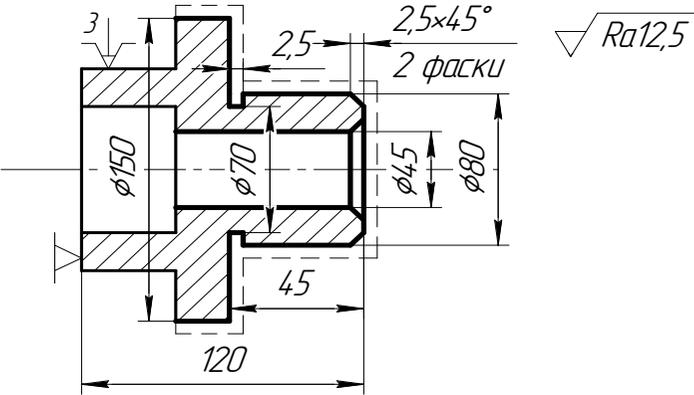
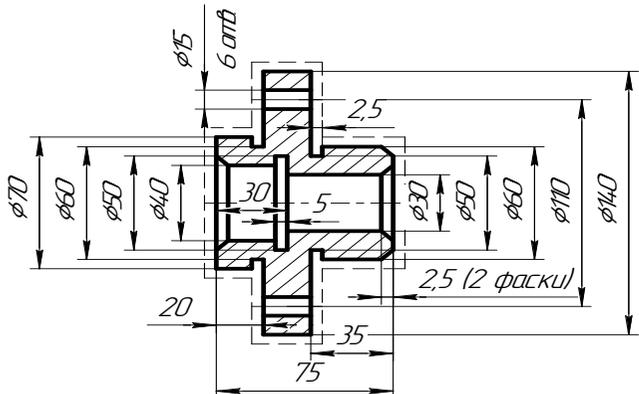
12. Определите число рабочих ходов, исходя из заданного припуска на обработку и максимально допустимой глубины резания. Примите максимальное значение глубины резания t равное 5 мм.

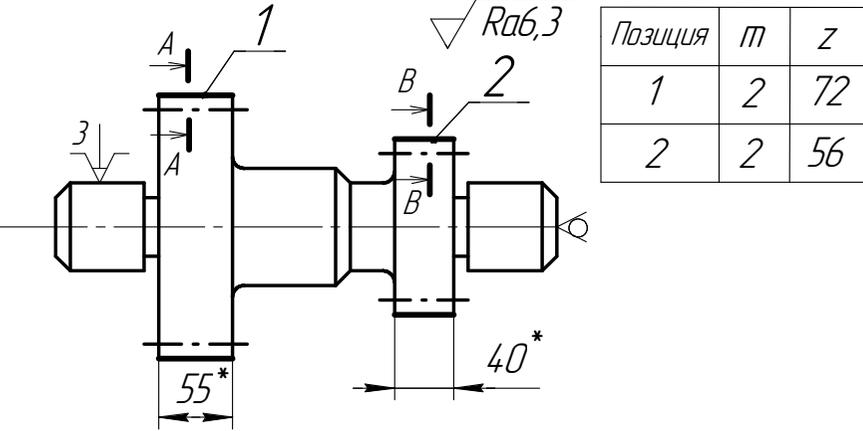
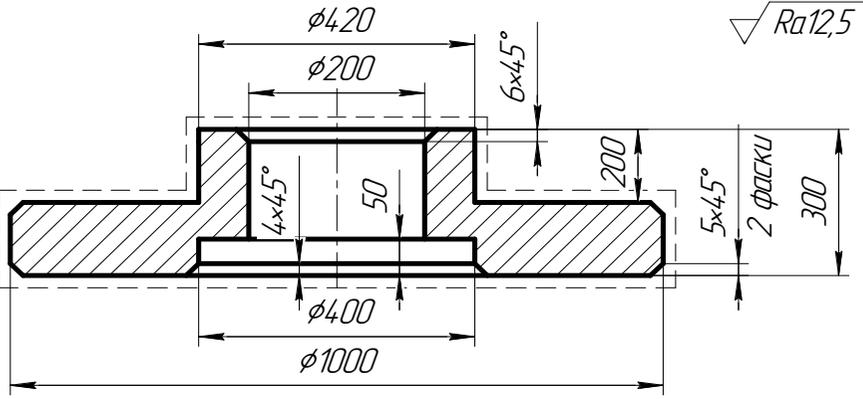
13. Для одного из технологических переходов составьте эскиз обработки. На эскизе обработанные поверхности выделите линиями двойной толщины, режущий инструмент нарисуйте в конечном положении его рабочего хода; укажите получаемые на переходе размеры с отклонениями или квалитетом точности, обозначьте движения резания и требуемую шероховатость обработанной поверхности.

Индивидуальные задания

№ пп	Наименование детали	Эскиз операции	Тип производства	Металлорежущий станок	Примечания
1	2	3	4	5	6
1	Вал		единичное	токарный	$t = 5$ мм
2	Вал		массовое	токарный многошпиндельный горизонтальный полуавтомат	
Примечания. 1. Общие допуски ГОСТ 30893.1-м (H14, h14, ±IT14/2). 2. * – размеры для справок.					

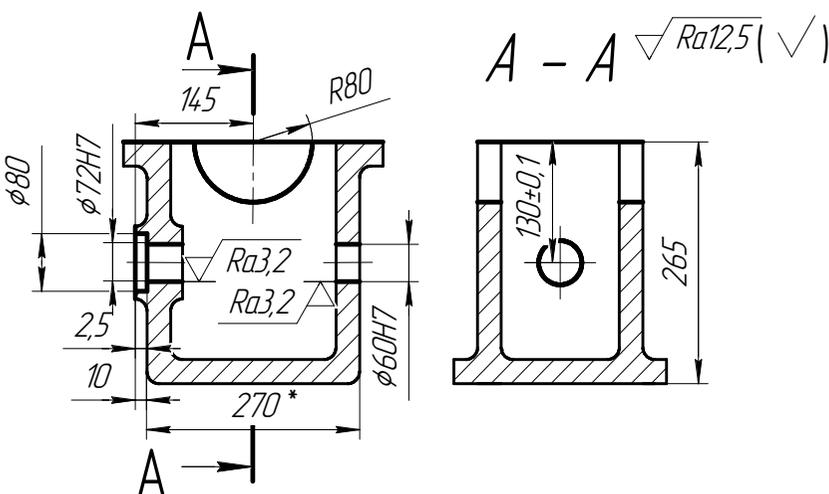
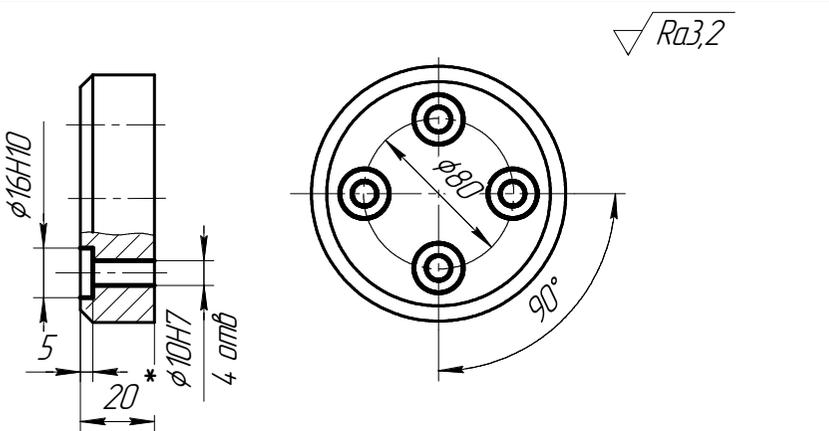
Продолжение табл.1.3

1	2	3	4	5	6
3	Корпус		средне-серийное	токарно-револьверный	Заготовка не имеет центрального отверстия
4	Фланец		массовое	токарный многошпиндельный вертикальный полуавтомат	
<p>Примечания. 1. Общие допуски ГОСТ 30893.1-м (H14, h14, ±IT14/2). 2. * – размеры для справок.</p>					

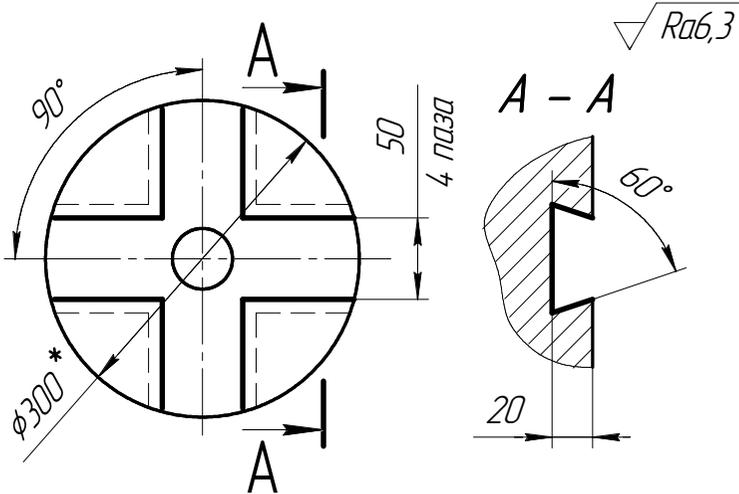
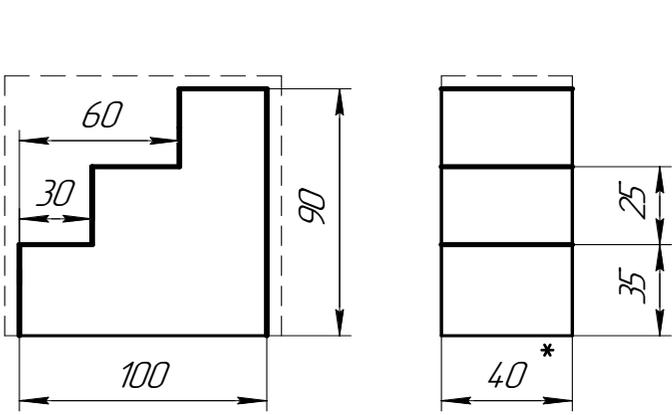
1	2	3	4	5	6									
5	Вал	 <table border="1" data-bbox="1146 331 1411 507"> <thead> <tr> <th>Позиция</th> <th>т</th> <th>z</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>2</td> <td>72</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>2</td> <td>56</td> </tr> </tbody> </table>	Позиция	т	z	1	2	72	2	2	56	единичное	горизонтально-фрезерный	Дисковая модульная фреза
Позиция	т	z												
1	2	72												
2	2	56												
6	Колесо		мелко-серийное	токарно-карусельный										
<p>Примечания. 1. Общие допуски ГОСТ 30893.1-т (H14, h14, ±IT14/2). 2. * – размеры для справок.</p>														

Продолжение табл. 1.3

1	2	3	4	5	6
7	Сухарь		единичное	вертикально-сверильный	
8	Накладка		массовое	агрегатно-сверильный	
<p>Примечания. 1. Общие допуски ГОСТ 30893.1-м (H14, h14, ±IT14/2). 2. * – размеры для справок.</p>					

1	2	3	4	5	6
9	Корпус		серийное	горизонтально-расточной	
10	Крышка		крупно-серийное	вертикально-сверильный полуавтомат с револьверной головкой	
<p>Примечания. 1. Общие допуски ГОСТ 30893.1-м (H14, h14, ±IT14/2). 2. * – размеры для справок.</p>					

Продолжение табл. 1.3

1	2	3	4	5	6
11	Планшайба		единичное	вертикально-фрезерный	Заготовка без пазов
12	Опора		мелко-серийное	вертикально-фрезерный	
<p>Примечания. 1. Общие допуски ГОСТ 30893.1-м (H14, h14, ±IT14/2). 2. * – размеры для справок.</p>					

1	2	3	4	5	6
13	Диск		мелко-серийное	вертикально-фрезерный с ЧПУ	Заготовка без пазов
14	Муфта		серийное	вертикально-фрезерный с ЧПУ	Заготовка без пазов
Примечания. 1. Общие допуски ГОСТ30893.1-м (H14, h14, ±IT14/2). 2. * – размеры для справок.					

Содержание отчета

1. Номер индивидуального задания (табл. 1.3).
2. Операционный эскиз и дополнительные исходные данные по заданию.
3. Таблица «Структура технологической операции изготовления детали «.....», заполненная в соответствии с формой таблицы 1.2.
4. Наименование и эскиз технологического перехода (по заданию преподавателя).

2. ОЦЕНКА ПРАВИЛЬНОСТИ НАЛАДКИ СТАНКА ПО ИЗГОТОВЛЕНИЮ ПРОБНЫХ ДЕТАЛЕЙ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ВЕРОЯТНОГО БРАКА ДЕТАЛЕЙ

Цель работы: знания методики размерной наладки станка на изготовление партии деталей по пробным деталям и методики оценки правильности наладки; умение расчета показателей годных деталей партии и процента брака.

Общие сведения

При изготовлении партии деталей металлорежущий станок предварительно настраивают. *Наладкой* называют процесс подготовки технологического оборудования и технологической оснастки к выполнению определенной технологической операции (ГОСТ 3.1109–82). В результате наладки требуемая точность обработки получается автоматически, т. е. почти независимо от квалификации и внимания рабочего.

Настраивают станки различными методами. Особое место среди них по выполняемым действиям занимает метод наладки станка по пробным деталям с помощью универсального измерительного инструмента. Сущность его заключается в том, что установку режущих инструментов и упоров станка производят на заранее рассчитанные

размеры D_H (или L_H), находящиеся в пределах допуска (T) на изготовление заданного по чертежу размера детали. Правильность выполнения наладки устанавливают обработкой некоторого числа (m) пробных заготовок с последующей статистической обработкой результатов измерения полученных на изготовленных деталях размеров.

В терминах математической статистики *пробная партия деталей* выступает в этом случае как выборка из генеральной совокупности, которой с незначительной погрешностью будем считать всю партию изделий (n). В связи с этим задача проверки правильности наладки станка по пробным деталям может быть сформулирована следующим образом:

по результатам измерения размеров выборки (пробной партии) определить вероятные параметры генеральной совокупности (всей партии деталей), на этой основе дать оценку правильности наладки станка, а также определить количество возможного брака деталей.

В основу решения данной задачи положим условие о том, что распределение всех полученных на деталях размеров после обработки партии заготовок описывается законом нормального распределения (закон Гаусса) с генеральным средним \bar{D} и среднеквадратическим отклонением σ . Если данное условие не выполняется, то в последующие действия и выводы следует внести изменения, соответствующие фактическому виду распределения полученных размеров и характеру неучтенных погрешностей обработки.

Статистическая обработка результатов измерения размеров деталей пробной партии

По результатам измерения размеров D_i (или L_i) обработанных заготовок пробной партии определяют выборочное среднее размера \bar{D}_H и среднеквадратическое отклонение выборки S :

$$\bar{D}_H = \frac{\sum_{i=1}^m D_i}{m}, \quad S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (\bar{D}_H - D_i)^2}{m-1}}. \quad (2.1)$$

Полученные значения \bar{D}_H и S являются основой для расчета параметров генеральной совокупности (всей партии): генерального среднего диаметра \bar{D} и среднеквадратического отклонения σ размера D от \bar{D} для всей партии. Однако точно определить эти параметры по выборочным значениям нельзя. В силу того, что \bar{D}_H и S выборки являются случайными величинами, они могут служить лишь приближенными оценками соответствующих параметров генеральной совокупности. По значениям \bar{D}_H и S можно с определенной степенью риска определить доверительные (возможные) границы генерального среднего (от \bar{D}_1 до \bar{D}_2), среднеквадратической дисперсии (от σ_{\min}^2 до σ_{\max}^2) и образуемые ими доверительные интервалы.

Степень риска, называемую также уровнем значимости, обозначают индексом p . Уровень значимости, выраженный в процентах, показывает сколько раз в ста случаях изготовления детали мы рискуем ошибиться с установлением доверительных интервалов \bar{D} и σ . Так, наиболее употребительный 5 % уровень значимости допускает ошибку в пяти случаях из ста. Выбираемому уровню значимости p соответствует доверительная вероятность $1 - p$. В зависимости от конкретных обстоятельств в качестве доверительной вероятности берут значения 0,95; 0,98; 0,99; реже 0,90 или 0,99.

При выбранном уровне значимости p доверительный интервал генерального среднего \bar{D} (\bar{D}_1, \bar{D}_2) определяется неравенством (2.2)

$$\bar{D}_H - \frac{S}{\sqrt{m}} t_{1-p/2} \leq \bar{D} \leq \bar{D}_H + \frac{S}{\sqrt{m}} t_{1-p/2}, \quad (2.2)$$

где $t_{1-p/2}$ — квантиль t распределения Стьюдента. Значение его устанавливают в зависимости от принятого значения p и числа f , где $f = m - 1$. Доверительный интервал значений среднеквадратической дисперсии генеральной совокупности σ^2 ($\sigma_{\min}^2, \sigma_{\max}^2$) определяется из неравенства (2.3)

$$\frac{f S^2}{\chi_{1-p/2}^2} \leq \sigma^2 \leq \frac{f S^2}{\chi_{p/2}^2}, \quad (2.3)$$

где $\chi^2_{1-p/2}$ и $\chi^2_{p/2}$ — квантили распределения Пирсона, определяемые по таблице (в данной работе она не используется, а потому и не приводится) в зависимости от тех же величин, что и квантили $t_{1-p/2}$.

Проведённые расчёты параметров генеральной совокупности дают возможность оценить границы, в которых будут с доверительной вероятностью $(1 - p)$ находиться размеры всей партии деталей, если они будут обработаны на станке, настроенном по пробным заготовкам. Эта оценка базируется на том положении, что для случайной величины, подчиняющейся закону нормального распределения, вероятность появления события, которое на 3σ превосходит её стандарт σ , практически незначима.

Приняв для решаемой задачи в качестве такого стандарта максимально возможное значение σ_{\max} , вычисленное из неравенства (2.3), получим следующие формулы для определения максимально и минимально возможных размеров деталей при изготовлении всей партии:

$$D_{\min}(D_A) = \bar{D}_H - \frac{S}{\sqrt{m}} t_{1-p/2} - 3S \sqrt{\frac{f}{X_{p/2}^2}},$$

$$D_{\max}(D_B) = \bar{D}_H + \frac{S}{\sqrt{m}} t_{1-p/2} + 3S \sqrt{\frac{f}{X_{p/2}^2}}.$$

Эти и предыдущие формулы можно проиллюстрировать графически, представив значения \bar{D}_H , D_A , D_B , \bar{D}_1 , \bar{D}_2 на оси абсцисс D в их возрастающей последовательности (рис. 2.1). На схеме символом ω обозначено поле рассеивания размеров всей партии изготовленных деталей.

Определение количества возможного брака в партии деталей

Известно, что обязательным условием обработки заготовок без брака является выражение $\omega \leq T$, где T — допуск на размер D . В связи с этим брак при обработке всех n заготовок партии на станке, настроенном по пробным деталям на размер \bar{D}_H , может быть исключен, если

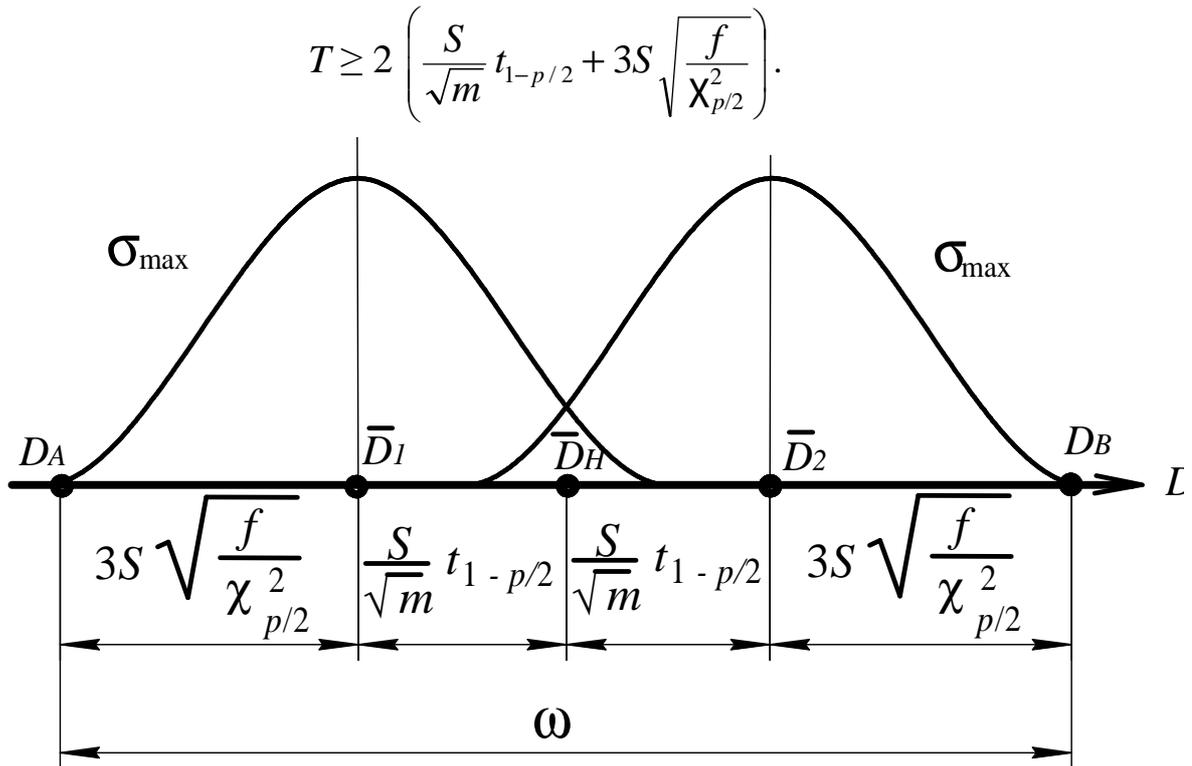


Рис. 2.1. Схема, иллюстрирующая методику определения максимально (D_B) и минимально (D_A) возможных размеров деталей всей партии при наладке станка по пробным деталям

Исходя из вышеизложенного, можно при $T > \omega$ определить допуск на настройку станка T_H и границы изменения настроечного размера, $IS(\bar{D}_H)$ и $ES(\bar{D}_H)$, которые обеспечат отсутствие брака (рис. 2.2), по формулам (2.4) – (2.6).

$$ES(\bar{D}_H) = D_2 - S \left(\frac{t_{1-p/2}}{\sqrt{m}} + 3 \sqrt{\frac{f}{\chi_{p/2}^2}} \right), \quad (2.4)$$

$$IS(\bar{D}_H) = D_1 + S \left(\frac{t_{1-p/2}}{\sqrt{m}} + 3 \sqrt{\frac{f}{\chi_{p/2}^2}} \right), \quad (2.5)$$

$$T_H = T - 2S \left(\frac{t_{1-p/2}}{\sqrt{m}} + 3 \sqrt{\frac{f}{\chi_{p/2}^2}} \right). \quad (2.6)$$

Здесь и далее будем считать, что размер D , получаемый на детали, является охватываемым размером, а символы D_1 и D_2 соответст-

вуют границам допуска T на размер D , т. е. являются нижним и верхним предельными размерами детали.

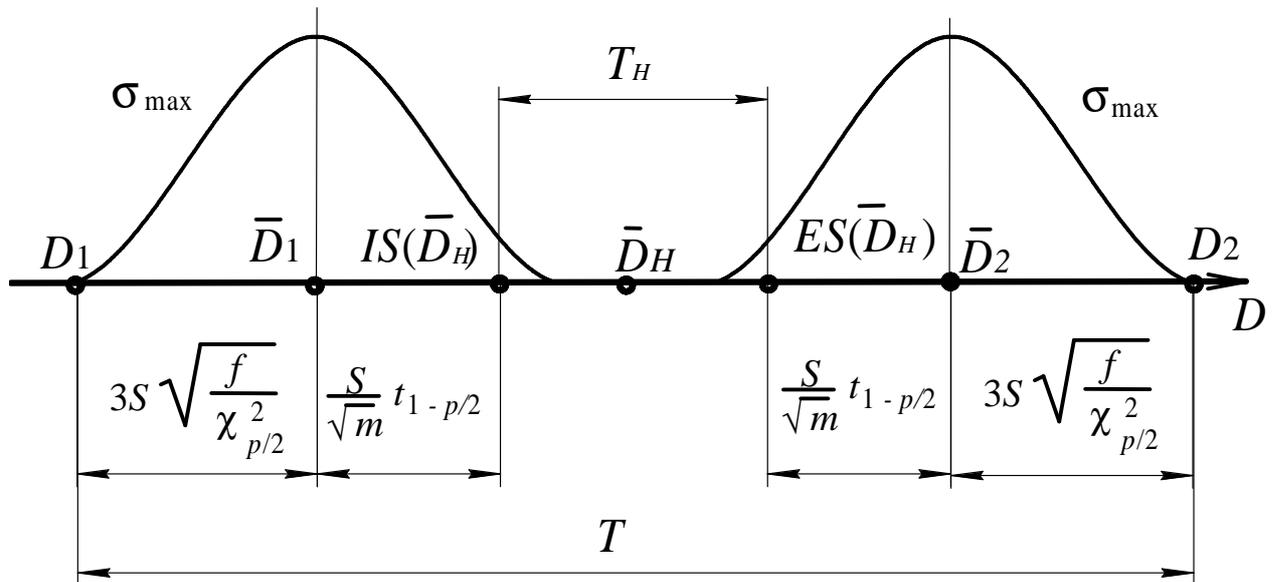


Рис. 2.2. Схема определения допуска на наладку станка по методу пробных деталей

Если средний размер выборки \bar{D}_H при $\omega \leq T$ не попадает в поле допуска настройки T_H (рис. 2.3, а) или допуск на обработку T меньше вероятного поля рассеивания размеров партии деталей ω (рис. 2.3, б, в), то брак при их обработке на настроенном таким образом станке возможен.

Вероятная доля брака деталей при изготовлении всей партии в этих случаях рассчитывается на основе следующих теоретических положений.

Пусть будет изготовлена партия деталей и построена кривая распределения полученных размеров D , которая описывается законом нормального распределения (рис. 2.4).

Требовалось изготовить детали с допуском T и предельными размерами $D_{\min}^{\text{дон}}$ (D_1) и $D_{\max}^{\text{дон}}$ (D_2). Фактически полученное поле рассеивания ω превосходит по значению T и находится в границах $D_{\min}^{\text{факт}}$ и $D_{\max}^{\text{факт}}$ (см. рис. 2.4). Очевидно, что те детали, размеры которых

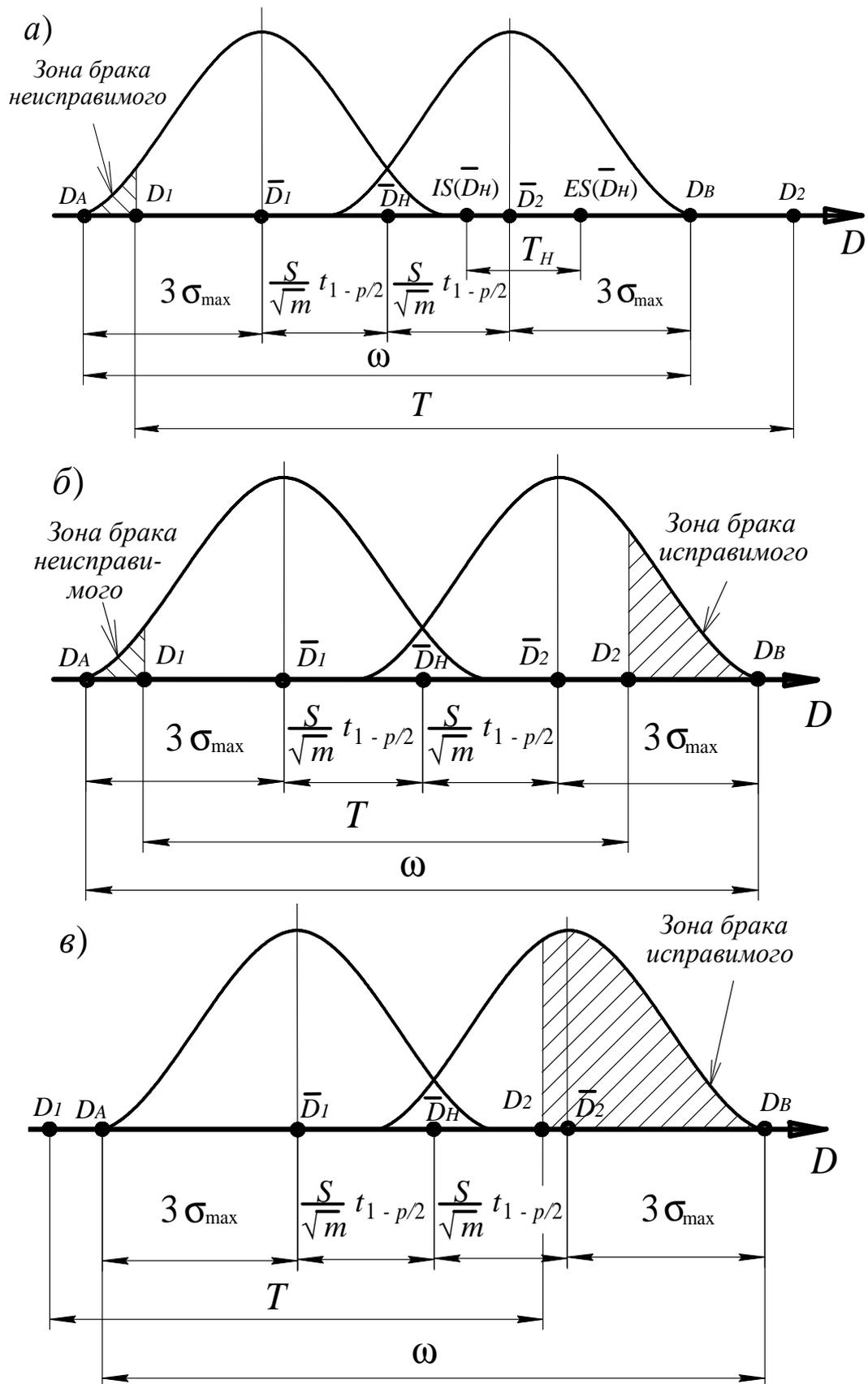


Рис. 2.3. Схемы расположения областей брака при изготовлении партии деталей на станке, настроенном методом пробных деталей

не попали в границы допуска T , — это брак исправимый (справа) и неисправимый (слева).

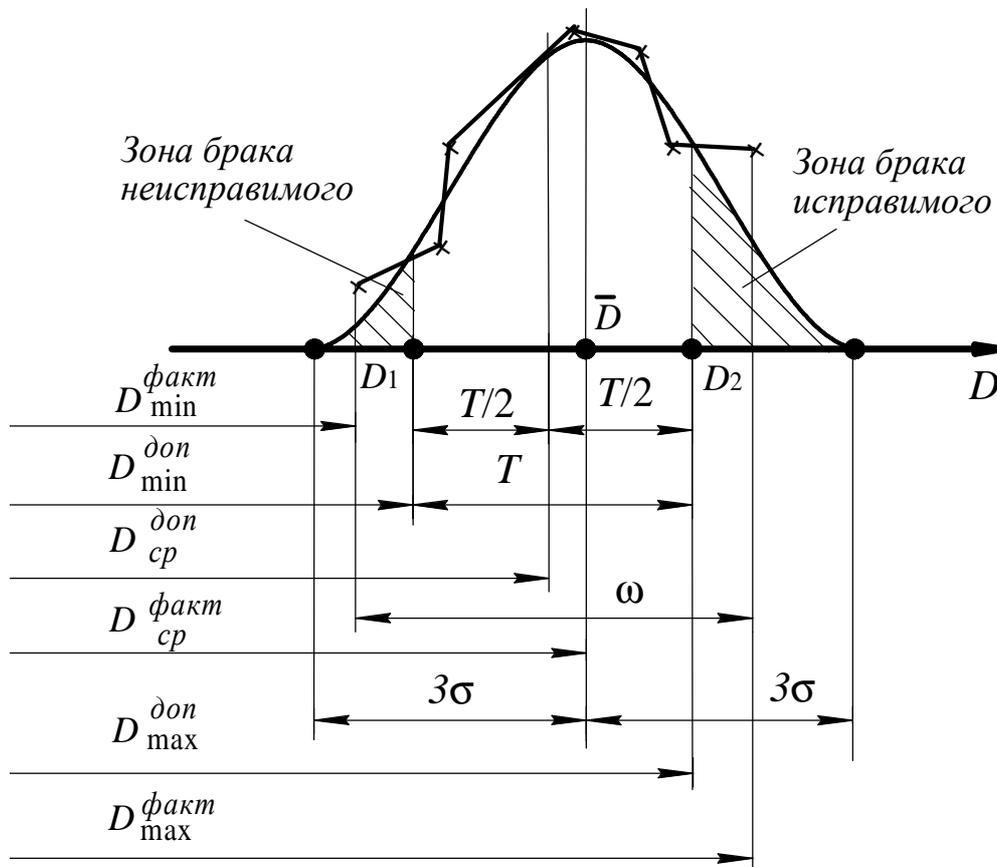


Рис. 2.4. Схема расположения полей брака на кривой распределения размеров изготовленной партии деталей

Площадь, ограниченная кривой нормального распределения и осью абсцисс, равна единице и характеризует распределение размеров всей партии обработанных заготовок (100 %). Площадь заштрихованных участков представляет долю деталей партии, выходящих по своим размерам за пределы допуска.

Таким образом, для определения количества годных деталей необходимо найти долю (процент) площади, ограниченной кривой нормального распределения и осью абсцисс на участке, равном допуску T , от всей площади кривой распределения. Все остальные детали составят брак исправимый и неисправимый.

Для определения доли брака вместо параметра D вводят новый параметр t и рассчитывают значения t_1 и t_2 по формулам:

$$t_1 = \frac{D_1 - \bar{D}}{\sigma}, \quad t_2 = \frac{D_2 - \bar{D}}{\sigma}$$

Затем находят значения функции Лапласа $\Phi(t)$ для вычисленных параметров t_1 и t_2 по формуле:

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

Значения этой функции рассчитаны для разных величин t и приведены в приложении 1. По определенным из него значениям $\Phi(t_1)$ и $\Phi(t_2)$ находят долю годных деталей в партии:

$$P_{год} = \Phi(t_2) - \Phi(t_1). \quad (2.7)$$

Долю брака определяют в связи с этим следующим образом:

$$P_{бр} = 1 + \Phi(t_1) - \Phi(t_2). \quad (2.8)$$

При этом доли брака исправимого и неисправимого составят:

$$P_{бр}^{испр} = 0,5 + \Phi(t_1), \quad P_{бр}^{неиспр} = 0,5 - \Phi(t_2). \quad (2.9)$$

Расчет доли вероятного брака деталей при наладке станка методом пробных деталей в своей основе проводится по вышеизложенной методике. Особенности, связанные со спецификой схем расположения поля рассеивания относительно поля допуска на размер T (см. рис. 2.3), не требуют дополнительных разъяснений.

Задания для самостоятельной работы

Содержание задания: исходя из размеров деталей пробной партии (табл. 2.1), дайте оценку правильности наладки станка, определите доли (P) и количество в штуках (Q) вероятного брака деталей, брака исправимого и неисправимого.

Последовательность выполнения работы

1. Рассчитайте значения \bar{D}_H (\bar{L}_H) и S выборки, представленной размерами пробной партии деталей по формулам (2.1).

2. Определите границы доверительного интервала генерального среднего \bar{D} , приняв уровень значимости $p = 0,04$. Для этого значения p при числе пробной партии деталей $m = 5$ величина $t_{1-p/2}$ равна 3,0.

С учетом этих данных и неравенства (2.2) наименьшее (\bar{D}_1) и наибольшее (\bar{D}_2) значения генерального среднего \bar{D} найдите по формулам:

$$\bar{D}_1 = \bar{D}_H - \frac{3S}{\sqrt{m}}; \quad \bar{D}_2 = \bar{D}_H + \frac{3S}{\sqrt{m}}.$$

3. Найдите доверительный интервал значений среднеквадратической дисперсии σ при $p = 0,04$ и $m = 5$. Примите для этих условий $\chi^2_{1-p/2}$ – квантили распределения Пирсона, равными:

$$\chi^2_{1-p/2} = 11,7; \quad \chi^2_{p/2} = 0,43.$$

С учетом подстановки этих значений в неравенство (2.3) минимальное и максимальное значения стандарта среднеквадратической дисперсии σ^2 будут равны: $\sigma_{\min} = 0,58S$, $\sigma_{\max} = 3,05S$. В дальнейших расчетах примите $\sigma = S$. Это несколько сужает возможное поле рассеивания размера D партии деталей, но допустимо в силу малой вероятности его попадания вне этого поля.

4. Определите границы возможного поля рассеивания размера D всей партии деталей. С учетом принятых допущений оно определяется по следующим формулам:

$$D_A = \bar{D}_H - 3S \left(1 + \frac{1}{\sqrt{m}}\right), \quad D_B = \bar{D}_H + 3S \left(1 + \frac{1}{\sqrt{m}}\right).$$

5. Постройте схему расположения поля рассеивания размеров партии деталей (по примеру рис. 2.3, а). Укажите на оси абсцисс место допуска T и размеров \bar{D}_H , D_A , D_B , \bar{D}_1 , \bar{D}_2 , D_1 , D_2 .

6. Определите численное значение поля рассеивания ω по формуле $\omega = D_B - D_A$, нанесите его на схему и сопоставьте с допуском на размер T .

Если $T > \omega$ и поле рассеивания размеров партии деталей расположено в границах допуска T , то наладка станка по пробным деталям выполнена правильно и брака при изготовлении всей партии деталей не будет.

7. Определите при $T > \omega$ допуск на наладку T_H по формулам (2.4) – (2.6) с учетом принятого значения $p = 0,04$ и нанесите его на схему.

8. Если $\omega > T$ или $\omega \leq T$, но часть поля рассеивания размеров расположена вне границ допуска, то брак при изготовлении всей партии на настроенном станке возможен. Определите для этого случая последовательно долю брака исправимого, а затем неисправимого по методике, изложенной в разделе «Определение количества возможного брака деталей партии».

Для этого:

8.1. Рассчитайте в зависимости от вида разработанной схемы (см. рис. 2.3) отдельно для различных зон брака (исправимого и неисправимого) значения t_1 и (или) t_2 по формулам:

$$t_1 = \frac{D_1 - \bar{D}_1}{\sigma_{\max}} \quad \text{и} \quad t_2 = \frac{D_2 - \bar{D}_2}{\sigma_{\max}}.$$

8.2. Установите по приложению (прил. 1) значения функций Лапласа $\Phi(t_1)$ и $\Phi(t_2)$.

8.3. Рассчитайте по формулам (2.7) – (2.9) доли годных деталей в партии ($P_{год}$), брака ($P_{бр}$), брака исправимого ($P_{бр}^{испр}$) и неисправимого ($P_{бр}^{неиспр}$).

9. Определите количество штук возможного брака деталей $Q_{бр}$ (шт) по формуле

$$Q_{бр} = P_{бр} \times n.$$

10. Дайте рекомендации по улучшению размерной наладки станка с целью уменьшения возможной доли брака в целом или уменьшения доли брака неисправимого.

11. Осуществите аналогичные расчеты на ЭВМ с теми же исходными данными, но при уровнях значимости $p = 0,10$ и $0,01$. Сопоставьте результаты с ранее полученными данными при уровне значимости $p = 0,04$ и сделайте выводы.

Содержание отчета

1. Номер индивидуального задания (табл. 2.1).
2. Эскиз технологического перехода и другие исходные данные по таблице 2.1.

3. Расчеты, выполненные в последовательности, указанной в пп. 1–11 раздела «Последовательность выполнения работы».

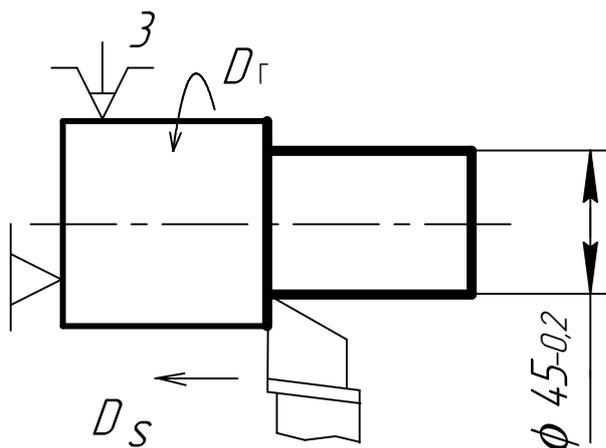
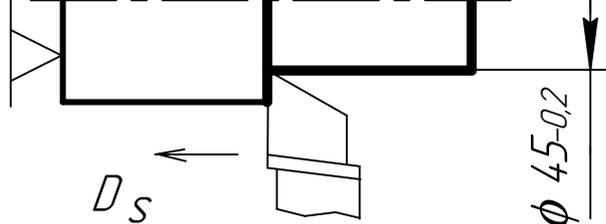
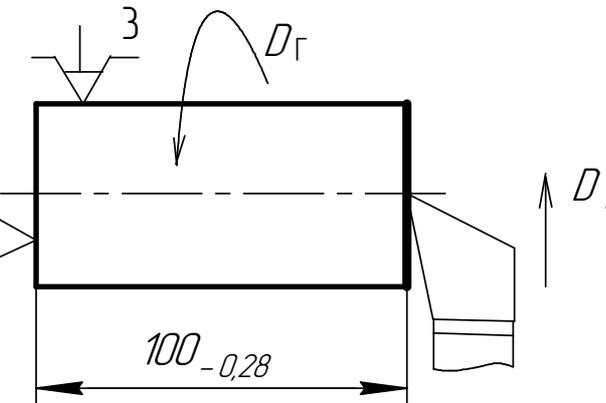
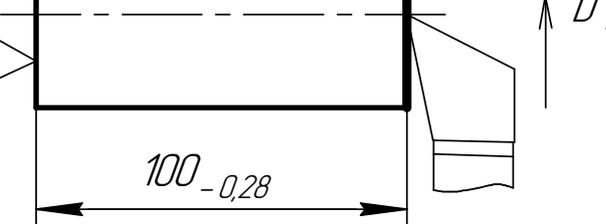
4. Схема расположения поля рассеивания размеров партии деталей по форме рисунка 2.3.

5. Результаты расчетов $\bar{D}_H, D_A, D_B, \bar{D}_1, \bar{D}_2, S, \omega, P_{бр}, P_{бр}^{испр}, P_{бр}^{неиспр}$.

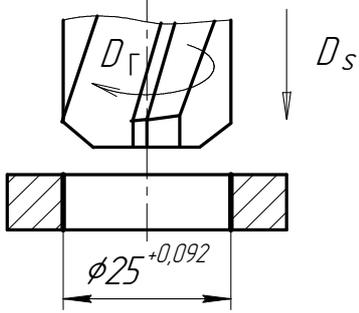
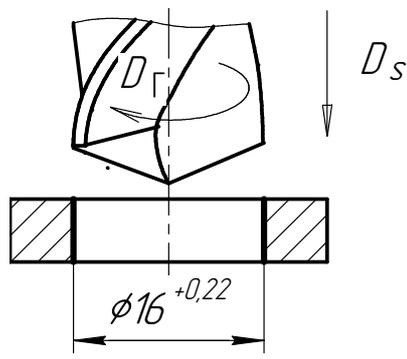
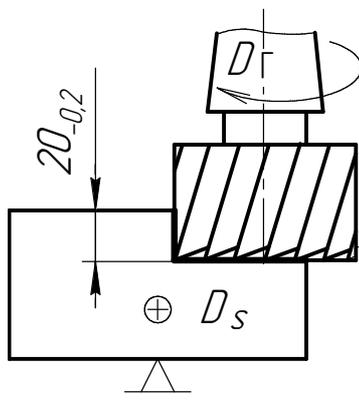
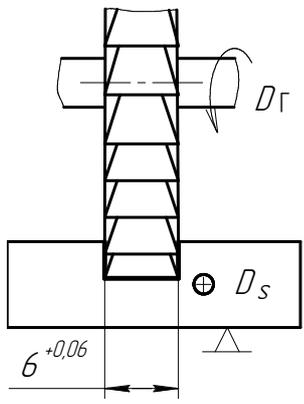
6. Выводы и рекомендации по корректировке настройки станка.

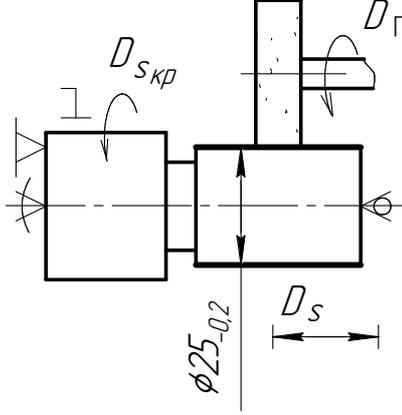
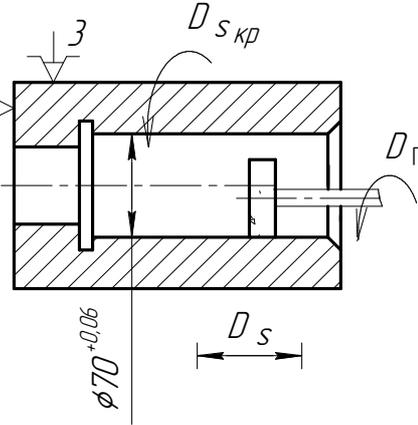
Таблица 2.1

Индивидуальные задания

№ пп	Эскиз технологического перехода	Партия, шт.	Размеры пробных деталей, мм
1	2	3	4
1		1000	44,90; 44,95; 44,90; 44,85; 44,90
2		500	45,00; 45,05; 45,00; 44,95; 45,00
3		800	99,85; 99,90; 99,85; 99,85; 99,80
4		500	99,95; 99,95; 100,00; 99,95; 99,90

Продолжение табл. 2.1

1	2	3	4
5		500	25,08; 25,06; 25,09; 25,07; 25,02
6		800	25,04; 25,06; 25,02; 25,03; 25,02
7		600	16,10; 16,15; 16,10; 16,10; 16,05
8		100	16,20; 16,20; 16,25; 16,20; 16,15
9		60	19,95; 20,00; 20,00; 20,05; 20,00
10		100	19,80; 19,85; 19,85; 19,90; 19,85
11		50	6,03; 6,02; 6,02; 6,04; 6,01
12		80	6,05; 6,07; 6,07; 6,06; 6,08

1	2	3	4
13		60	24,97; 24,99; 24,99; 24,98; 24,98
14		75	24,995; 24,990; 24,985; 24,990; 24,995
15		80	70,05; 70,04; 70,04; 70,05; 70,04
16		50	70,015; 70,010; 70,005; 70,005; 70,10
<p><i>Примечание.</i> На эскизах технологических переходов проставлены лишь те размеры, для которых осуществляется оценка правильности наладки станка.</p>			

3. РАЗРАБОТКА СХЕМ БАЗИРОВАНИЯ И УСТАНОВКИ ЗАГОТОВКИ

Цель работы: знания понятий о базировании, базах и теоретической схеме базирования заготовки; умения разработки теоретической схемы базирования и установки заготовки.

Общие сведения

Проектирование технологической операции изготовления детали включает этап разработки теоретической схемы базирования заготовки, т. е. схемы ее ориентации в принятой системе координат.

Координатные плоскости этой системы располагают по опорным поверхностям приспособлений или координатным плоскостям станка.

У металлорежущего станка систему координат размещают так, что ее оси идут параллельно направляющим станка. Для станков с ЧПУ в качестве единой системы координат в соответствии с ГОСТ 23597–79 принята стандартная система координат, при которой оси X , Y , Z указывают положительные перемещения инструментов относительно неподвижных частей станка.

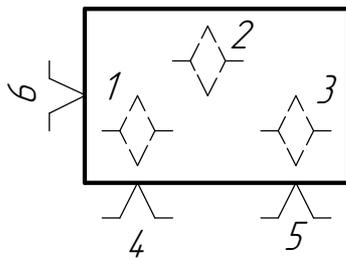
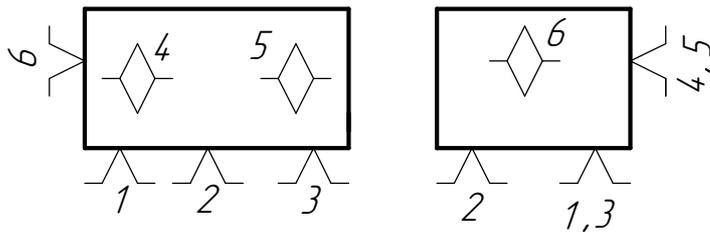
При разработке теоретической схемы базирования принятую систему координат приводят к заготовке и жестко с ней связывают, совмещая координатные плоскости с технологическими базами. Ими могут быть поверхности различных форм, центр, плоскости симметрии заготовки или характерные сечения, позволяющие судить о ее положении на станке относительно приспособления или рабочих органов станка.

На схеме базирования ни координатные плоскости, ни оси координат не указывают. Они представлены здесь в неявном виде опорными точками. Каждая опорная точка символизирует одну двустороннюю связь заготовки с принятой системой координат. Обозначают ее символом ∇ на видах спереди и сбоку и символом \diamond на виде сверху (рис. 3.1, *a*).

Если базирование заготовки осуществляется по явным технологическим базам, т. е. ее материальным поверхностям, то условные обозначения опорных точек проставляют на контурных поверхностях заготовки (см. рис. 3.1, *a*). Базирование заготовки по скрытым технологическим базам отражают на схеме простановкой опорных точек на плоскостях симметрии, осевых линиях или точке их пересечения (рис. 3.1, *б*).

Наложение на заготовку позиционной связи лишает ее одной степени свободы. Поэтому для полной ориентации заготовки в приспособлении на схеме базирования должно быть указано шесть опорных точек. Для их размещения необходим комплект из трёх технологических баз.

а)



б)

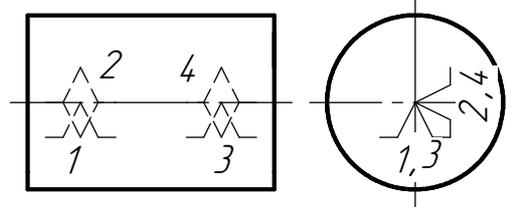


Рис. 3.1. Теоретические схемы базирования заготовки по контурным поверхностям (а) и на осевых линиях или точке их пересечения (б)

Опорные точки нумеруют простановкой у их символа цифр, характеризующих их порядковый номер (от 1 до 6). При наложении в какой-либо проекции одной опорной точки на другую, изображается одна точка и около нее проставляются номера совмещенных точек, например $\sqrt{1, 3}$.

Нумерацию опорных точек начинают с тех из них, которые расположены по технологической базе, несущей наибольшее их число. Такой является двойная направляющая или установочная база. Последний номер 6 получает точка, принадлежащая опорной базе.

При обработке заготовок на станках и их установке в приспособлениях во многих случаях нет необходимости в полной ориентации заготовки с использованием всего комплекта баз и лишением шести степеней свободы. Например, при обработке цилиндрической поверхности на токарном станке должна быть сохранена возможность вращения заготовки вокруг ее оси. Поэтому количество опорных точек в данном случае будет равно пяти (рис. 3.2). В общем случае на теоретической схеме базирования должно быть проставлено столько опорных точек $\sqrt{\quad}$, сколько степеней свободы необходимо лишить заготовку на данной операции, обеспечив этим выполнение технологических задач, определяемых операционным эскизом.

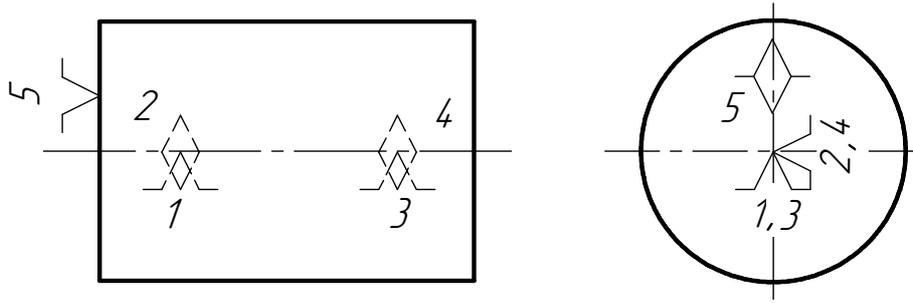


Рис. 3.2. Теоретическая схема базирования при установке цилиндрического валика по оси заготовки

Ряд распространенных схем базирования деталей приведен в ГОСТ 21495–76* «Базирование и базы в машиностроении». Основу рассмотренных в ГОСТ 21495–76* схем составляют теоретические схемы базирования деталей типов: призматическое тело, вал ($L > d$), диск ($L < d$), втулка и конус. Схемы базирования деталей первых двух типов приведены на рисунках 3.1, а и 3.2. Теоретические схемы базирования деталей типов *диск*, *конус* и *втулка* даны соответственно на рисунках 3.3, а, б, в.

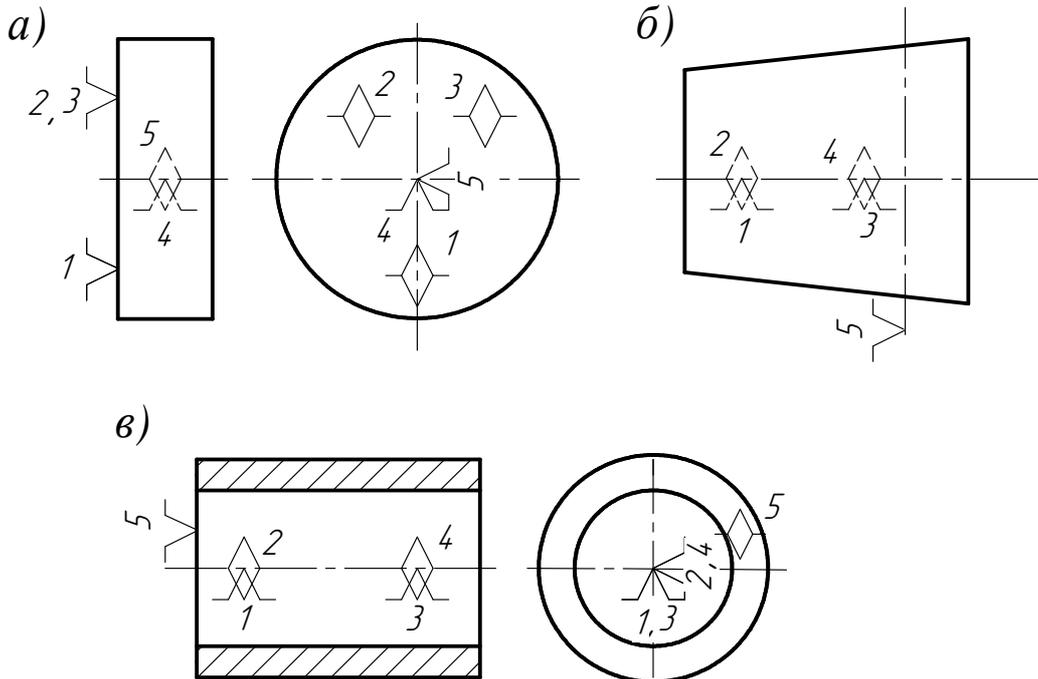


Рис. 3.3. Теоретические схемы базирования заготовок типов *диск* (а), *конус* (б) и *втулка* (в)

При проектировании технологической операции схему базирования изображают на операционном эскизе с соблюдением ряда требований. В частности:

- заготовку рисуют в рабочем положении;
- обрабатываемые поверхности выделяют утолщенными линиями;
- контур заготовки показывают в таком виде, в каком она получается в конце данной операции;
- на эскизе указывают шероховатость поверхностей и размеры с отклонениями, выполняемые на данной операции;
- габаритные размеры заготовки дают в качестве справочных, на эскизах их помечают символом «*»;
- проставляют допуски на погрешности формы, взаимного расположения поверхностей, если это необходимо обеспечить на данной операции;
- режущий инструмент показывают по мере необходимости, предпочтительно в конце рабочего хода (если инструмент затемняет эскиз, то его можно изобразить отведенным от заготовки).

Пример операционного эскиза, совмещенного со схемой базирования, представлен на рисунке 3.4, а.

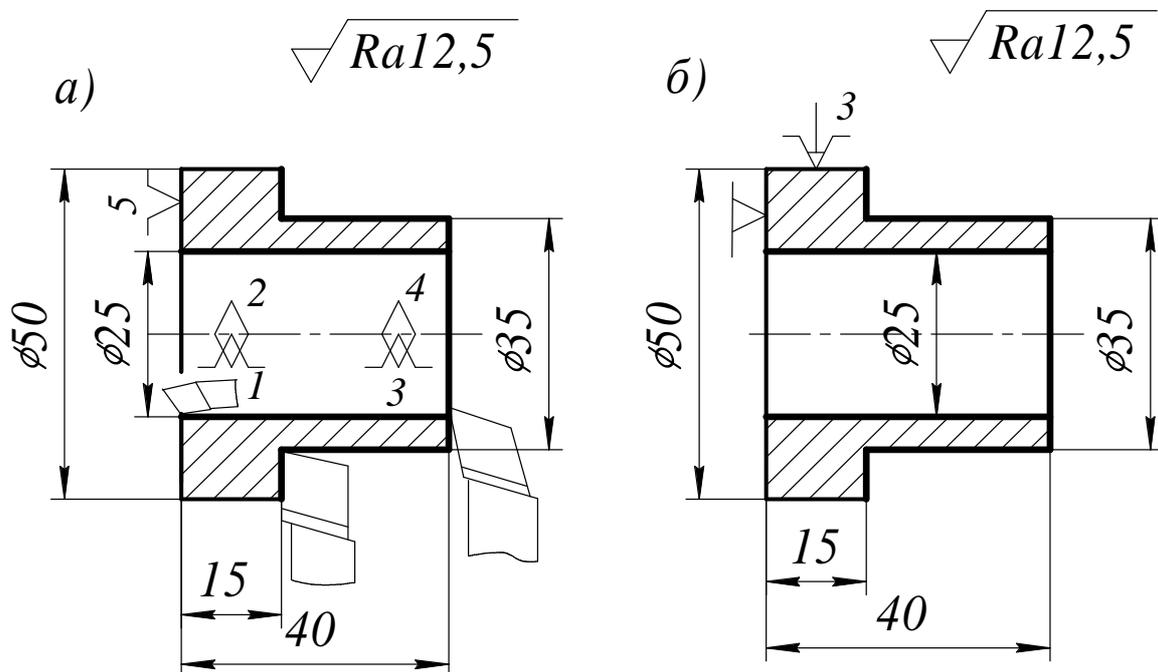


Рис. 3.4. Операционный эскиз токарной операции, совмещенный с теоретической схемой базирования (а), и схема установки заготовки (б)

В этом виде схема базирования является основой для технолога при заполнении операционной карты и для конструктора при проектировании или выборе приспособления на данную операцию.

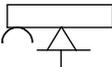
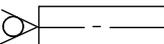
При оформлении рабочей технологической документации для упрощения и сокращения работы конструктора рекомендуется вместо теоретических схем базирования наносить на операционные эскизы условные обозначения опор, зажимов и установочных устройств, соответствующих ГОСТ 3.1107–81, которые материализуют в реальных приспособлениях опорные точки. В необходимых случаях на операционных эскизах для обозначения базовых поверхностей допускается также применение обозначения \surd . Примеры условных обозначений опор, зажимов и установочных устройств приведены в таблице 3.1.

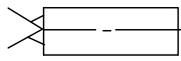
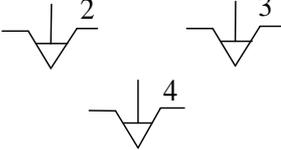
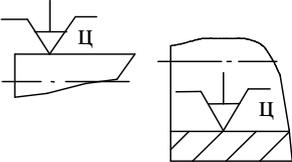
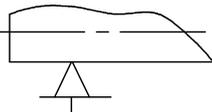
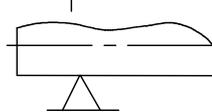
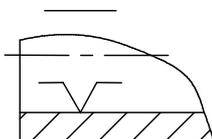
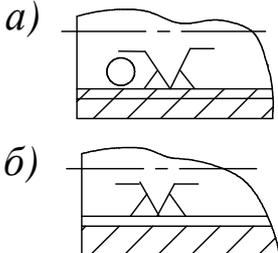
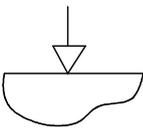
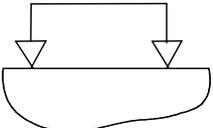
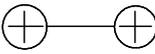
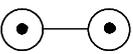
С учетом данных рекомендаций операционный эскиз, изображенный на рисунке 3.4, *а*, трансформируется в схему установки заготовки (рис. 3.4, *б*).

Выполняя рекомендацию ГОСТ 3.1107–81 о целесообразности изображения на операционных эскизах вместо опорных точек условных обозначений опор, зажимов и установочных устройств, технолог должен иметь в виду, что одна и та же теоретическая схема базирования может быть реализована на станке с помощью различных видов приспособлений. Такой пример приведен на рисунке 3.5, где индекс *а* соответствует теоретической схеме базирования, а индексы *б* и *в* характеризуют различные схемы установки заготовки на токарном станке.

Таблица 3.1

**Условные обозначения опор, зажимов и установочных устройств
(выборка из ГОСТ 3.1107–81)**

Наименование	Условное обозначение		
	вид сбоку	вид в плане	
		сверху	снизу
Опора неподвижная			
Опора подвижная			
Опора плавающая			
Опора регулируемая			
Опора регулируемая со сферической выпуклой рабочей поверхностью			
Опора неподвижная с плоской рабочей поверхностью			
Опора неподвижная с призматической рабочей поверхностью			
Опора подвижная (зажим) с призматической рабочей поверхностью			
Центр неподвижный (гладкий)			
Центр вращающийся			
Центр плавающий			

1	2	3	4
Центр рифленый			
Патроны двух-, трех- и четырехкулачковые с механическим зажимом			
Патроны и оправки цанговые			
Патрон поводковый			
Люнет неподвижный			
Люнет подвижный			
Оправка цилиндрическая гладкая			
Оправка цилиндрическая резьбовая (а) и шлицевая (б)			
Зажим одиночный (механический)			
Зажим сблокированный двойной (механический)			

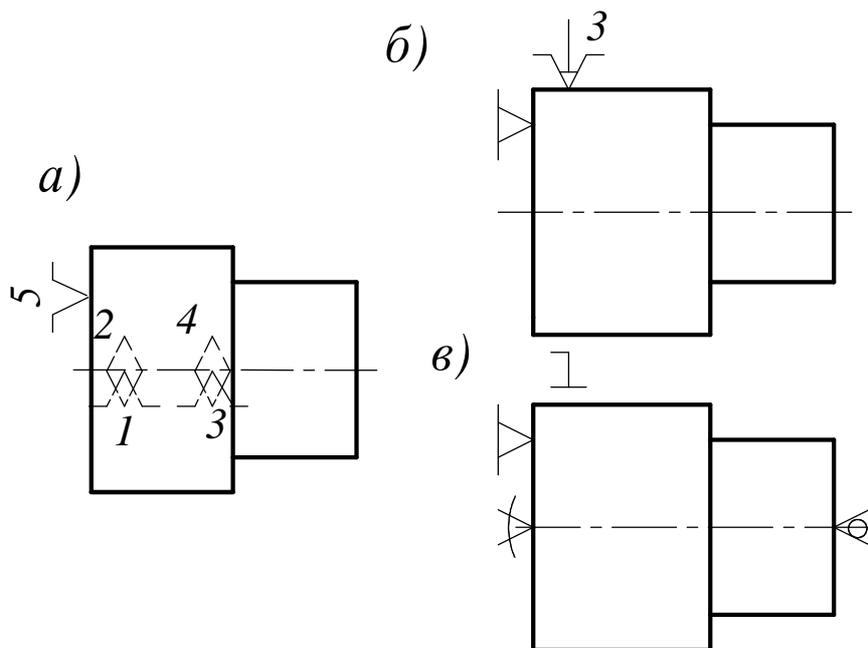


Рис. 3.5. Теоретическая схема базирования заготовки (а) и реализующие ее две схемы установки (б, в)

Кроме того, в некоторых случаях в целях удобства установки, закрепления и обработки заготовки на станке технолог целесообразно применить такое приспособление, которое материализует иную, чем он разработал, теоретическую схему базирования. Однако изменение схемы приводит к смене технологических баз и появлению погрешности базирования. Эту погрешность технолог должен уметь рассчитать и сопоставить с допуском на выполняемый размер.

Пример ситуации подобного рода приведен на рисунке 3.6. Здесь дана теоретическая схема базирования (см. рис. 3.6, а) и схема установки заготовки при фрезеровании шпоночного паза (см. рис. 3.6, б), полностью реализующая принятую теоретическую схему базирования и обеспечивающая совмещение конструкторской и технологической баз. Однако реализовать эту схему установки сложно в связи с проблемой создания необходимого приспособления. Учитывая это, технолог может принять решение о применении иного приспособления для установки и закрепления заготовки на данной операции, например по схеме, представленной на рис. 3.6, в. Соответственно этому, изменится схема базирования заготовки, которая трансформируется в схему рис. 3.6, г.

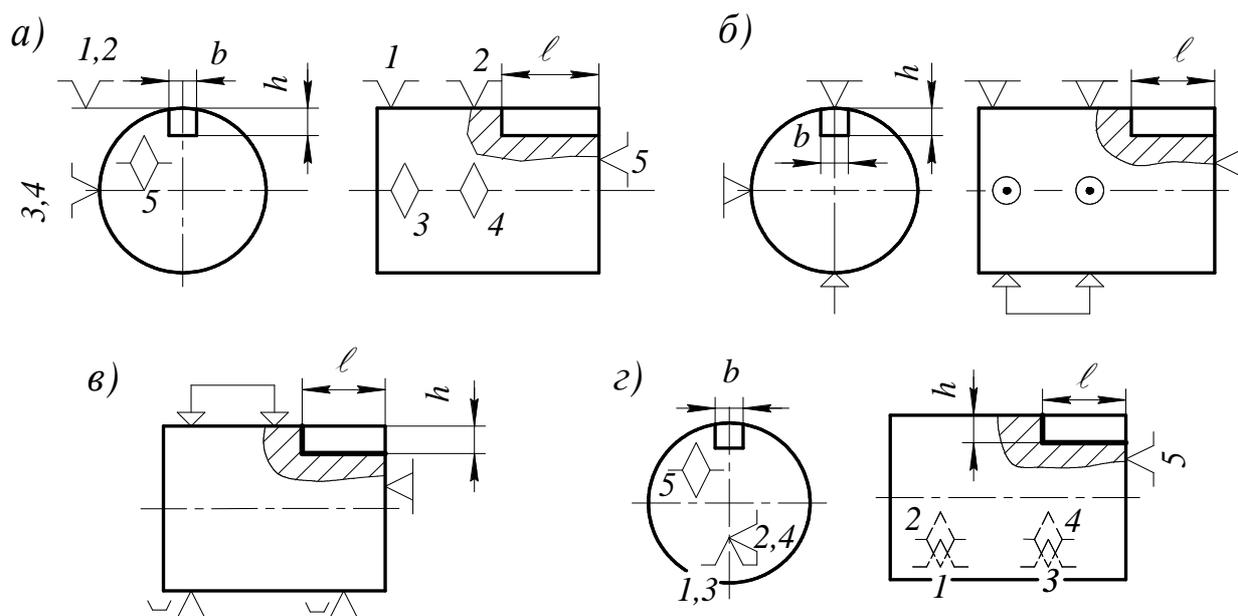


Рис. 3.6. Теоретические схемы базирования (а, з) и схемы установки заготовки (б, в) при обработке шпоночного паза

При реализации данной схемы и применении нового приспособления происходит несовпадение конструкторской (измерительной) и технологической баз, возникает погрешность базирования, в связи с чем потребуется ужесточение наладочного размера.

Вопросы обоснования выбора приспособления, расчета операционных размеров и определения погрешности базирования не входят в задачу данной темы.

Являясь конкретным этапом в проектировании технологической операции, разработка теоретической схемы базирования представляет собой итог решения ряда частных проблем, стоявших перед технологом на предшествующих стадиях его работы. Среди них наибольшую сложность составляет проблема выбора технологических баз. От правильного решения этого вопроса в значительной степени зависят: точность взаимного расположения обрабатываемых поверхностей, точность размеров, которые должны быть получены при выполнении проектируемой технологической операции; степень сложности и конструкция приспособления; производительность обработки. Исходными данными для выбора баз являются: чертежи детали и заготовки

со всеми необходимыми техническими требованиями, вид и точность заготовки, условия расположения и работы детали в машине.

К основным принципам, которыми руководствуются при выборе технологических баз, относят следующие:

- базы должны обеспечивать хорошую устойчивость и надежность установки заготовки;
- принцип постоянства баз, когда на всех основных операциях используют одни и те же базы;
- принцип совмещения баз, когда в качестве технологической базы принимают конструкторские базы, используемые для определения положения детали в изделии.

В случае несовпадения технологических и конструкторских баз возникают погрешности базирования и необходимость перерасчета допусков, заданных конструктором, в сторону их уменьшения. *Конструкторской базой* называют базу, используемую для определения положения детали или сборочной единицы в изделии (ГОСТ 21495–76). В обычной практике работы технолог за конструкторские базы принимает поверхности, линии или точки детали, по отношению к которым определяются на чертеже расчетные положения других деталей, сборочных единиц изделия, а также других поверхностей и геометрических элементов данной детали. В связи с этим выбор технологических баз начинают с изучения функций, которые выполняют поверхности детали. На этой основе определяют поверхности, относительно которых задано большинство других поверхностей. На чертеже такие поверхности и элементы деталей обычно обозначают зачерненным треугольником (ГОСТ 2.307–68) или указывают в технических требованиях. Чаще всего эти поверхности и элементы детали принимают в качестве технологических баз.

Изложенные принципы выбора технологических баз являются общими и должны использоваться при разработке операций на всех этапах технологического процесса изготовления изделия. Существуют кроме них частные принципы, позволяющие оптимизировать выбор баз для первой операции, на заключительных и промежуточных операциях. Рассмотрение их составит предмет изучения других тем.

Задания для самостоятельной работы

Содержание задания: разработайте теоретическую схему базирования заготовки и схему ее установки на станке по данным, указанным в таблице 3.2.

Последовательность выполнения

1. Изучите операционный эскиз и приведенные в таблице 3.2 дополнительные сведения.

2. Сформулируйте технологические задачи, которые следует решить на указанной операции. Эти задачи включают:

- точность размеров: диаметральных, линейных, угловых;
- точность формы: для цилиндрических деталей в продольном и поперечном сечениях (допуски круглости, цилиндричности, профиля продольного сечения), для плоскостных деталей (допуски прямолинейности, плоскостности);
- точность взаимного расположения поверхностей: допуски параллельности, перпендикулярности, соосности, симметричности, пересечения осей и т. п.;
- качество поверхностного слоя обработанных поверхностей: высота неровности профиля, твердость, величина, знак и глубина распространения внутренних остаточных напряжений.

По всем этим группам технологических задач подробно изучите технические требования на изготовление и сформулируйте основные технологические задачи в соответствии с нижеприведенным примером.

Пример. Основные технологические задачи при изготовлении втулки (рис. 4.4, б):

- точность размеров: поверхность $\varnothing 80f7$ по *IT7*, $\varnothing 54K7$ – по *IT7*; $\varnothing 62H7$ – по *IT7*; остальные размеры по ГОСТ 30893.1-м (*H14, h14, IT14/2*);
- точность формы: допуск отклонения от круглости и профиля продольного сечения $\varnothing 54K7$ не более 0,02 мм;
- точность взаимного расположения: допуск отклонения от соосности отверстия $\varnothing 54K7$ с поверхностью *A* не более 0,01 мм; допуск биения торцевой поверхности $\varnothing 120$ относительно поверхности *A* не более 0,02 мм;

Индивидуальные задания

№ пш.	Эскиз операции
1	2
1	
2	
3	

1	2
4	
5	
6	

1	2
7	
8	
9	

1	2
10	
11	

– качество поверхностного слоя: шероховатость поверхностей отверстий $\varnothing 54K7$ и $\varnothing 62H7 Ra$ не более 0,4 мкм, торцовой поверхности $\varnothing 120 Ra$ не более 0,8 мкм, $\varnothing 80f7 Ra$ не более 1,6 мкм.

3. Выберите метод обработки поверхности, тип металлорежущего станка, на котором должна осуществляться обработка, и режущий инструмент; нарисуйте схему обработки, изобразив заготовку в рабочем, а инструмент в конечном положениях; обозначьте на схеме движения резания (D_T, D_S).

4. Найдите на эскизе конструкторские базы, т. е. те поверхности, оси или точки, от которых заданы выполняемые размеры или относительно которых установлены требования к точности положения обрабатываемой поверхности, пронумеруйте их.

5. Руководствуясь принципом единства конструкторских и технологических баз, примите выделенные поверхности, оси или точки за технологические базы и обозначьте их на схеме обработки символом ∇ . Определите, какие технологические базы из выделенного комплекта являются скрытыми, а какие — явными.

6. Постройте мысленно систему координат $OXYZ$, жестко связав ее с заготовкой и приняв направления осей по координатным осям станка или по направлениям движения подачи рабочих узлов; нарисуйте операционный эскиз с нанесенными на него координатными осями.

7. Определите, скольких степеней свободы следует лишить заготовку при ее установке в приспособление.

8. Сопоставьте вид, форму и другие характеристики технологических баз операционного эскиза с типовыми заготовками и схемами их базирования, рассмотренными в предыдущем разделе (призматические, цилиндрические, конические тела). Выберите на основе сопоставления основной способ базирования вашей заготовки и тот базовый элемент (плоскость, ось), который для ориентации ее в выбранной системе координат требует лишения наибольшего числа степеней свободы (трех или четырех). Этот элемент заготовки будет являться установочной или двойной направляющей технологической базой.

Расставьте условные обозначения опорных точек на принятой базе и присвойте им номера.

9. Перечислите те степени свободы, которые лишают заготовку выбранная технологическая база, руководствуясь следующим примером.

Пример. Принятая технологическая база лишает заготовку трех степеней свободы: перемещение вдоль оси Z ; вращение вокруг оси X ; вращение вокруг оси Z .

10. Определите, скольких степеней свободы лишает заготовку при ее установке каждая из оставшихся технологических баз, дайте им полное название. Расставьте на операционном эскизе опорные точки, укажите, какие степени свободы лишает каждая из оставшихся технологических баз.

11. Разработайте и нарисуйте полную теоретическую схему базирования заготовки, совмещенную с операционным эскизом.

12. Выберите по данным таблицы 3.1 опоры, зажимы и установочные элементы, материализующие разработанную схему базирования. Принятые приспособления и их опоры должны быть адекватны условным опорным точкам схемы базирования.

13. Разработайте и нарисуйте схему установки заготовки на станке в приспособлении.

Содержание отчёта

1. Номер индивидуального задания и его содержание, в том числе эскиз обработки (см. табл. 3.2).

2. Технологические задачи, метод обработки, тип станка и схема обработки с указанием на ней технологических баз, отмеченных символами ∇ .

3. Операционный эскиз с системой координат $OXYZ$, в которой осуществляется базирование заготовки.

4. Число лишаемых степеней свободы и их перечень.

5. Выбор технологических баз с обоснованием, перечень лишаемых степеней свободы каждой из баз.

6. Теоретическая схема базирования, совмещенная с операционным эскизом.

7. Схема установки заготовки в приспособлении, название приспособления, обоснование его выбора.

4. НАЗНАЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ БАЗ ДЛЯ ЧЕРНОВОЙ ОБРАБОТКИ

Цель работы: знания функций черновых технологических баз, принципов их выбора; умения выбирать черновые технологические базы, разрабатывать схему установки заготовки и теоретическую схему базирования на первой технологической операции.

Общие сведения

Назначение технологических баз на первую черновую операцию (установ) механической обработки является одной из задач, которую решает технолог при проектировании технологического процесса изготовления детали. Это определяет ее значимость и необходимость исключения каких-либо ошибок в оптимальности принятого решения. Технологическую базу, используемую при первом установе заготовки, называют *черновой базой*. Специфика выбора баз этого вида во многом определяется особенностями заготовки как объекта базирования.

Так, в большинстве случаев точность заготовки, характеризующаяся точностью форм образующих ее поверхностей, их расположением друг относительно друга и точностью размеров, довольно низка. Не отличается высокими показателями и качество поверхностного слоя. Например, шероховатость поверхностей заготовки, как правило, значительно превышает шероховатость обработанных поверхностей детали.

К несовершенствам заготовок можно также отнести:

– отклонения от правильной геометрической формы поверхностей, отклонения, вызванные короблением заготовок;

- смещения поверхностей, обусловленные неточностью расположения стержней по отношению к наружным поверхностям при изготовлении литых заготовок или несовпадением осей верхней и нижней частей штампов при штамповке заготовок и другими причинами;
- литейные и штамповочные уклоны на некоторых поверхностях заготовки;
- остатки литников и прибылей на отдельных поверхностях отливки и заусенцы у штампованных поковок.

В то же время для современных методов получения заготовок точность многих поверхностей оказывается достаточной для обеспечения работоспособности детали. Поэтому такие поверхности механически не обрабатывают. В этих случаях на чертеже детали по каждому координатному направлению должно быть по одному размеру, связывающему механически обработанные поверхности с поверхностями, не подлежащими обработке (ГОСТ 2.307–68).

Основная технологическая задача черновой обработки — снятие припуска с заготовки и приближение ее формы к форме готовой детали. Эта задача решается на всех операциях черновой обработки. Но именно на первой операции, при первом установе выполняется ряд специфических изложенных далее функций.

1. Первая операция, а вместе с ней и черновые базы всецело определяют правильность взаимного расположения обработанных поверхностей детали относительно необработанных. При неправильно выбранной черновой базе все обработанные поверхности могут оказаться смещенными относительно необрабатываемых на расстояния, значительно превышающие величину допуска.

Чтобы свести к минимуму этот вид погрешностей обработки, при выборе черновой базы придерживаются следующего правила. Если на детали есть необрабатываемая поверхность, связанная с обработанной размером или точностью взаимного расположения (общая ось, центр), то она принимается за явную технологическую базу (рис. 4.1, а, б, в).

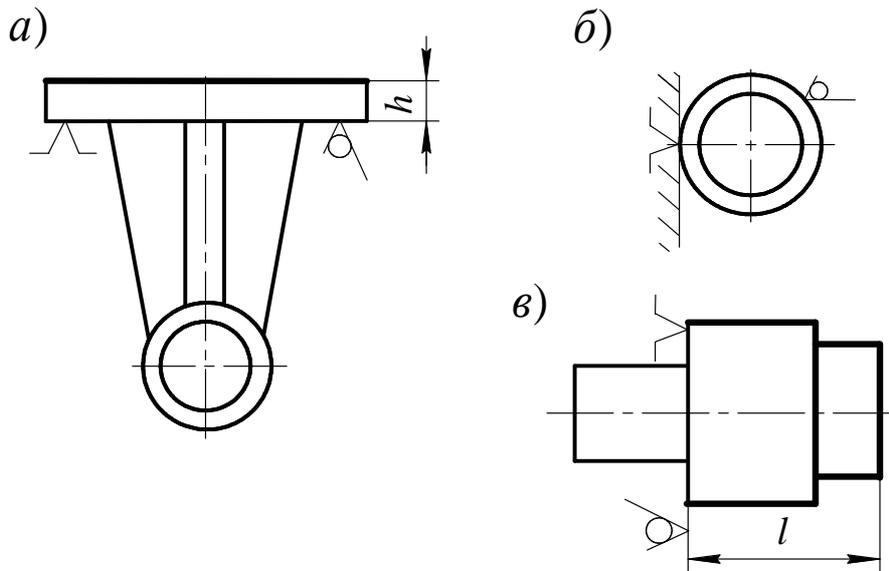


Рис. 4.1. Схемы применения черновых технологических баз, обеспечивающих точность взаимного расположения на детали обработанных и необрабатываемых поверхностей

Такая поверхность может также определять положение скрытой технологической базы (ось, точка, плоскость симметрии) и при установке заготовки контактировать с опорой(ами) приспособления (рис. 4,2, а, б).

Вид принятой черновой технологической базы (опорная, направляющая и т. д.) устанавливается, исходя из формы и размеров поверхности, а также степени соответствия других ее характеристик требованиям, предъявляемым к каждому из видов баз (см. тему 3 данного пособия).

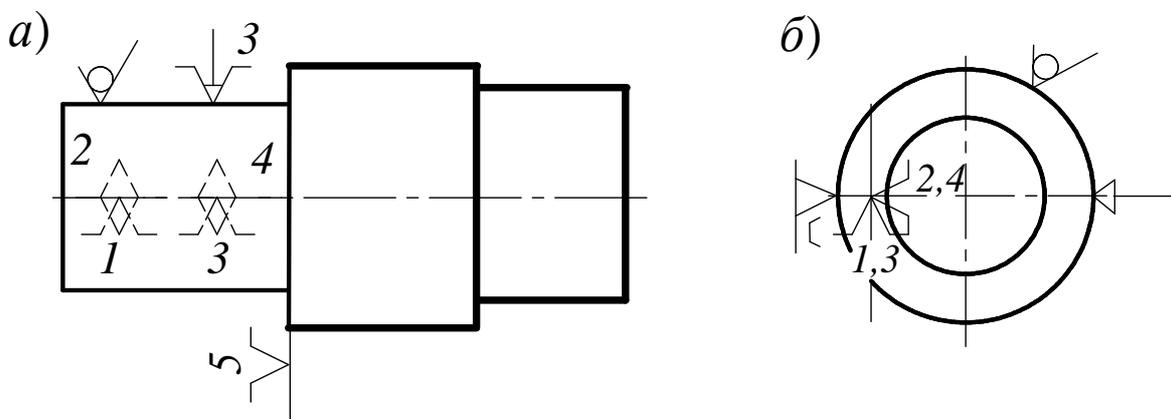


Рис. 4.2. Совмещенные схемы базирования и установки на первой операции, определяющие положение скрытой технологической базы

2. При выполнении первого установка с использованием черновых баз осуществляется подготовка поверхностей для базирования и закрепления заготовки на последующих операциях. Это связано с тем, что черновые базы используют только один раз в силу их низкой точности и появления значительных погрешностей базирования и закрепления при повторном их применении.

3. Черновые базы позволяют назначать предельно малые и обеспечивать равномерные припуски на обработку поверхности заготовки. С этой целью поверхность, для которой необходимо выполнить такие условия, принимается за черновую базу. На рисунке 4.3 дан пример использования черновой базы, реализующей эту функцию, и обозначение ее на операционном эскизе.

Отмеченные при разборе специфических функций ряд требований и рекомендаций по назначению черновых баз можно дополнить требованиями, определяемыми особенностями литых и штампованных заготовок.

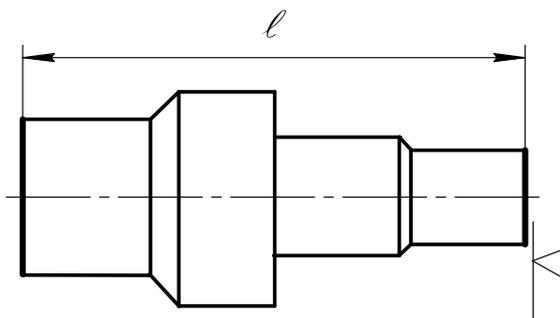


Рис. 4.3. Схема применения черновой технологической базы, реализующей функцию создания равномерного припуска на обрабатываемой поверхности

геометрических элементов заготовки;

– должна иметь достаточные размеры, возможно более высокую степень точности и наименьшую шероховатость для повышения точности базирования и закрепления заготовки в приспособлении;

– должна обеспечивать при закреплении устойчивое положение заготовки и отсутствие ее деформации.

Если черновая база является явной, т. е. представлена на заготовке реальной поверхностью, то эта поверхность:

– должна быть характерной для данной заготовки поверхностью и занимать возможно более определенное положение относительно других геометрических элементов заготовки;

В качестве черновых баз не следует использовать поверхности, на которых расположены в отливках прибыли и литники, а также швы, возникшие в местах разъемов опок и прессформ в отливках под давлением. Поверхности, находящиеся при формовке внизу, в качестве баз обычно предпочтительнее верхних поверхностей, так как последние имеют более рыхлое строение и большое количество раковин.

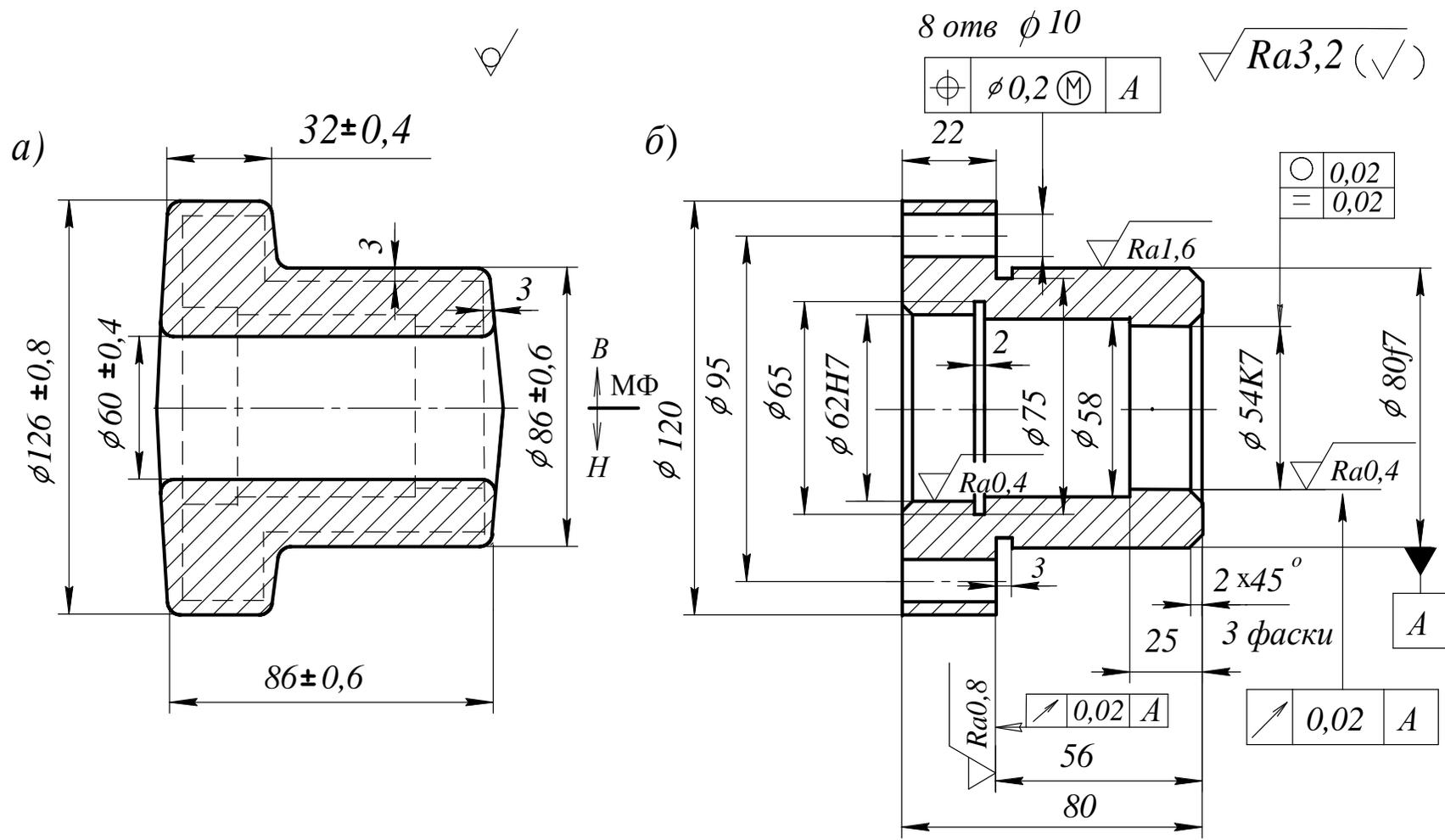
Если черновая база является скрытой или явной, но представленной в виде разметочной линии или точки пересечения этих линий, то вышеперечисленные требования следует предъявлять к тем поверхностям заготовки, которые будут контактировать при установке на станок с опорными элементами приспособления и материализовать эти базы.

Задания для самостоятельной работы

Содержание задания: разработайте теоретическую схему базирования и схему установки заготовки на первой операции, используя чертежи заготовки и соответствующей ей детали, выберите черновые базы для первой операции механической обработки. Пример, по которому могут составляться задания, представлен на рисунке 4.4, где изображены чертежи заготовки (рис. 4.4, *а*) и детали (рис. 4.4, *б*).

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ

1. Изучите чертежи детали и заготовки.
2. Установите способ получения заготовки.
3. Определите для литой заготовки ее положение в форме (верх и низ), места расположения плоскостей разъема формы или штампа, расположение на заготовке поверхностей с уклоном. Для литой заготовки найдите поверхности, к которым в отливке присоединяются литниковая система, прибыли и выпоры.
4. Определите, какие поверхности на заготовке не имеют уклонов, остатков литников, прибылей и выпоров, характеризуются наибольшей площадью или протяженностью. Выберите наиболее точные поверхности с наименьшей шероховатостью.



Общие допуски по ГОСТ 30893.1-т (H14, h14, $\pm IT14/2$)

Рис. 4.4. Пример задания для самостоятельной работы

5. Установите, есть ли на заготовке поверхности, не подлежащие обработке. По чертежу детали найдите размеры, связывающие обрабатываемые и необрабатываемые поверхности.

6. Разработайте возможные варианты схем обработки заготовки на первой операции, считая, что операция выполняется за один установ. Укажите на схемах символами \surd поверхности, по которым предполагаете осуществить ориентацию заготовки в приспособлении. Схемы изобразите в виде операционных эскизов без указания размеров и шероховатости поверхностей.

7. Выберите из разработанных вариантов схем тот, по которому:

– в качестве контактирующих с приспособлением поверхностей взята необрабатываемая поверхность;

– выполняется размер, связывающий необрабатываемую поверхность с обрабатываемой;

– выполняются требования удобства установки и надежности закрепления;

– обеспечивается получение обработанных поверхностей, удобных для установки заготовки на последующих операциях;

– на контактирующих с приспособлением поверхностях нет остатков литников, прибылей, выпоров, штамповочных заусенцев и других несовершенств.

8. Сформулируйте технологическую задачу для выбранной схемы обработки. Представьте ее в виде операционного эскиза с выполняемыми размерами и шероховатостью поверхностей.

9. Назначьте черновые базы и отметьте их на операционном эскизе символом \surd .

10. Установите число степеней свободы, которое следует лишить заготовку при ее установке в приспособлении.

11. Дайте наименования черновым базам, исходя из классификации баз по числу лишаемых степеней свободы.

12. Разработайте теоретическую схему базирования заготовки на первой операции, совместив ее с операционным эскизом.

13. Выберите по данным таблицы 3.1 опоры, зажимы и установочные элементы, материализующие разработанную схему базирования.

14. Нарисуйте схему установки заготовки на станке в приспособлении.

Содержание отчета

1. Номер индивидуального задания, формулировка задания. Чертежи детали и заготовки прилагаются в виде ксерокопии.

2. Сведения о заготовке в соответствии с содержанием пп. 2, 3 и 4 раздела «Последовательность выполнения».

3. Схемы обработки заготовки на первой операции. Обоснование выбора оптимального варианта.

4. Технологические задачи первой операции. Операционный эскиз.

5. Метод обработки и тип станка, на котором предполагается осуществить обработку заготовки.

6. Число лишаемых степеней свободы и их перечень.

7. Выбор черновых технологических баз, виды баз по признакам: число лишаемых степеней свободы и характер проявления, обоснование выбора.

8. Теоретическая схема базирования заготовки на первой операции, совмещенная с операционным эскизом.

9. Схема установки заготовки в приспособлении, наименование приспособления, обоснование выбора схемы.

5. РАСЧЕТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ

Цель работы: знания о технологических размерных цепях, методике их разработки и решения; умения составлять размерные технологические цепи при определении операционных размеров

и припусков на обработку и решать их методом полной взаимозаменяемости.

Общие сведения

При проектировании технологического процесса технологу часто приходится выполнять размерные расчёты, связанные с обеспечением точности обработки заготовки. Среди них:

- перерасчет операционных размеров и определение отклонений на них;
- расчет операционных размеров на предшествующие операции;
- нахождение предельных значений припуска на операцию;
- определение пространственных отклонений расположения поверхностей и др.

Все эти задачи решают на основе составления и расчёта размерных цепей, которые по типу выполняемых ими функций получили название технологических. *Технологической размерной цепью* называется совокупность размеров, непосредственно участвующих в решении поставленной технологической задачи и образующих замкнутый контур.

На рисунке 5.1, а представлен вал с размерами A_1 , A_2 и A_3 . Эти размеры будут выдерживаться рабочим при изготовлении партии деталей. Длина правой ступени конструктором не указана. Но, если по-какому-либо потребуется определить, какой может она получиться у различных валов, то сделать это можно, составив и решив технологическую размерную цепь (рис.5.1, б). Здесь A_Δ — длина неизвестной ступени.

Технологическая размерная цепь всегда относится к одной детали. Она состоит из замыкающего звена (в нашем примере A_Δ) и составляющих звеньев (A_i). Замыкающим звеном в технологической размерной цепи является размер, который в процессе обработки заготовки непосредственно не выполняется, а получается сам собой. Численное значение и точность его зависят от соответствующих параметров всех размеров цепи, называемых составляющими (A_1 , A_2 , A_3).

Изображение технологической размерной цепи (см. рис. 5.1, б) в целом соответствует методике построения конструкторской размерной цепи [1].

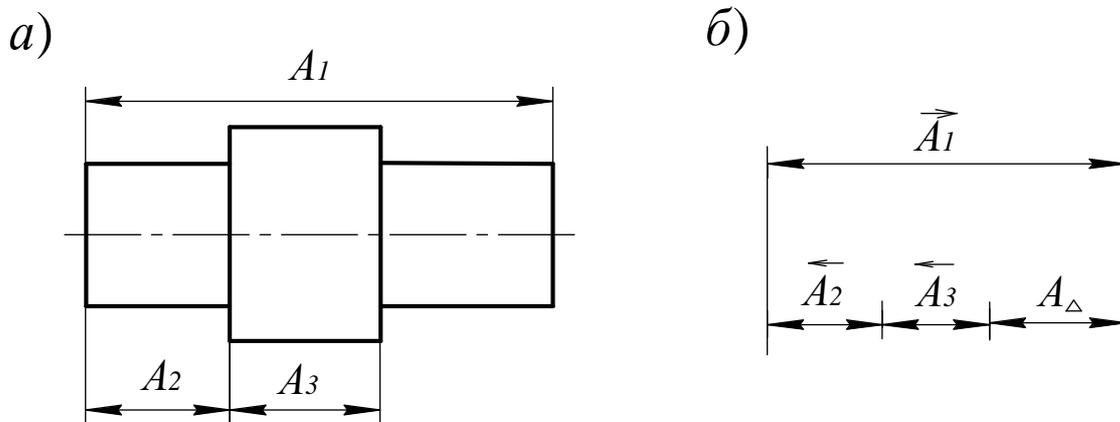


Рис. 5.1. Эскиз вала (а) и технологическая размерная цепь (б) для определения длины ступени не указанного линейного размера

Рассмотрим на примерах особенности различных видов технологических цепей, составляемых для выполнения основных из ранее указанных функций.

Технологический перерасчет размеров и определение предельных отклонений

При разработке технологических процессов механической обработки заготовок на настроенных станках в условиях серийного и массового производств на каждую операцию составляется операционный эскиз. На нём технолог указывает базирующие поверхности, а также поверхности, создаваемые на данной операции, с необходимыми размерами и отклонениями.

Эти размеры могут быть промежуточными или окончательными. И те, и другие называют технологическими или, точнее, операционными в отличие от конструкторских, назначаемых конструктором при проектировании изделия.

Окончательные технологические размеры могут совпадать или не совпадать с конструкторскими, так как конструктор при простановке размеров на чертеже детали не всегда имеет возможность

учесть технологию ее изготовления. Поэтому при разработке технологических процессов механической обработки заготовок технологю часто приходится вместо конструкторских размеров устанавливать технологические размеры и определять отклонения на них, но так, чтобы в результате их выполнения, обеспечивались размеры и отклонения, установленные конструктором.

На рисунке 5.2 приведены последовательно слева направо: эскиз детали с заданными конструктором размерами A_1 и A_2 (рис. 5.2, а), эскиз заготовки предшествующей операции с выполняемым размером A_1 (рис. 5.2, б) и операционный эскиз фрезерования поверхности 3 (рис. 5.2, в).

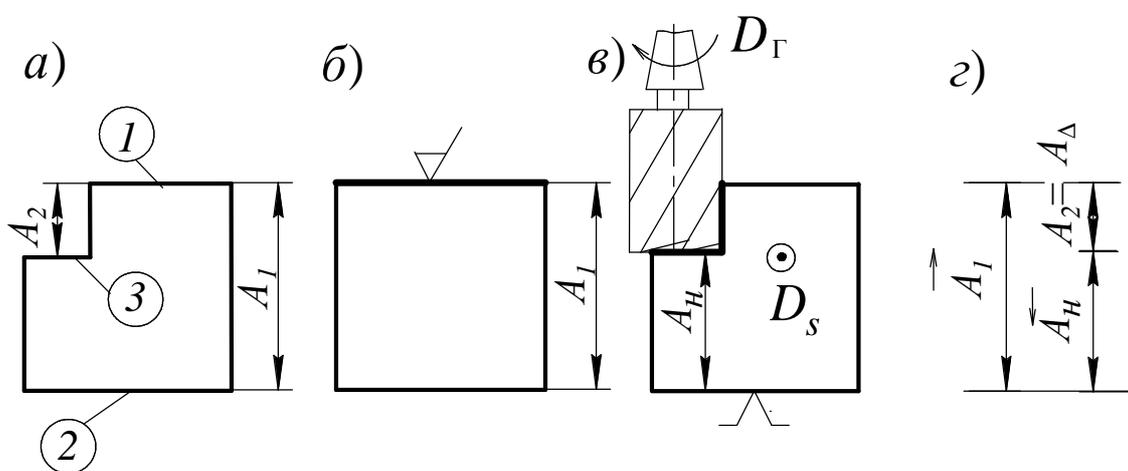


Рис. 5.2. Эскизы детали (а), предшествующей и текущей операций (б, в) и технологическая размерная цепь для расчета операционного размера A_H (з)

На заключительной операции (см. рис. 5.2, в) для удобства обработки уступа за технологическую базу принята поверхность 2. В связи с этим наладка станка при обработке партии заготовок методом автоматического получения размеров должна осуществляться на размер A_H . Этот размер и проставлен на операционном эскизе (см. рис. 5.2, в). Заданный конструктором размер A_2 здесь не указывается.

Поскольку размера A_H на чертеже детали нет, возникает необходимость его расчёта, исходя из того, что при его выполнении конструкторский размер A_2 должен получиться сам собой. Для определения размера A_H нужно составить размерную цепь, в которой звено размера A_2 должно

быть замыкающим ($A_2 = A_\Delta$). Размеры A_1 и A_n будут представлять составляющие звенья. Искомым размером при известных A_1 и A_Δ будет значение размера A_n . Эта цепь приведена на рисунке 5.2, г.

Таким образом, необходимость перерасчёта конструкторских размеров возникает тогда, когда при выполнении соответствующей операции есть несовпадение технологической и измерительной (конструкторской) баз. В этом случае исходным звеном для разработки технологической размерной цепи является конструкторский размер, не указываемый на операционном эскизе. Звеньями размерной цепи будут вводимый технологический (операционный) размер и тот размер или те размеры, которые связывают технологическую и измерительную (конструкторскую) базы.

Расчет операционного размера предшествующей операции

Определять операционный размер предшествующей операции приходится в том случае, когда окончательную обработку какой-либо поверхности ведут от измерительной базы, которая в дальнейшем сама подвергается обработке.

Например, глубина шпоночного паза A_1 на валике задана от наружной шлифованной поверхности ϕD_1 (рис. 5.3, а).

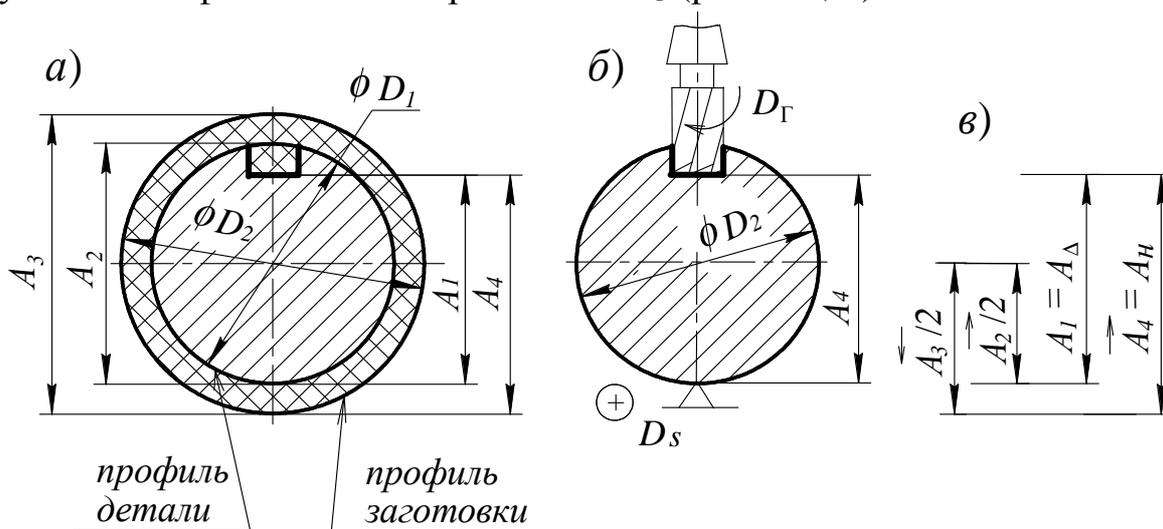


Рис. 5.3. Схема изготовления шпоночного паза на валике (а), операционный эскиз фрезерования паза (б) и размерная цепь для определения операционного размера (в)

Если фрезеровать паз после операции шлифования, приняв в качестве технологической базы поверхность $\emptyset D_1$, то подобной задачи не возникнет. Но в целях сохранения валика от забоин и коробления шпоночный паз часто фрезеруют после обточки вала на диаметр D_2 , т. е. до шлифования. В этом случае необходимо изготовить паз такой глубины (размер A_4 на рис. 5.3, б), чтобы после шлифования размер A_1 оказался в пределах заданной чертежом точности.

Для решения этой задачи следует составить размерную цепь, где замыкающим звеном будет размер A_1 ($A_1 = A_\Delta$), а неизвестным составляющим звеном размер A_4 . Он будет являться операционным (настройочным) размером ($A_4 = A_H$), определяющим положение фрезы при обработке относительно нешлифованной поверхности заготовки.

Остальными составляющими звеньями размерной цепи должны, как и в предыдущем примере, стать размеры, связывающие технологическую и измерительную (конструкторскую) базы. Ими являются размеры A_2 и A_3 . Разработанная на основе этих рассуждений технологическая размерная цепь представлена на рисунке 5.3, в.

Подобного типа задачи весьма часто возникают при включении в технологический процесс операции закалки.

Определение предельных значений припуска на операцию

Припуск всегда является звеном определённой размерной цепи, так как с его помощью формируются границы операционных размеров. В простейшем случае это размеры на предшествующей (A_2) и выполняемой (A_1) операциях (рис. 5.4, а).

Обычно размеры A_1 и A_2 заданы на операционных эскизах, чертежах детали или заготовки, а потому они обязательны к выполнению. Предельные значения припуска (Z) в таких случаях можно определить, составив и решив размерную технологическую цепь (рис. 5.4, б). Припуск в этой цепи выполняет роль замыкающего звена. Составляющими звеньями будут операционный размер A_1 и размер заготовки A_2 .

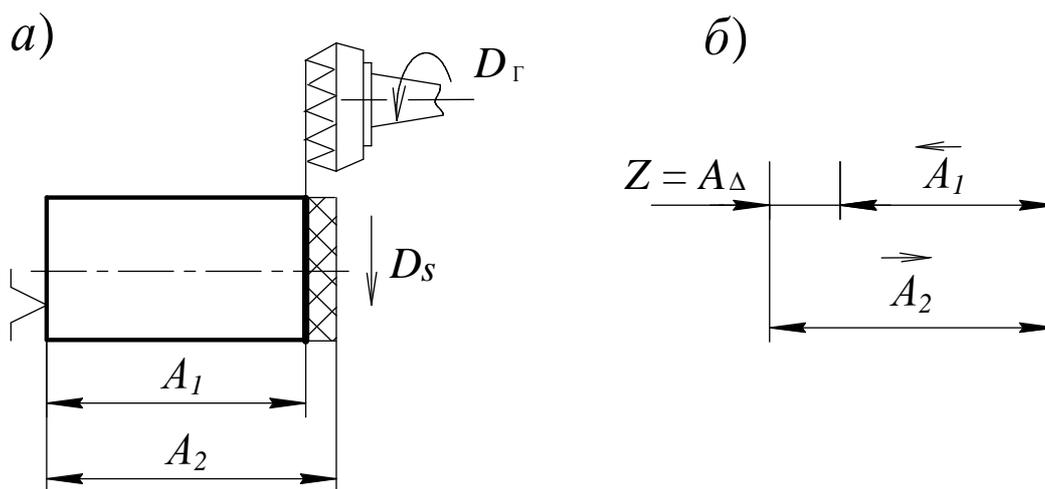


Рис. 5.4. Схема фрезерования торца заготовки (а) и технологическая размерная цепь для определения припуска на обработку (б)

В более сложных случаях припуск может быть замыкающим звеном размерного контура, в который входят не два составляющих звена, а три, четыре и более. Сказанное хорошо иллюстрирует рассмотренный далее пример изготовления призматической детали с пазом (рис. 5.5, а) [13].

Обработка заготовки этой детали проводится в следующем порядке [13]: отрезка от полосы, фрезерование одной стороны в размер $42_{-0,16}$ (эскиз на данный переход на рисунке 5.5 не приведен), другой стороны — в размер $40,6_{-0,16}$ (рис. 5.5, б), прорезка паза начерно в размер $35,4_{-0,16}$ (рис. 5.5, в), закалка, шлифование с одной стороны в размер $40,3_{-0,1}$ (рис. 5.5, г), другой стороны — в размер $40_{-0,052}$ (рис. 5.5, д), шлифование паза в размер A_n с обеспечением конструкторского размера глубины паза $5^{+0,08}$ (рис. 5.5, е).

Для приведённой технологии изготовления детали припуск на шлифование паза может быть определён только с учётом всех указанных на рисунке 5.5 операционных размеров и разработки на их основе сложной многозвенной технологической размерной цепи (рис. 5.6).

Первым этапом в этой разработке является построение размерной схемы технологического процесса. Для этого вычерчивают эскиз детали (утолщенные линии) в одной или двух проекциях в зависимости от ее конфигурации. Тела вращения рисуют в одной проекции, а кроме того, можно вычертить только половину детали по оси симметрии.

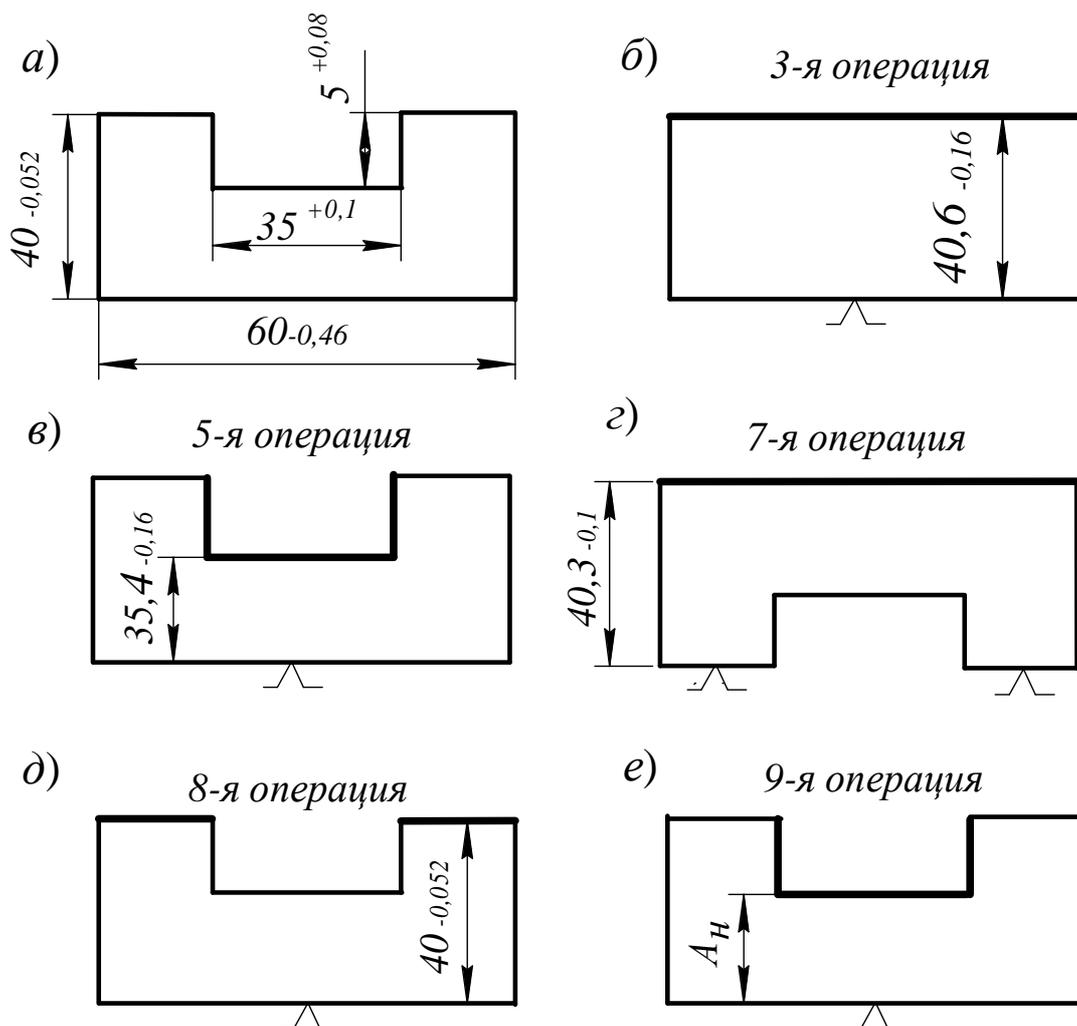


Рис. 5.5. Эскизы детали (а) и последовательности операций по изготовлению ее размеров (б, в, г, д, е)

Над деталью указывают размеры длин с отклонениями, заданные конструктором. Для удобства составления размерных цепей конструкторские размеры обозначают индексом A_i , где i — порядковый номер конструкторского размера. На эскиз детали условно наносят припуски Z_m , где m — номер поверхности, к которой относится припуск. Все поверхности детали, заготовки и поверхности, полученные на отдельных операциях нумеруют слева направо (поверхности 1–6 на рис. 5.6).

Через пронумерованные поверхности проводят вертикальные линии. Между ними, сверху вниз указывают технологические размеры, полученные в результате выполнения каждой операции. Эти размеры обозначают символом S_x , где x — порядковый номер операции.

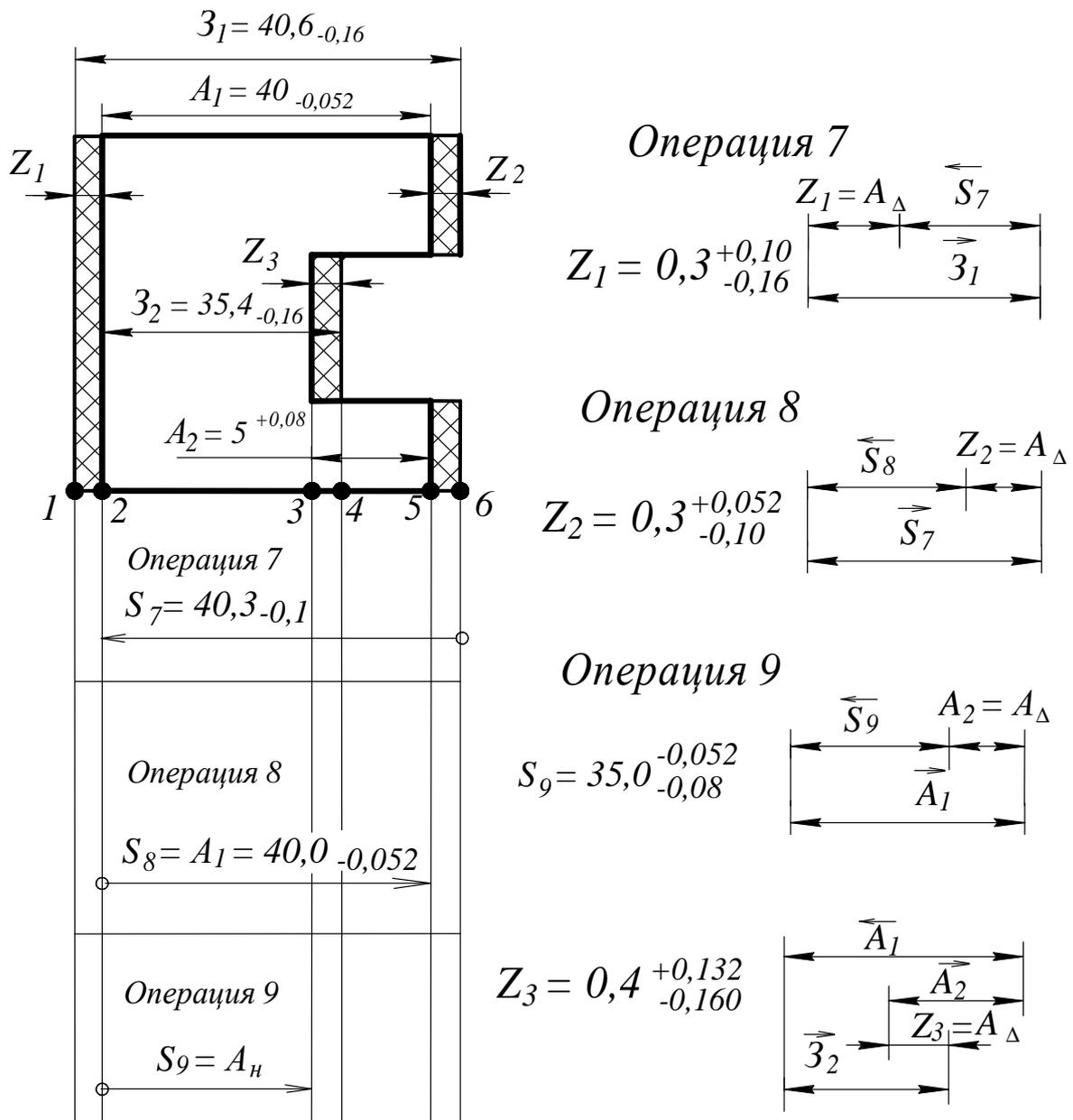


Рис. 5.6. Технологические размерные цепи определения припусков на обработку поверхностей детали, представленной на рис. 5.5, а

Размеры заготовки наносят на схему с условным обозначением Z_n , где n — порядковый номер размера заготовки. Справа от размерной схемы для каждой операции составляют схемы технологических размерных цепей.

Если технологический размер совпадает с конструкторским, то получаем двухзвенную цепь. Замыкающие звенья на всех схемах размерных цепей заключают в квадратные скобки или указывают в виде равенства, приравнивая его обозначение размеру A_{Δ} . Выявление

размерных цепей по размерной схеме начинается с последней операции. В такой же последовательности производят и расчёт размерных цепей. При этом необходимо, чтобы в каждой новой цепи был неизвестен только один размер. По составленным схемам размерных цепей производят определение звеньев (увеличивающих и уменьшающих) и составление исходных уравнений, а затем их расчёт.

Выявление размерных цепей непосредственно по размерной схеме технологического процесса в ряде случаев может оказаться весьма трудоемкой задачей, так как технологические размерные цепи часто являются связанными размерными цепями, что и имеет место в рассмотренном примере (см. рис. 5.5). Кроме того, на схеме они выступают не явно, а в скрытом виде. Поэтому составление их носит часто умозрительный характер. Этот процесс можно значительно упростить, используя для данной цели теорию графов.

Пример разработки размерной схемы технологического процесса и составленные на этой основе размерные цепи определения номинальных значений и предельных отклонений припусков применительно к операциям 7–9 изготовления детали, изображённой на рисунке 5.5, приведён на рисунке 5.6.

Задача расчёта номинального и предельных значений припуска на обработку является проверочной, указывающей на достаточность или излишнее значение возможного припуска. Чаще всего ставится иная задача (см. рис. 5.4): по известным A_2 , TA_2 , Z_{min} и TA_1 следует определить A_1 , Z_{max} и Z_{cp} . Однако и эта задача решается на основе всё той же размерной цепи (рис. 5.4, б).

В реальных технологических процессах встречаются случаи, когда расчёт технологической размерной цепи имеет свои особенности.

Если их не учитывать, то процедура решения окажется нерациональной, а значение припуска завышенным. Подобные ситуации могут возникнуть, если:

- обработка поверхности должна осуществляться с заданным значением снимаемого припуска;

- припуск удаляется с той поверхности, которая является технологической базой на данной операции;
- осуществляется двухсторонняя обработка с базированием по одной из обрабатываемых поверхностей;
- в технологический процесс вводится дополнительная черновая обработка.

Решение технологической размерной цепи

На основе разработанных размерных цепей решают два типа задач: прямую и обратную.

Прямая (проектная) задача: по заданному номинальному размеру и отклонениям замыкающего звена требуется определить номинал и предельные отклонения неизвестного составляющего звена. Замыкающее звено в этом случае называется исходным.

Обратная (проверочная) задача. По известным значениям составляющих звеньев определяют номинальный размер и предельные отклонения замыкающего звена. Это звено в данной задаче становится искомым.

В технологических расчетах чаще всего встречается прямая задача. Расчет технологических размерных цепей производят двумя методами: *на максимум и минимум* и *вероятностным методом*. Более широко используется при решении метод расчета на максимум и минимум, так как в размерных цепях данного типа число составляющих звеньев редко бывает более четырех.

Основными соотношениями, используемыми при расчете технологических размерных цепей этим методом являются следующие:

$$\left. \begin{aligned}
 A_{\text{Д}} &= \sum_{j=1}^n \overrightarrow{A}_j - \sum_{j=1}^p \overleftarrow{A}_j, \\
 A_{\text{Д}}^{\text{max}} &= \sum_{j=1}^n \overrightarrow{A}_j^{\text{max}} - \sum_{j=1}^p \overleftarrow{A}_j^{\text{min}}, \\
 A_{\text{Д}}^{\text{min}} &= \sum_{j=1}^n \overrightarrow{A}_j^{\text{min}} - \sum_{j=1}^p \overleftarrow{A}_j^{\text{max}}, \\
 T_{\text{Д}} &= \sum_{j=1}^{m-1} T_j,
 \end{aligned} \right\} \quad (5.1)$$

где n и p — соответственно числа увеличивающих и уменьшающих звеньев размерной цепи, m — полное число звеньев.

Методика расчета технологических размерных цепей зависит от того, является ли замыкающим звеном цепи размер припуска или конструкторский размер детали по чертежу. Расчет значений припуска не входит в задачи данной темы.

Если замыкающим звеном размерной цепи является конструкторский размер, то расчет её сводится к определению номинального размера, допуска и предельных отклонений искомого составляющего звена A_x по известным значениям параметров замыкающего и остальных составляющих звеньев размерной цепи. Этот расчет производят по формулам (5.2) – (5.5).

Если искомый размер A_x является увеличивающим звеном, то:

$$\left. \begin{aligned} A_x &= A_{\text{Д}} - \sum_{j=1}^{n-1} \vec{A}_j + \sum_{j=1}^p \overleftarrow{A}_j, \\ A_x^{\min} &= A_{\text{Д}}^{\min} - \sum_{j=1}^{n-1} \vec{A}_j^{\min} + \sum_{j=1}^p \overleftarrow{A}_j^{\max}, \\ A_x^{\max} &= A_{\text{Д}}^{\max} - \sum_{j=1}^{n-1} \vec{A}_j^{\max} + \sum_{j=1}^p \overleftarrow{A}_j^{\min}. \end{aligned} \right\} \quad (5.2)$$

Если искомый размер является уменьшающим звеном, то:

$$\left. \begin{aligned} A_x &= \sum_{j=1}^n \vec{A}_j - \sum_{j=1}^{p-1} \overleftarrow{A}_j - A_{\text{Д}}, \\ A_x^{\min} &= \sum_{j=1}^n \vec{A}_j^{\max} - \sum_{j=1}^{p-1} \overleftarrow{A}_j^{\min} - A_{\text{Д}}^{\max}, \\ A_x^{\max} &= \sum_{j=1}^n \vec{A}_j^{\min} - \sum_{j=1}^{p-1} \overleftarrow{A}_j^{\max} - A_{\text{Д}}^{\min}. \end{aligned} \right\} \quad (5.3)$$

Размер допуска на искомое звено находят по формуле

$$TA_x = TA_{\text{Д}} - \sum_{j=1}^{n+p-1} TA_j. \quad (5.4)$$

По значениям A_x , A_x^{\max} , A_x^{\min} определяют предельные отклонения на размер A_x :

$$\left. \begin{aligned} \Delta_x^{\max} &= A_x^{\max} - A_x, \\ \Delta_x^{\min} &= A_x^{\min} - A_x. \end{aligned} \right\} \quad (5.5)$$

Если при расчёте технологической размерной цепи будет установлено, что $TA_{\text{Д}} < \sum_{j=1}^{n+p-1} TA_j$ или TA_x (допуск на искомое звено) окажется столь жестким, что выполнить его невозможно, то необходимо провести корректировку технологического процесса. Рассматривают следующие ее направления:

- введение дополнительных операций, обеспечивающих большую точность выполнения размера;
- изменение базирования заготовки с целью сокращения числа звеньев размерной цепи;
- увеличение точности изготовления составляющих звеньев путем введения специальных устройств или использования более точного оборудования.

Последний способ корректировки технологического процесса имеет большое количество вариантов решения, получаемых на основе применения различных сочетаний допусков и предельных отклонений составляющих звеньев. В этих вариантах должно быть выполнено лишь одно условие: параметры звеньев должны удовлетворять основным соотношениям метода расчета на максимум и минимум (формулы 5.1).

Обычно в прикидочных расчетах пользуются *способом равных допусков*, в соответствии с которым:

$$T_1 = T_2 = \dots = T_{m-1} = \frac{T_{\text{Д}}}{m-1}.$$

При разных номинальных размерах составляющих звеньев такой способ является некорректным, так как к большим звеньям будут предъявляться более жесткие требования по точности. Поэтому

в более точных расчётах используют перерасчет допусков составляющих звеньев размерной цепи по *способу равных квалитетов точности*. В основе этого способа лежит следующее соотношение:

$$T_{\text{д}} = a \cdot \sum_{j=1}^{m-1} i_j, \quad (5.6)$$

где a — коэффициент, определяющий точность, с которой следует получать все составляющие звенья размерной цепи; i_j единица допуска, характеризующая ту часть допуска, которая изменяется с изменением размера. Значения i_j для размеров до 500 мм приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1

Значения единиц допуска i_j

Интервал размера, мм	i_j мкм	Интервал размера, мм	i_j мкм	Интервал размера, мм	i_j мкм
3	0,35	30–50	1,55	250–315	3,22
3–6	0,73	50–80	1,85	315–400	3,54
6–10	0,90	80–120	2,17	400–500	3,89
10–18	1,08	120–180	2,52		
18–30	1,31	180–250	2,89		

При необходимости перерасчета допусков для каждого из составляющих звеньев по таблице 5.1 определяют значение i_j . Эти значения суммируют и по формуле (5.7) находят значение коэффициента a . В общем случае оно не будет соответствовать строго определенному квалитету точности. Поэтому для назначения допусков на соответствующие звенья выбирают ближайшие квалитеты по таблице 5.2.

$$a = \frac{T_{\text{д}}}{\sum_{j=1}^{m-1} i_j}. \quad (5.7)$$

Число единиц допуска a для различных квалитетов

Квалитет точности	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
a	7	10	16	25	40	64	100	160	250	400	640	1000	1600

Затем по каждому звену рассчитывают допуск $T_j = a_i \cdot i_j$ и корректируют допуски таким образом, чтобы

$$\sum_{j=1}^{m-1} T_j = T_{\text{д}}. \quad (5.8)$$

Задания для самостоятельной работы

Содержание задания: определите операционные размеры A_H с отклонениями для технологических операций, эскизы которых приведены в таблице 5.3, используя разработку и расчет технологических размерных цепей.

Последовательность выполнения

1. Изучите эскиз детали и операционные эскизы ее изготовления. Найдите на них обрабатываемые поверхности и конструкторские размеры, определяющие положения этих поверхностей на детали.

2. Найдите технологические базы, указанные на операционных эскизах символом ∇ .

Дальнейшие разработки выполняйте, переходя от одного операционного эскиза к другому лишь после завершения по текущему эскизу всех предусмотренных далее действий.

3. Вычертите операционный эскиз и нанесите на него искомый операционный размер.

4. Постройте технологическую размерную цепь на выносных размерных линиях, проведенных в соответствии с методикой, использованной на рисунке 5.6:

– изображение размерной цепи начните с нанесения на схему замыкающего звена A_{Δ} , т. е. того конструкторского размера, который на операционном эскизе не указан;

Таблица 5.3

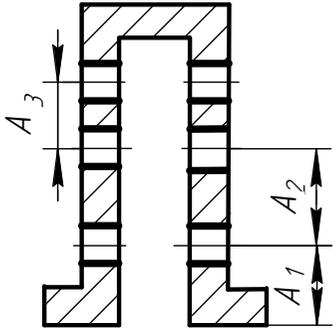
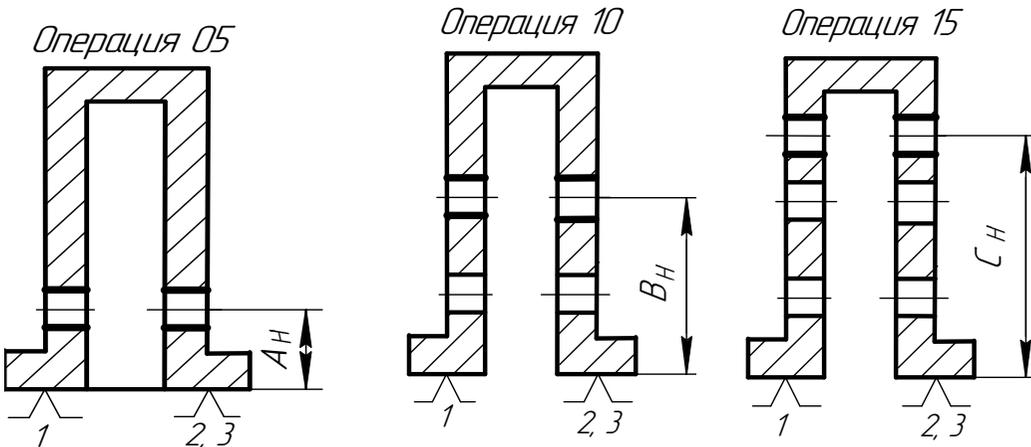
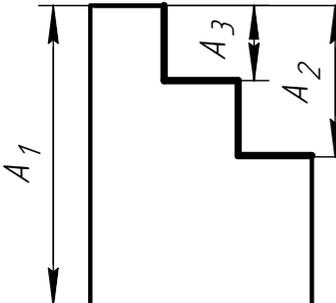
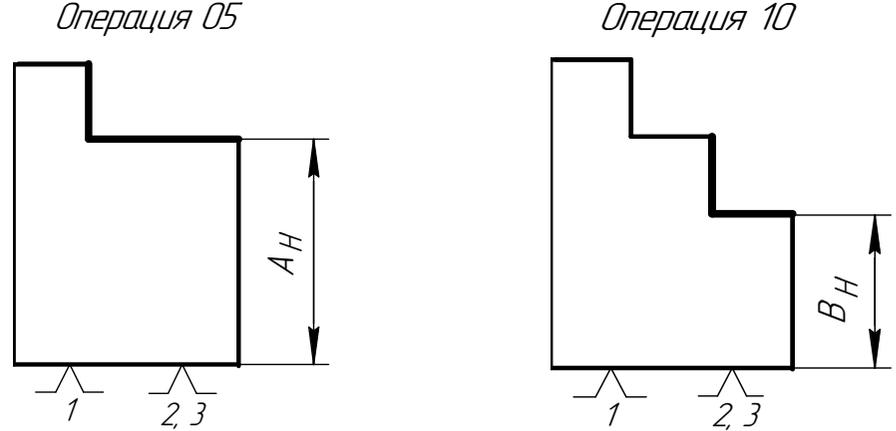
Индивидуальные задания

№ ПП	Фрагмент эскиза детали	Эскизы операций	Размеры			
			A_1	A_2	A_3	
1	2	3	4	5	6	
1		<p>Операция 05</p>	<p>Операция 10</p>	100 ^{-0,3}	50 ^{+0,15}	30 ^{+0,1}
2				100 ^{-0,3}	30 ^{+0,1}	30 ^{+0,15}
3		<p>Операция 05</p>	<p>Операция 10</p>	100 ^{-0,3}	70 ^{+0,2}	30 ^{+0,1}
4				150 ^{-0,5}	100 ^{+0,3}	50 ^{+0,2}
5		<p>Операция 05</p>	<p>Операция 10</p>	100 ^{-0,3}	40 ^{+0,2}	30 ^{+0,1}
6				120 ^{-0,3}	30 ^{+0,1}	50 ^{+0,2}

Продолжение табл. 5.3

1	2	3			4	5	6
7		<i>Операция 05</i> 	<i>Операция 10</i> 	<i>Операция 15</i> 	90±0,2	30±0,1	60±0,2
8					120±0,3	40±0,1	70±0,3
9		<i>Операция 05</i> 	<i>Операция 10</i> 	<i>Операция 15</i> 	150±0,2	60±0,1	30±0,1
10					120±0,2	60±0,1	20±0,1

Окончание табл. 5.3

1	2	3			4	5	6
11					60±0,1	30±0,2	30±0,1
12		50±0,2	50±0,1	20±0,2			
13					45 _{-0,6}	30 _{-0,3}	15 _{-0,3}
14		70 _{-0,4}	40 _{-0,2}	30 _{-0,2}			

– от размерной линии, определяющей положение обрабатываемой поверхности, проведите линию, определяющую операционный размер A_H , связывающий эту поверхность с технологической базой;

– по эскизу детали найдите размеры, соединяющие измерительную базу размера A_Δ и технологическую базу, нарисуйте эти размеры на схеме размерной цепи, которая должна стать замкнутой.

5. Решите размерную цепь методом на максимум и минимум и определите операционный (настроечный) размер A_n (B_n , C_n) с отклонениями. Расчет начните с определения допуска на искомое звено $TA_X = A_n$ по формуле (5.4).

Если $TA_X < 0$, то необходимо провести корректировку заданной конструктором точности размеров детали в сторону ее ужесточения по способу равных квалитетов точности формулы (5.6) – (5.8). После корректировки расчет продолжите по формулам (5.2) – (5.5).

Содержание отчета

1. Номер индивидуального задания по таблице 5.3.
2. Эскиз детали и операционные эскизы.
3. Формулировка задачи, обоснование необходимости ее постановки. Тип задачи (прямая, обратная).
4. Технологические размерные цепи по каждому операционному эскизу.
5. Расчетные формулы, используемые для решения размерной цепи.
6. Расчет размерной цепи с необходимыми пояснениями. При необходимости приводится перерасчет точности составляющих звеньев по способу равных квалитетов точности.
7. Проверка правильности решения по формуле (5.4).
8. Окончательный результат.

6. ОТРАБОТКА ЧЕРТЕЖА ДЕТАЛИ НА ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ

Цель работы: знания характеристик технологичности чертежа детали, признаков нетехнологичности типовых деталей и методики отработки чертежа детали на технологичность; умения находить нетехнологичные элементы и проводить в связи с этим корректировку чертежа.

Общие сведения

Технологичность — совокупность свойств конструкции изделия (детали), определяющих ее приспособленность к достижению оптимальных затрат при производстве, эксплуатации и ремонте для заданных показателей качества, объема выпуска и условий выполнения работ (ГОСТ 14.205–83).

Изготовление детали включает в качестве этапов производство заготовки и ее механическую обработку. В связи с этим технологичная конструкция должна обеспечивать простое и экономичное изготовление детали на каждом из этих этапов.

Задача создания технологичной детали решается конструктором при ее проектировании путем учета следующих общих требований:

- конструкция детали должна состоять из стандартных и унифицированных элементов или быть в целом стандартной;
- размеры на чертеже детали должны быть нанесены в соответствии с ГОСТ 2.307–68 «Нанесение размеров и предельных отклонений» и с учетом требований технологии изготовления и ремонта;
- заданные на чертеже требования к точности размеров и форме детали должны быть обоснованы, для снижения объема механической обработки допуски следует назначать только по размерам посадочных поверхностей;
- конструкция детали должна обеспечивать возможность применения унифицированных (типовых, групповых, модульных) и стандартных технологических процессов ее изготовления и ремонта;

– конфигурация детали и ее материал должны позволять применение прогрессивных типов заготовок, сокращающих объем механической обработки (точное кокильное литье, литье под давлением, объемную штамповку и вытяжку, холодную штамповку различных видов и т. п.);

– в конструкции детали должны использоваться простые геометрические формы, позволяющие внедрять высокопроизводительные методы обработки, следует при этом предусматривать удобную и надежную технологическую базу для установки заготовки на станок;

– жесткость детали должна быть достаточной для проведения механической обработки;

– конструкция детали должна обеспечивать возможность удобного подвода жесткого и высокопроизводительного инструмента к зоне обработки и свободный его вход и выход из этой зоны;

– должна быть учтена возможность одновременной установки для обработки нескольких заготовок детали.

О степени технологичности детали можно говорить лишь, рассматривая условия ее изготовления, ремонта, эксплуатации и уровня развития производства в период проектирования и изготовления. Повышение научно-технического уровня технологий и совершенствование технологических методов расширяют технологические возможности производства. То, что было нетехнологичным ранее, становится технологичным при открытии новых приемов и методов обработки. Конструкция детали, признанная технологичной для одного типа производства, будет нетехнологичной в условиях другого типа производства. Свойства технологичной конструкции детали, предназначенной для выполнения определенной функции в изделии, будут меняться также в зависимости от типа применяемого оборудования, существующих условий производства и многих других факторов.

Технологичность — это комплекс требований из 22 показателей, характеризующих технологическую рациональность принятых конструктивных решений. Все их многообразие может быть сведено к семи группам: технологической оптимальности конструкции изделия,

преемственности, ресурсоемкости изделия, производственной, эксплуатационной, ремонтной и общей технологичности.

Оценка технологичности детали может производиться качественными и количественными методами. Последние применяются в четырех случаях:

- для сравнительной оценки вариантов конструкции в процессе проектирования детали;

- для определения уровня технологичности;

- для накопления статистических данных по изделиям-представителям в целях последующего использования при определении базовых показателей и в процессе разработки изделия;

- для построения математических моделей с целью прогнозирования технического развития конструкции детали.

К основным численным показателям технологичности детали относят:

T_u — трудоемкость изготовления; $K_{ум}$ — уровень технологичности конструкции по трудоемкости изготовления; C_m — технологическую себестоимость; K_y — уровень технологичности конструкции по себестоимости (технологической).

Отработка конструкции детали на технологичность должна проводиться на всех стадиях разработки изделия. При этом следует комплексно учитывать технологические требования, начиная от выбора конструктивной схемы, материала, вида заготовок и кончая сборкой всей машины. В то же время на каждой стадии проектирования конструктор решает определенный перечень задач, установленных ГОСТ 14.206–73.

Проверка исчерпывающего и точного учета конструктором всех технологических требований осуществляется в ходе технологического контроля, который проводит технолог перед началом разработки технологического процесса изготовления детали. В соответствии с ГОСТ 14.206–73 все чертежи деталей должны пройти эту процедуру. Основой для нее являются ранее изложенные общие требования к технологичным деталям и ряд частных требований. Среди них:

- условия создания технологичных литых, сварных, штампованных заготовок;
- требования к технологичности деталей, изготавливаемых с использованием методов обработки резанием;
- требования к сборочным единицам и изделию в целом.

Не повторяя ранее указанных общих требований к технологичности конструкции детали, остановимся далее на частных технологических требованиях, относящихся к различным классам деталей, и на технологических основах простановки размеров деталей.

Технологические требования к конструкциям типовых деталей

Корпусные детали. К конструктивному исполнению деталей этого класса предъявляют следующие технологические требования:

- нерабочие поверхности корпусов желательно всюду, где возможно, оставлять без механической обработки, что сокращает трудоемкость их изготовления;
- поверхности большой протяженности, требующие обработки, следует прерывать необрабатываемыми участками, получаемыми при изготовлении заготовок;
- заготовки корпусов должны обладать прочностью, жесткостью и виброустойчивостью, чтобы исключить деформации как в процессе эксплуатации, так и при механической обработке;
- поверхности, изготавливаемые резанием и находящиеся с одной стороны детали, следует располагать так, чтобы их обработку можно было производить на проход;
- расположение обрабатываемых поверхностей наклонно относительно основных осей корпуса нежелательно, так как усложняет его изготовление;
- следует избегать отверстий $L > (8-10) d$, особенно, если заготовке детали нельзя сообщить вращение при ее обработке;
- особо точные отверстия должны быть сквозными;

– соосные цилиндрические отверстия следует выполнять убывающими по диаметрам в одном направлении, а если это невозможно, убывающими с обеих сторон детали к ее средней части;

– корпусные детали должны иметь хорошо развитые поверхности, которые могут быть использованы как технологические базы;

– крепежные отверстия следует делать стандартными по диаметрам и резьбам, номенклатура их должна быть максимально ограничена;

– размеры и расположение отверстий в корпусе должны допускать его многошпindelную обработку, для чего расстояние между осями отверстий следует назначать не менее 35 мм;

– подрезка внутренних торцовых поверхностей корпусов нежелательна.

Рычаги, шатуны, кронштейны, серьги, вилки. Для обеспечения основных конструктивных требований точного взаимного расположения рабочих поверхностей и точности посадочных мест для установки при проектировании деталей этих классов необходимо выполнять следующие технологические требования:

– предусматривать в конструкции детали развитые поверхности, обеспечивающие надежное базирование и закрепление заготовки при обработке;

– избегать ступенчатого расположения обрабатываемых плоскостей головок, расположение их в одной плоскости допускает обработку на проход;

– предусматривать для штампованных и литых рычагов минимально необходимый объем обработки резанием;

– конструктивные формы должны быть по возможности прямыми, без изгибов.

Втулки и кольца. Технологически рациональны для деталей этих классов конструкции, заготовки которых могут быть изготовлены из проката, в частности, трубы. В крупносерийном и массовом производствах целесообразно применение заготовок из порошковых материалов.

К деталям класса «втулки – кольца» предъявляют следующие технологические требования:

- конструкция детали должна допускать обработку всех внутренних поверхностей с одной стороны за один установ, это позволяет обеспечить соосность ее внутренних поверхностей;

- соосные глухие отверстия, располагаемые с двух сторон, нежелательны;

- в глухих точных отверстиях для выхода инструмента следует предусматривать канавки, наличие таких канавок обязательно, если деталь термообрабатывается;

- в конструкции втулки, имеющей фланец, последний по возможности должен иметь круглую форму;

- поверхности, обрабатываемые на разных операциях, должны быть четко разграничены;

- внутренние выточки, особенно высокоточные, нежелательны, втулки целесообразно конструировать со сквозными отверстиями;

- крепежные резьбы следует располагать таким образом, чтобы их обработка была возможна за один установ;

- образование шлицов в глухих отверстиях затруднено, введение сквозных шлицевых отверстий позволяет для их получения применять протягивание.

Валы и оси. Детали этого класса конструируют с учетом следующих технологических требований:

- вал должен иметь центровые отверстия, что упрощает его изготовление, контроль и ремонт;

- гладкие валы и оси небольших размеров и длин целесообразно изготавливать из чистого калиброванного проката;

- следует избегать конструирования нежестких валов ($L/d > 12$); точная обработка их возможна лишь с применением люнетов;

- ступенчатые валы и оси должны иметь небольшие перепады диаметров, при этом на разных ступенях целесообразно иметь одинаковые перепады; длины ступеней должны быть равными или кратными, их размеры следует выбирать из рядов нормальных чисел;

– на поверхности детали следует избегать наличия одиночных выступов и гребней, выполненных за одно целое с валом;

– при конструировании валов со шпоночными пазами по возможности следует отдавать предпочтение пазам, образуемым дисковой фрезой;

– диаметр вала, прилегающий к шлицевому участку, должен быть меньше внутреннего диаметра шлицов;

– необходимо избегать отверстий, пересекающих закаленную зону (особенно закаливаемую токами высокой частоты); такие отверстия чаще всего являются причинами появления трещин и оплавления кромок; при необходимости введения отверстий на закаливаемых участках на отверстиях следует предусматривать фаски.

Колеса зубчатые. При проектировании зубчатых колес должны быть учтены следующие технологические требования:

– конструкция детали должна обеспечивать надежное ее базирование при зубонарезании, торцовая поверхность, являющаяся базой, должна быть перпендикулярна оси колеса;

– для узких цилиндрических колес, нарезаемых пакетом, биение торца к оси отверстия должно быть уменьшено до предельно возможных значений;

– все взаимосвязанные обрабатываемые поверхности зубчатого колеса следует располагать таким образом, чтобы была возможность их изготовления за один установ;

– проектирование зубчатого колеса, изготавливаемого как одно целое с валом или втулкой, целесообразно только для условий крупносерийного или массового типов производств;

– необходимо избегать применения цельных блоков, затрудняющих выход режущего инструмента; проще делать в этом случае составную конструкцию зубчатого блока;

– закрытые венцы, обрабатываемые малопроизводительными и точными методами, применяют только в исключительных случаях;

– во всех возможных случаях, особенно для колес из цементируемых или закаливаемых сталей, следует применять шлицевые соединения с центрированием по внутреннему диаметру колеса;

– конические шестерни, выполняемые как одно целое с валом, должны иметь концевую часть с резьбой или резьбовым отверстием для закрепления (при массовом производстве допускается отступление от данного правила).

Технологические основы нанесения размеров на чертежах

Под технологическими основами нанесения размеров будем понимать те требования к простановке размеров на чертежах, которые направлены на повышение технологичности изготовления детали. Правильное нанесение размеров должно способствовать:

– применению наиболее простых приспособлений, режущего и измерительного инструментов;

– созданию рационального маршрута изготовления детали;

– устранению перерасчетов размеров и допусков при изготовлении и контроле детали;

– применению предварительно настроенных на обработку станков;

– надежности и простоте контроля детали.

В связи с этим исключительно большое значение приобретает умение конструктора предвидеть структуру и содержание технологического процесса изготовления проектируемой детали и оптимизировать их путем учета указанных далее технологических требований к нанесению размеров на чертеже.

1. Количество размеров на чертеже должно быть минимальным, но достаточным для изготовления и контроля детали.

2. Каждый проставленный на чертеже размер должен допускать его выполнение и контроль при изготовлении детали.

3. Наносить размеры в виде замкнутой размерной цепи не допускается.

4. Размеры на чертеже можно наносить тремя методами: цепным, координатным и комбинированным.

Цепной метод реализуют простановкой размеров на чертеже цепью (рис. 6.1, а). В этом случае при изготовлении детали обработка каждой ступени должна будет выполняться как отдельная операция. При переходе от изготовления одной ступени к следующей должна происходить смена технологической базы, которой для примера, представленного на рисунке 6.1, а, при обработке поверхности 3 будет являться поверхность 2, связывающая уже обработанную 1 и обрабатываемую 3 ступени.

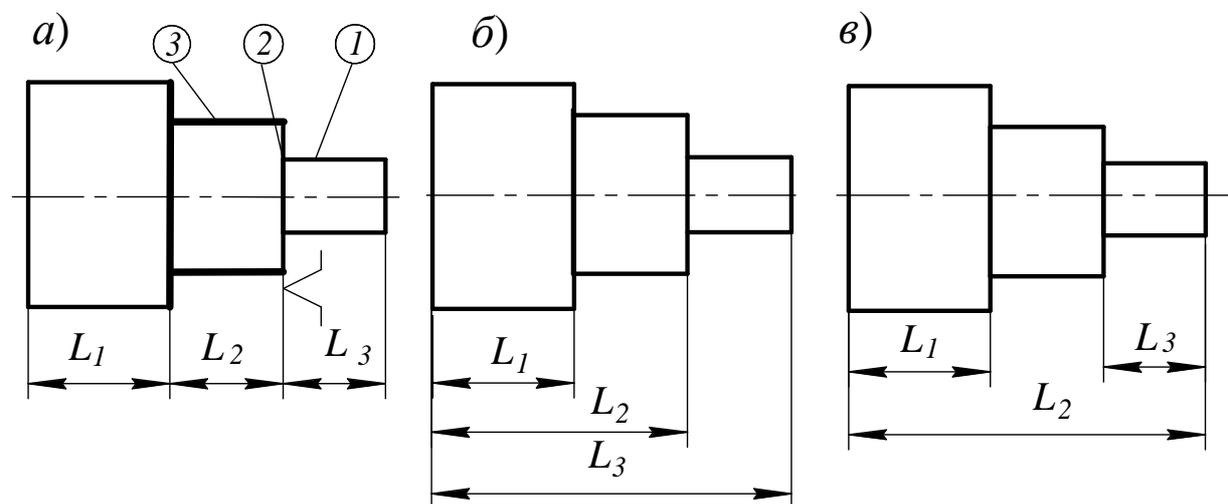


Рис. 6.1. Системы нанесения размеров на чертеже детали цепным (а), координатным (б) и комбинированным (в) способами

При такой структуре технологического процесса точность каждого размера детали определяется лишь погрешностями обработки, возникающими на данной операции. Ошибки в изготовлении предыдущих размеров на точность выполняемого размера не влияют. В то же время точность суммарных размеров длин нескольких ступеней при любой выбранной измерительной базе будет определяться суммой погрешностей изготовления размеров, входящих в соответствующую размерную цепь.

Цепной метод применяют при нанесении размеров между смежными элементами детали, например на расстояния между осями

нескольких отверстий, расположенных на одной оси; на чертежах ступенчатых деталей, где требуется получить очень точные размеры ступеней; при обработке заготовок комплектом режущих инструментов, на чертежах изделий, изготавливаемых на станках с ЧПУ.

При координатном методе размеры наносят от одной заранее выбранной конструкторской базы детали (рис. 6.1, б). В этом случае точность выполнения любого размера зависит лишь от погрешностей обработки при выполнении этого размера и не зависит от точности исполнения других размеров. Этот метод простановки размеров используют тогда, когда необходимо точно расположить элементы детали относительно одной поверхности. Что касается погрешности длины каждой ступени, то она равна сумме погрешностей выполнения двух размеров, образующих данную ступень.

Сопоставление цепного и координатного методов простановки размеров показывает, что использование координатного метода позволяет получить, как правило, более высокую точность.

Комбинированный метод нанесения размеров на чертежах представляет собой сочетание цепного и координатного методов (рис. 6.1, в). Этот метод конструктор применяет, чтобы обеспечить меньшие погрешности при выполнении более ответственных ступеней детали. Именно комбинированный метод чаще всего и используют при нанесении размеров.

5. На чертеже детали должно быть столько связанных между собой систем размеров, сколько отдельных этапов обработки (заготовительный, черновой, получистовой, чистовой, термический, гальванический, отделочный) включает технологический процесс ее изготовления. В систему размеров чертежа детали по каждому этапу включают лишь размеры тех поверхностей, которые создаются на данном этапе и в дальнейшем не обрабатываются.

6. Все поэтапные системы размеров должны быть связаны между собой последовательно, по ходу технологического процесса изготовления детали. В общем случае каждая система размеров должна быть связана с последующей тремя размерами в трех координатных

плоскостях. Если число координируемых размеров по какому-либо направлению больше одного, то возникает размерная неопределенность. Изготовление детали с такой простановкой размеров на ее чертеже невозможно.

Особое внимание выполнению этого требования следует уделить при вычерчивании рабочих чертежей деталей, изготавливаемых литьем, штамповкой, ковкой или прокаткой с последующей обработкой резанием не всех, а части поверхностей заготовки. В этом случае на чертеже детали должно быть три системы размеров. Первая связывает между собой необрабатываемые поверхности и выполняется в заготовительных цехах. Вторая система определяет связи окончательно обработанных поверхностей между собой. Третья группа размеров по каждому координатному направлению должна содержать только один размер, связывающий систему обработанных и необрабатываемых поверхностей. Этот единственный размер используется на первой операции механической обработки для выбора черновых технологических баз и настройки станка на размер.

На рис. 6.2 показаны два варианта нанесения размеров на чертеже детали — неправильный и правильный.

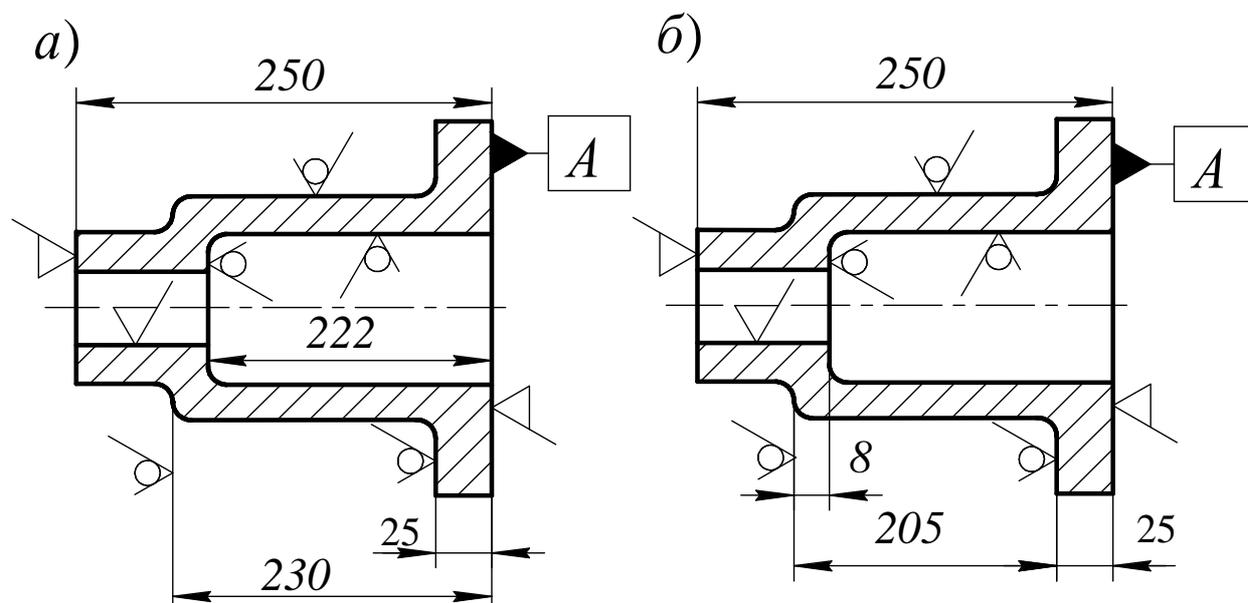


Рис. 6.2. Схемы нанесения линейных размеров на чертеже детали, имеющей необрабатываемые методами резания поверхности:

a – неправильно; *б* – правильно

На рис. 6.1, *а* нарушено вышеприведенное требование и не выполнена размерная определенность, так как невозможно при изготовлении детали выдержать от обрабатываемой поверхности *A* по одному координатному направлению сразу три размера (25, 222, 230), соединяющих обрабатываемую и необрабатываемые поверхности. На рисунке 6.1, *б* представлен чертеж с правильно нанесенными размерами.

7. Размеры, проставленные на чертеже детали, должны обеспечивать возможность совмещения в процессе изготовления детали технологических баз с базами конструкторскими и измерительными (принцип единства баз).

Степень обязательности реализации этого требования следует дифференцировать в зависимости от того, является ли данный размер сопряженным или свободным.

Сопряженные размеры — это размеры, проставленные на исполнительные поверхности детали или расстояния между ними. Они входят в размерные конструкторские цепи и получают с предельными отклонениями при расчете этих цепей. Сопряженные размеры выполняют обычно с высокой точностью (6–8 квалитеты точности).

Все имеющиеся на чертеже сопряженные размеры должны быть поставлены от конструкторских баз. Некоторые из этих баз могут быть использованы в технологическом процессе изготовления детали как технологические базы. В этом случае требование соблюдения принципа единства баз выполняется.

В то же время по ряду причин отдельные конструкторские базы, использованные для нанесения сопряженных размеров, не могут быть приняты за технологические базы при выполнении этих размеров. Тем не менее, заменять их простановку на чертеже детали другими размерами не рекомендуется.

Свободными размерами называют размеры, которые в размерные конструкторские цепи изделия не входят. Они координируют положение таких поверхностей детали, которые не соединяются с поверхностями других деталей. На свободные размеры задают обычно допуски по 14 квалитету точности.

Свободные размеры должны наноситься от технологических баз с учетом последовательности технологических операций изготовления детали, а также удобства их контроля. При их простановке принцип единства конструкторских, технологических и измерительных баз должен выполняться повсеместно.

8. Если сопряженный размер соединяет конструкторские базы, которые при изготовлении детали не могут быть приняты как технологические (размер A_4 на рисунке 6.3, а), то такой размер будет выполняться как замыкающее звено технологической размерной цепи (рис. 6.3, б).

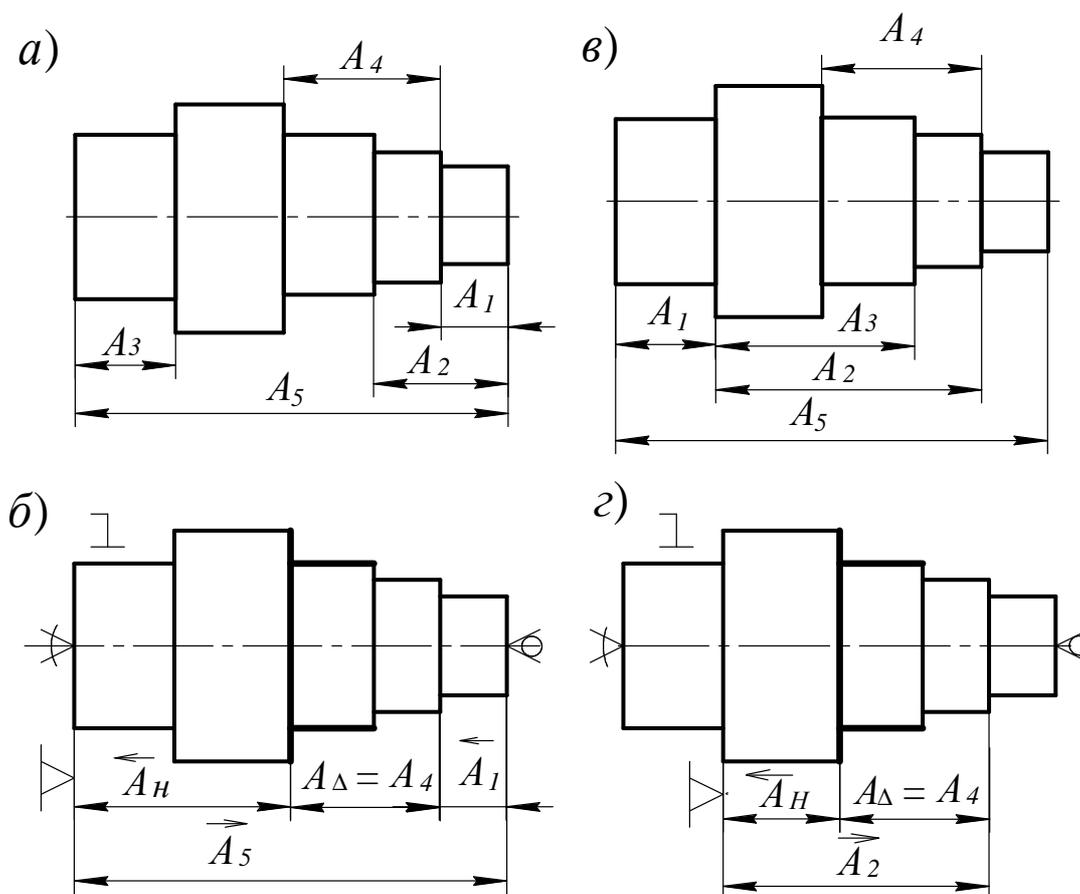


Рис. 6.3. Нанесение линейных размеров на чертеже при наличии точного сопряженного размера A_4 с учетом выполнения принципа кратчайших размерных цепей

В этом случае размеры на чертеже следует наносить таким образом (рис. 6.3, в), чтобы искомая технологическая размерная цепь (рис. 6.3, г) имела наименьшее число звеньев (*принцип кратчайших размерных цепей*). Это обеспечит при выполнении сопряженного

размера минимальную накопленную (суммарную) погрешность базирования, вызванную несовпадением конструкторской и технологической баз.

9. Размеры на чертежи следует наносить так, чтобы максимальное число поверхностей можно было обработать, используя в качестве технологической базы одну и ту же поверхность (*принцип постоянства баз*).

10. Простановка размеров на чертежах деталей должна быть оптимизирована на основе учета особенностей размерной наладки станка.

Например, в условиях серийного и массового производств при выполнении сложных концентрированных операций на револьверных станках, станках-автоматах, многолезцовых станках с копирувальными устройствами размеры на чертеже детали в определенном направлении должны быть поставлены таким образом, чтобы среди обрабатываемых поверхностей была бы одна поверхность (измерительная база), по отношению к которой ориентируются размерами другие поверхности. Такой измерительной базой на рисунке 6.4 является поверхность *A*. От нее проставлена на чертеже детали группа размеров (L_1, L_2, L_3).

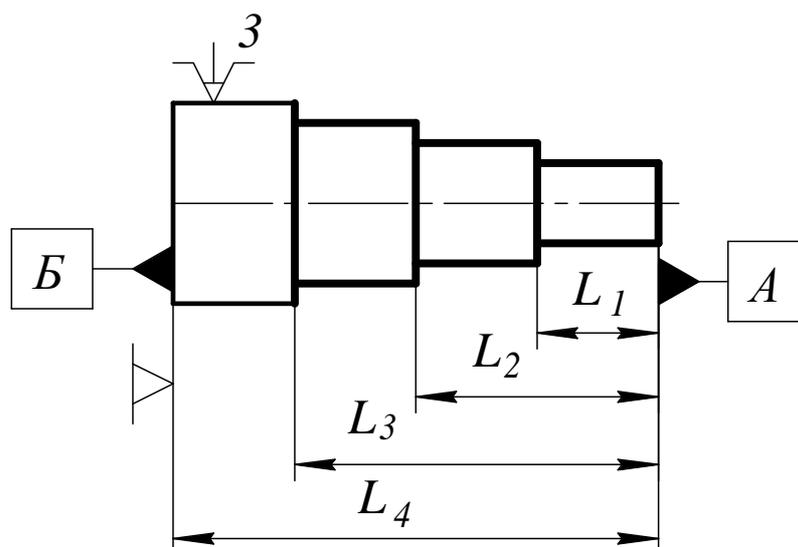


Рис. 6.4. Пример нанесения размеров от измерительной базы, координирующей положение на детали нескольких поверхностей

В этом случае на первом этапе размерной настройки станка тем или иным методом наладки определяется положение этой координирующей поверхности относительно технологических баз (на рисунке 6.4 относительно опорной технологической базы B). Затем по отношению к ней, а не к опорной технологической базе B , осуществляют наладку инструментов на обработку других поверхностей.

Поверхность A как измерительную базу обрабатывают за один установ с ориентированными относительно ее поверхностями, но до их обработки (первым технологическим переходом). В связи с этим она в общем случае должна быть связана размером с технологической опорной базой (размер L_4 на рисунке 6.4).

В зависимости от конфигурации и предъявляемых требованиям деталь может иметь несколько измерительных баз одного направления размеров. Это дает возможность проставлять размеры на чертеже непосредственно между поверхностями. Однако размерная наладка станка при этом затрудняется.

11. При обработке заготовки комплектом (набором) режущих инструментов на чертеже детали все поверхности, создаваемые этим комплектом, выделяются и координируются между собой самостоятельной группой размеров (рис. 6.5).

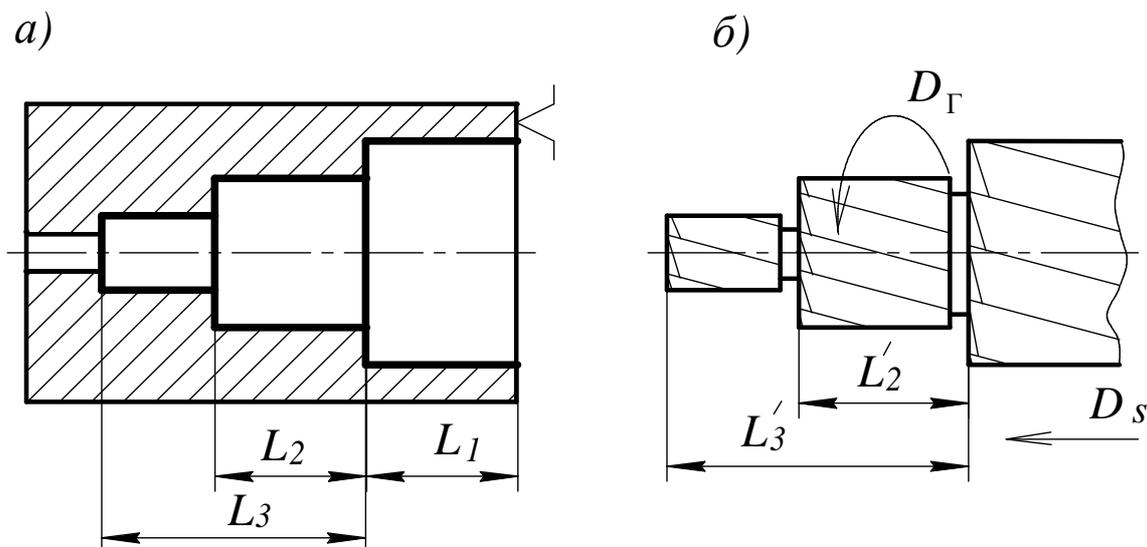


Рис. 6.5. Пример нанесения размеров при изготовлении сопряженных поверхностей комбинированным инструментом

При этом необходимо, чтобы одна из поверхностей этого сложного контура была связана размером (размерами) с технологическими базами. На рисунке 6.5, *а* обособленной группой размеров являются размеры L_2 и L_3 . Размером, связывающим эту группу с технологической базой, служит размер L_1 . Наличие на сложном контуре детали такой обособленной группы размеров дает возможность изготовить комплект режущих инструментов (рис. 6.5, *б*) с минимальными затратами.

12. На чертежах простых деталей, имеющих оси симметрии, размеры до любых поверхностей или осей должны быть поставлены не от осей симметрии, а от контурных линий поверхностей детали (рис. 6.6). Простановка размера от оси симметрии потребует для его выполнения сложного самоцентрирующего приспособления и сложного калибра. К тому же получение точных размеров при изготовлении детали в этом случае будет затруднено.

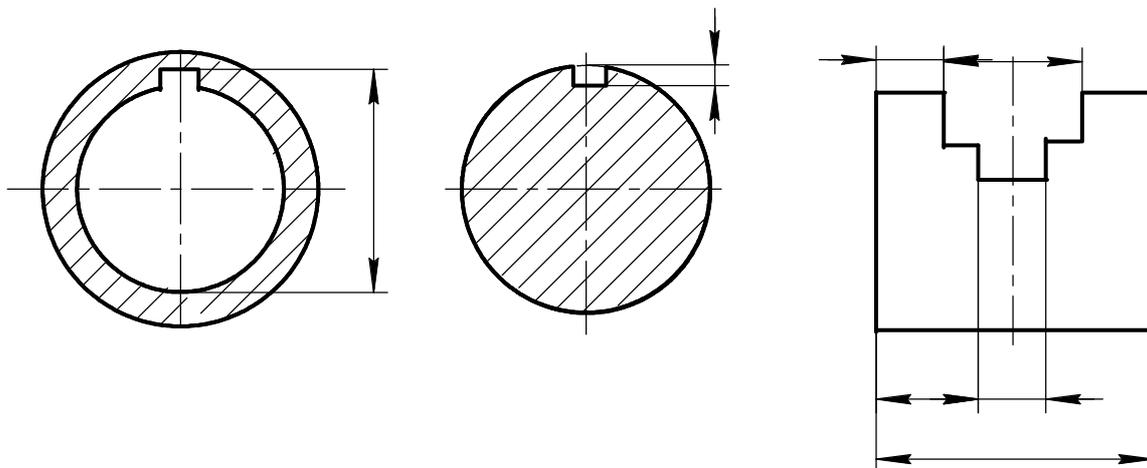


Рис. 6.6. Пример нанесения размеров на чертежах деталей, имеющих оси симметрии, от контурных поверхностей

13. Если контур детали сложный и не может служить надежной и удобной технологической базой, то в качестве последней может использоваться отверстие. В этом случае размеры на чертеже целесообразно проставлять от оси симметрии детали (рис. 6.7, *а*).

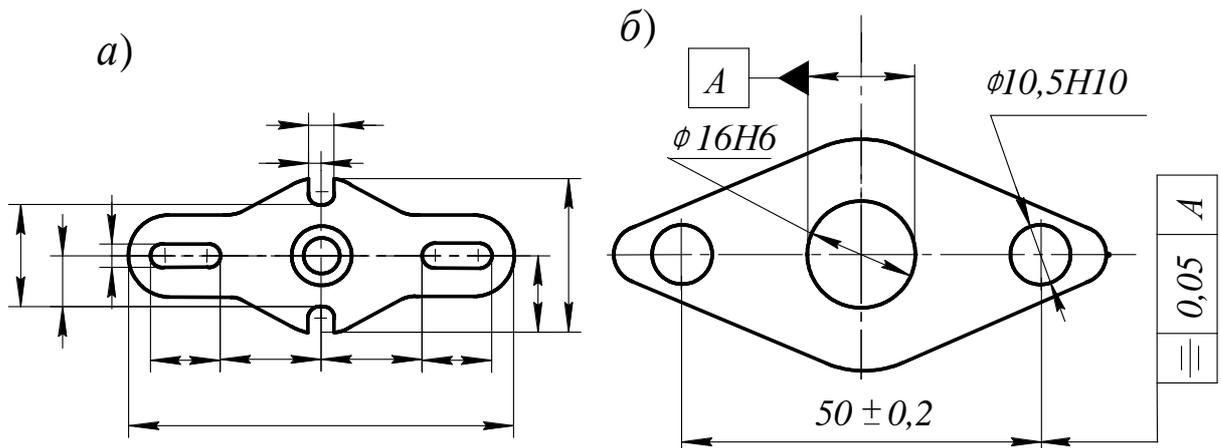


Рис. 6.7. Примеры рекомендуемого нанесения размеров на чертежах имеющих оси симметрии деталей от оси центрального отверстия

14. При необходимости обеспечения в детали точного расстояния между осями двух отверстий, пазов или поверхностей, а кроме того симметричного их расположения относительно какой-либо оси наносить размеры рекомендуется так, как показано на рисунке 6.7, б, с указанием отклонения от симметричности осей или поверхностей детали относительно базовой оси или поверхности.

Задания для самостоятельной работы

Содержание задания: выполните анализ конструкции детали на соответствие ее требованиям технологичности изготовления, выявите нетехнологичные элементы, отработайте чертеж детали на технологичность. Пример задания представлен на рис. 6.8 в виде чертежа детали, на котором выносками с арабскими цифрами указаны нетехнологичные элементы детали, изображения элементов с отступлением от ГОСТов или просто ошибки оформления.

Последовательность выполнения

1. Изучите чертеж детали и содержание задания (тип производства, условия работы детали в изделии).
2. Сформулируйте технологические задачи изготовления детали.

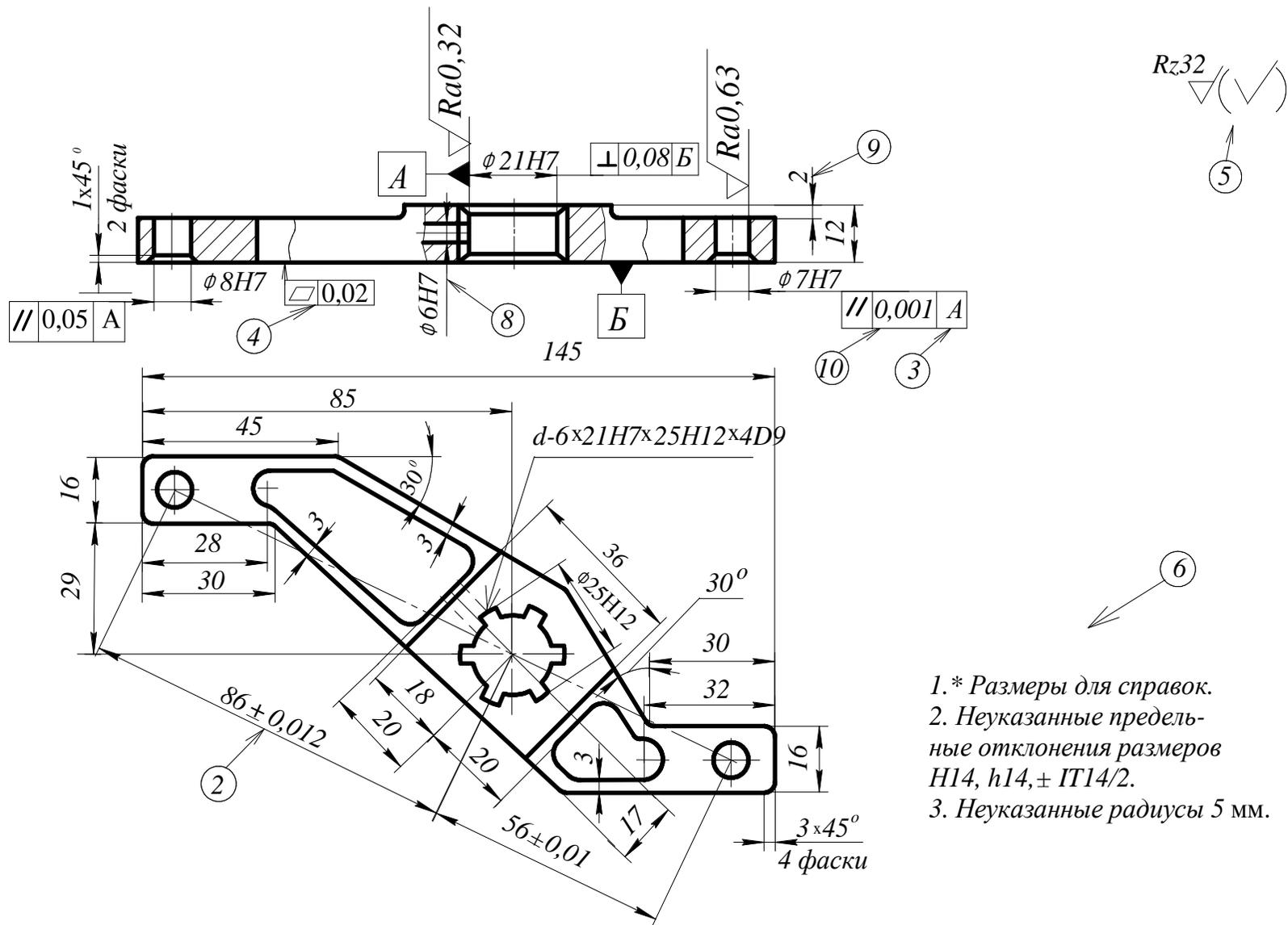


Рис. 6.8. Пример задания на отработку оформленного с ошибками чертежа детали на технологичность

3. Найдите на чертеже основные и вспомогательные конструкторские базы детали. Отметьте их выносками с номерами, определите функциональное назначение и приведите точные названия баз.

4. Установите рекомендуемый по чертежу тип заготовки и метод ее получения, решите вопрос о целесообразности его использования. Установите рациональный способ получения заготовки. При необходимости измените марку применяемого материала и технические требования к заготовке.

5. В соответствии с принятыми в п. 4 решениями о типе заготовки, методе ее получения и материале откорректируйте геометрическую конфигурацию детали на чертеже. Выделите поверхности, не подлежащие обработке, измените обозначения их шероховатости.

6. Разработайте технологический маршрут изготовления детали и заполните таблицу 6.1.

Таблица 6.1

Технологический маршрут изготовления детали

«_____»

Номер операции	Наименование операции	Содержание операции	Используемое оборудование

7. Изучите требования к точности обработки детали и определите значения шероховатости ее поверхностей. Исходя из функционального назначения детали и ее элементов, а также, используя приведенные в таблице 6.2 соотношения между полями допусков предпочтительного применения и параметрами шероховатости поверхностей, откорректируйте их значения на чертеже детали.

8. Проверьте соответствие геометрических форм детали требованиям, предъявляемым к изделиям данного класса. При необходимости внесите предложения по изменению конфигурации детали.

Таблица 6.2

Соотношения между полями допусков предпочтительного применения и параметром шероховатости поверхности Ra

Ква- ли- тет точ- нос- ти	Поле допуска		Параметр шероховатости Ra (мкм) для поверхностей с номинальными размерами										
			до 18	от 18 до 30	от 30 до 50	от 50 до 80	от 80 до 120	от 120 до 180	от 180 до 250	от 250 до 315	от 315 до 400	от 400 до 450	
	вала	отвер- стия											
6	d6		0,4	0,8						1,6			
	h6												
	js6												
	r6												
	h6												
	p6												
	z6												
	s6												
7		H7	0,4	0,8						1,6			
		Js7											
		K7											
		N7											
		P7											
	f7												
	h7												
8		F8	0,4	0,8						1,6			
		H8											
	e8												
	h8												
9		F9	0,4	0,8						1,6			
		H9											
	d9												
	h9												
10		H10	0,4	0,8						1,6			
	d10												
	h10												

9. Приведите в соответствие конструктивные формы элементов детали, подлежащие обработке, требованиям технологичности деталей, обрабатываемых на станках соответствующей группы.

10. Проведите унификацию форм, размеров, точности изготовления элементов детали (фаски, радиусы, канавки, сбеги резьб, уклоны и т. п.)

11. Если у детали часть поверхностей не подлежит механической обработке, то проверьте правильность простановки размеров между обрабатываемыми и необрабатываемыми поверхностями, выделите системы размеров, выполняемых на различных этапах изготовления детали.

12. Проведите анализ правильности простановки размеров на чертеже детали в части выполнения ГОСТ 2.307–68* «Нанесение размеров и предельных отклонений», ГОСТ 2308–79 «Указание на чертежах допусков формы и расположения поверхностей» требований, определяемых технологическими основами нанесения размеров на чертеже изделия.

13. Обобщите, согласуйте между собой и сформулируйте в целом свои предложения по корректировке чертежа детали. Внесите в него необходимые изменения.

Содержание отчета

1. Цель работы и ксерокопия выданного чертежа.
2. Технологические задачи изготовления детали.
3. Конструкторские базы детали: наименование элемента детали, обозначение его на чертеже, размеры, точность изготовления и другие параметры базы. Функциональное назначение, полное наименование базы.
4. Технологический маршрут изготовления детали (в виде таблицы 6.1).
5. Предложения по совершенствованию конструкции детали. Даются в порядке следования пунктов раздела «Последовательность выполнения» с доказательствами, ссылками, пояснениями в виде текста, расчетов и эскизов.

6. Чертеж детали с внесенными изменениями, улучшающими технологичность конструкции и устраняющими ошибки в оформлении.

7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИПУСКОВ НА МЕХАНИЧЕСКУЮ ОБРАБОТКУ ПОВЕРХНОСТИ ЗАГОТОВКИ РАСЧЕТНО-АНАЛИТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Цель работы: знание теоретических основ методики назначения припуска на обработку поверхности заготовки расчетно-аналитическим методом; умения работать с таблицами по определению составляющих припуска, рассчитывать общий и операционные припуски на обработку конкретной поверхности детали расчетно-аналитическим методом.

Основные сведения

Припуском называют слой материала, удаляемый в процессе механической обработки заготовки для достижения требуемой точности и качества обработанной поверхности.

Различают промежуточный (Z_i) и общий (Z_o) виды припусков.

Промежуточный припуск (припуск на данную операцию или переход) — слой металла, который должен быть удален на данной операции или переходе. Промежуточный припуск определяют как разность размеров заготовки, полученных на выполняемом и предшествующем переходах. При обозначении припусков используют следующие индексы: $(i - 1)$ — индекс для предшествующего перехода, i — индекс для выполняемого перехода.

Промежуточные припуски для наружных и внутренних поверхностей (рис. 7.1) рассчитывают соответственно по следующим формулам:

$$Z_i = D_{i-1} - D_i, \quad (7.1)$$

$$Z_i = D_i - D_{i-1}. \quad (7.2)$$

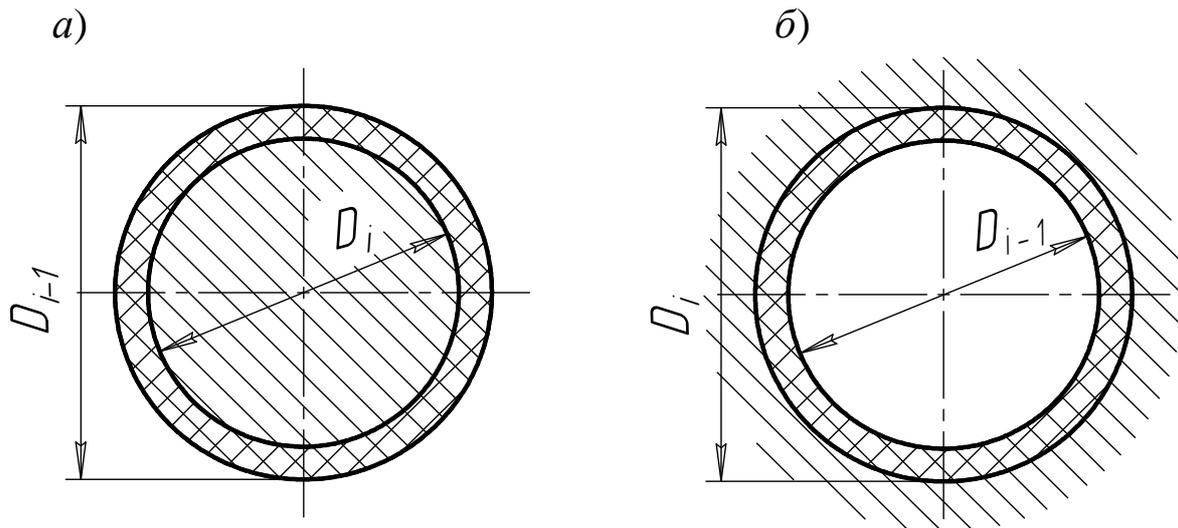


Рис. 7.1. Схемы расположения припусков для наружной (а) и внутренней (б) поверхностей¹

Припуски на обработку заготовок резанием измеряют по нормали к обработанной поверхности. Они могут быть *несимметричными* (на одну сторону) при изготовлении призматических деталей и *симметричными* (на обе стороны), назначаемыми чаще всего на диаметр при обработке тел вращения.

Общий припуск равен сумме промежуточных припусков по всему технологическому маршруту механической обработки данной поверхности

$$Z_o = \sum_{i=1}^n Z_i, \quad (7.3)$$

где n — число технологических переходов при обработке поверхности. Общий припуск определяют как разность размеров заготовки и готовой детали.

Назначение общих и операционных припусков имеет большое технико-экономическое значение. Чрезмерно большие припуски снижают экономическую эффективность процесса за счет потерь металла, переводимого в стружку. Удаление лишних слоев металла требует введения дополнительных переходов, увеличивает трудоемкость процессов обработки, расход энергии и режущего инструмента, повышает себестоимость обработки. При увеличенных припусках в некоторых

¹ На рис. 7.1 припуск представлен перекрестной штриховкой.

случаях приходится удалять наиболее износостойкий поверхностный слой детали.

Чрезмерно малые припуски также нежелательны. Они не обеспечивают удаление дефектных поверхностных слоев и получение требуемой точности и шероховатости обработанных поверхностей, а в некоторых случаях создают неприемлемые условия для работы режущего инструмента по литейной корке или окалине. Чрезмерно малые припуски требуют повышения точности заготовок, затрудняют их разметку и выверку на станках и, в конечном счете, увеличивают вероятный процент брака.

Правильно выбранный припуск обеспечивает устойчивую работу оборудования при достижении высокого качества и минимальной себестоимости продукции.

В машиностроении применяют два метода определения припуска: опытно-статистический и расчетно-аналитический. При использовании *опытно-статистического метода* общие и промежуточные припуски назначают по таблицам, которые составлены на основе обобщения и систематизации производственных данных предприятий.

Недостатком этого метода является назначение припусков без учета конкретных условий построения технологических процессов, поэтому создаются ненужные повышенные запасы надежности в предположении наихудших условий для каждой из обрабатываемых поверхностей. Опытно-статистические припуски, как правило, необоснованно завышены.

Расчетно-аналитический метод определения припусков разработан профессором В. М. Кованом. Согласно этому методу, промежуточный припуск должен быть таким, чтобы при его снятии устранялись погрешности обработки и дефекты поверхностного слоя, полученные на предшествующих технологических переходах, а также погрешности установки обрабатываемой заготовки, возникающие на выполняемом переходе.

В соответствии с этим методом минимальный промежуточный припуск $Z_{i\min}$ (рис. 7.2) рассчитывают по формуле (7.4):

$$Z_{i\min} = Rz_{i-1} + T_{i-1} + (\bar{\rho}_{i-1} + \bar{\varepsilon}_i), \quad (7.4)$$

где Rz_{i-1} — высота неровностей, полученная на смежном предыдущем переходе обработки данной поверхности; T_{i-1} — глубина полученного на предыдущем технологическом переходе поверхностного слоя, отличающегося по своим характеристикам от основного слоя; ρ_{i-1} — пространственные отклонения расположения обрабатываемой поверхности относительно баз заготовки; ε_i — погрешность установки на выполняемом переходе.

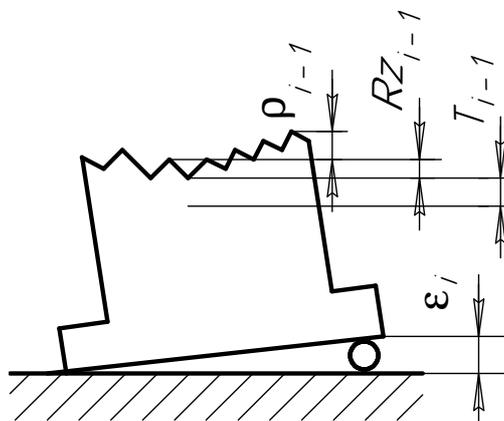


Рис. 7.2. Схема для определения минимального операционного припуска

Особенности назначения припусков на обработку поверхностей с заданными характеристиками

При наличии общих закономерностей определения припусков на обработку существуют особенности в методике назначения и расчета припусков, вызванные особенностями формы изготавливаемой поверхности детали, последовательностью выполнения технологических переходов (операций) на ее поверхностях, спецификой базирования заготовки и видом выполняемых операций.

Рассмотрим некоторые вариации в назначении припусков, определяемые указанными факторами. Для обеспечения наглядного представления расположения операционных припусков, отклонений на размеры и методики расчета припусков на рисунках 7.3 и 7.4 представлены схемы расположения общего припуска, его составляющих и допусков для обработки наружной и внутренней поверхности вала и втулки.

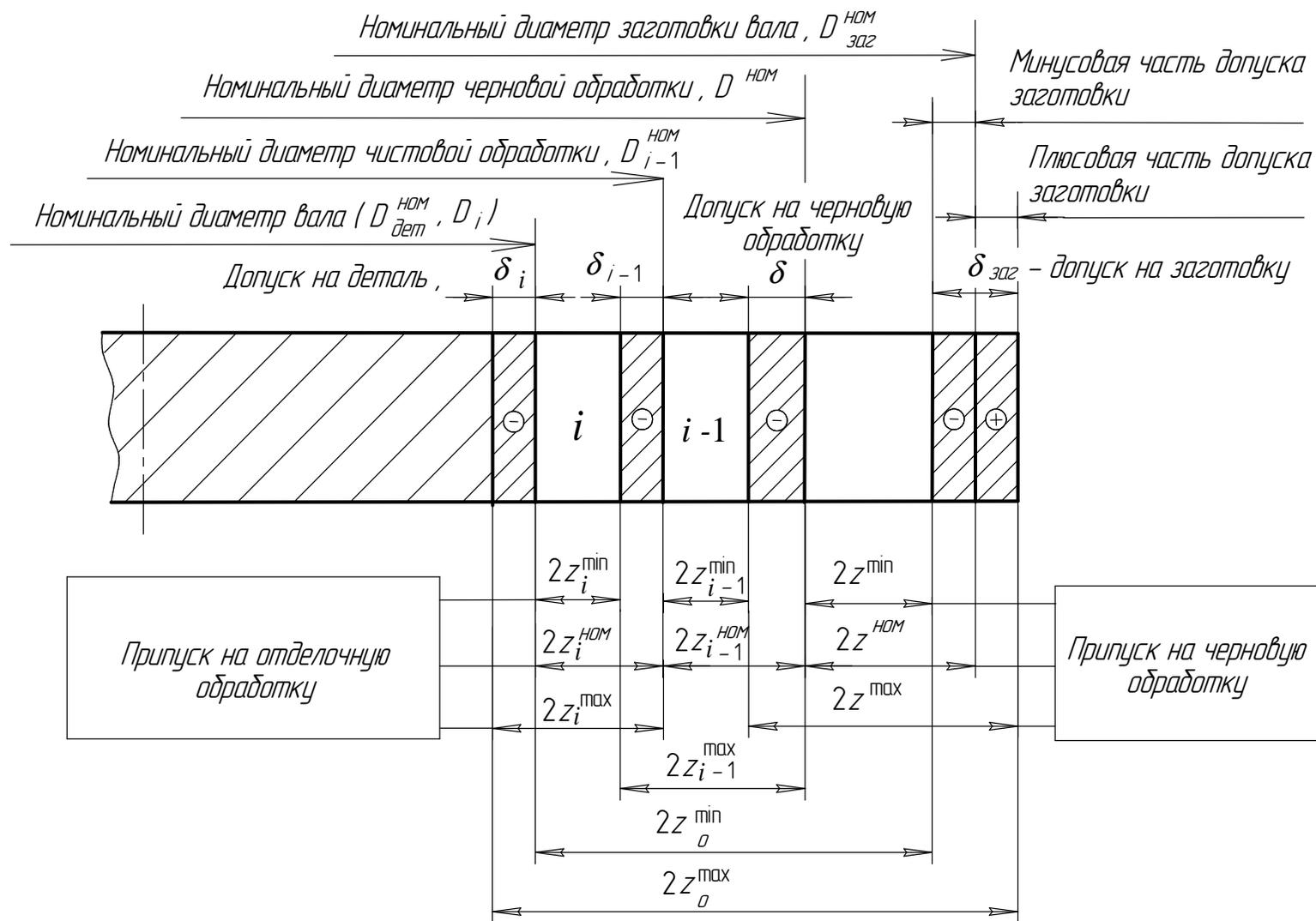


Рис. 7.3. Схема расположения припусков и допусков при обработке наружной цилиндрической поверхности вала

Представленные схемы позволяют вывести следующие формулы расчета операционных размеров и предельных значений припусков на операциях с учетом заданных размеров детали и точности обработки:

при наружной обработке валов:

$$D_{i-1}^{НОМ} = D_i^{НОМ} + \Delta_{i-1} + 2Z_{i\ m}^n, \quad (7.5)$$

$$2Z_i^{НОМ} = 2Z_{i\ m}^n + \delta_{i-1}, \quad (7.6)$$

$$2Z_i^m = 2Z_{i\ m}^n + \delta_{i-1} + \delta_i; \quad (7.7)$$

при внутренней обработке отверстий:

$$D_{i-1}^{НОМ} = D_i^{НОМ} - \delta_{i-1} - 2Z_{i\ m}^n, \quad (7.8)$$

$$2Z_i^{НОМ} = 2Z_{i\ m}^n + \delta_{i-1}, \quad (7.9)$$

$$2Z_i^m = 2Z_{i\ m}^n + \delta_{i-1} + \delta_i, \quad (7.10)$$

где δ — допуск на размер².

При использовании представленных схем (см. рисунки 7.3 и 7.4) для расчета припусков и при непосредственном расчете составляющих общего припуска на обработку поверхности следует учитывать конкретные особенности функционального назначения поверхностей изготавливаемой детали и специфику технологии отдельных переходов (операций), отражающихся на результирующих формулах расчета припусков.

Например, у отливок из серого чугуна поверхностный слой состоит из перлитной корки (механическая смесь феррита и цементита), наружная зона которого нередко имеет следы формовочного песка. Этот слой должен быть полностью удален на первом переходе для нормальной работы инструмента на чистовых операциях.

Но вот распределительные валы автомобильных двигателей и некоторые другие детали отливают с отбеленным (меньше углерода

² В данной работе и в соответствующих приложениях принято обозначать допуск на размер символом δ , а не общепринятым символом T . Символ T используется в данной работе и в технической литературе для обозначения глубины дефектного слоя поверхности заготовки.

в виде графита и больше в связанном состоянии в виде цементита Fe_3C) поверхностным слоем. При дальнейшей обработке этот слой желательно сохранить для повышения износостойкости деталей.

У стальных поковок и штампованных заготовок поверхностный слой характеризуется обезуглероженной зоной, которая должна быть полностью удалена, так как она снижает предел выносливости детали.

Наконец, после поверхностной закалки поверхностный слой заготовки желательно сохранить в максимально возможной степени.

При односторонней обработке (см. рис. 7.2) векторы ρ_{i-1} и ε_i коллинеарны (параллельны). Поэтому при несимметричной обработке плоскостей формула для расчета операционного припуска имеет вид

$$Z_{i \min} = Rz_{i-1} + T_{i-1} + \rho_{i-1} + \varepsilon_i. \quad (7.12)$$

При обработке наружных и внутренних тел вращения векторы ρ_{i-1} и ε_i могут принимать любое направление (любое угловое положение), предвидеть которое заранее не представляется возможным. Поэтому их сумма определится как

$$(\bar{\rho}_{i-1} + \bar{\varepsilon}_i) = \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}. \quad (7.13)$$

Для тел вращения формула расчета двухстороннего припуска принимает вид

$$2Z_{i \min} = 2(Rz_{i-1} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}). \quad (7.14)$$

Из общей формулы расчета (7.4) могут быть получены частные формулы для конкретных случаев обработки.

1. При обтачивании цилиндрической поверхности заготовки, установленной в центрах, погрешность установки ε_i может быть принята равной нулю. Поэтому

$$2Z_{i \min} = 2(Rz_{i-1} + T_{i-1} + \rho_{i-1}). \quad (7.15)$$

2. При шлифовании заготовок после термообработки поверхностный слой необходимо по возможности сохранить. Следовательно, слагаемое T_{i-1} из расчетных формул (7.12) и (7.14) нужно исключить.

$$Z_{i \min} = Rz_{i-1} + \rho_{i-1} + \varepsilon_i; \quad (7.16)$$

$$2Z_{i \min} = 2(Rz_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}). \quad (7.17)$$

3. При развертывании плавающей разверткой и протягивании отверстия смещение и увод оси не устраняются, а погрешности установки в этом случае нет. В связи с этим формула расчета припуска принимает следующий вид:

$$2Z_{i \text{ min}} = 2(Rz_{i-1} + T_{i-1}). \quad (7.18)$$

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

$$2Z_{i \text{ min}} = 2Rz_{i-1}. \quad (7.19)$$

Определение точности обработки, шероховатости и величины дефектного слоя поверхности

Квалитеты точности размеров, значения показателей шероховатости поверхностей Rz и величины дефектного слоя T для основных видов заготовок, различных методов механической обработки заготовок из проката, штамповок и отливок, а также для наиболее распространенных видов обработки наружных поверхностей, отверстий и сложных поверхностей представлены в таблицах П2.1, П2.2, П3.1 – П3.7.

Пространственные отклонения и методика их определения

К *пространственным отклонениям* обрабатываемой поверхности заготовки относят такие отклонения относительно ее базовых поверхностей как отклонение от соосности растачиваемого отверстия заготовок типа *штулка, диск, гильза* относительно наружной поверхности; отклонение от соосности обтачиваемых ступеней валов базовым шейкам или линии центровых гнезд заготовок; отклонение от перпендикулярности торцовой поверхности заготовки оси ее базовой цилиндрической поверхности; отклонение от параллельности обрабатываемой и базовой поверхностей заготовок корпусных деталей и др.

В таблице 7.1 даны расчетные формулы для определения суммарного значения отклонений от правильной геометрической формы различного вида поверхностей и их взаимного расположения с учетом метода базирования заготовок при их обработке на первой операции.

Для наглядного представления вида пространственного отклонения и его составляющих таблица иллюстрируется эскизами. В ней использованы следующие условные обозначения:

$\rho_{кор}$ — пространственное отклонение поверхности, вызываемое короблением заготовки при ее изготовлении;

$\rho_{см}$ — пространственное отклонение поверхности, возникающее при изготовлении заготовки в связи со смещением одних ее поверхностей относительно других;

$\rho_{ц}$ — смещение осей центровых отверстий относительно наружных базовых поверхностей, возникающее при зацентровке заготовки в связи с погрешностью ее базирования;

$\rho_{эксц}$ — пространственное отклонение, определяемое эксцентриситетом наружной и внутренней поверхностей заготовки;

Δ_k — удельная кривизна заготовки, приходящаяся на единицу длины обрабатываемой поверхности;

C_0 — смещение оси отверстия при сверлении от ее наладочного положения;

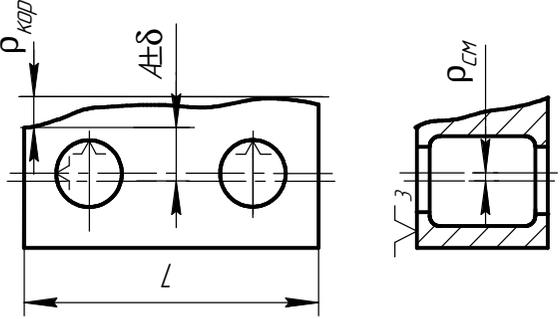
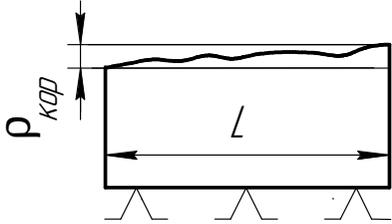
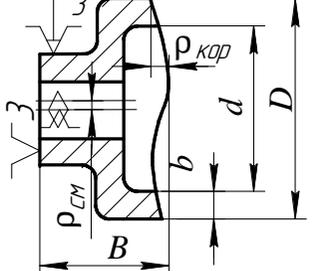
Δ_y — относительный увод оси отверстия, приходящийся на единицу его длины.

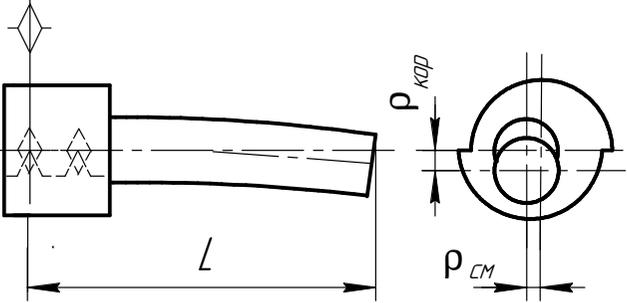
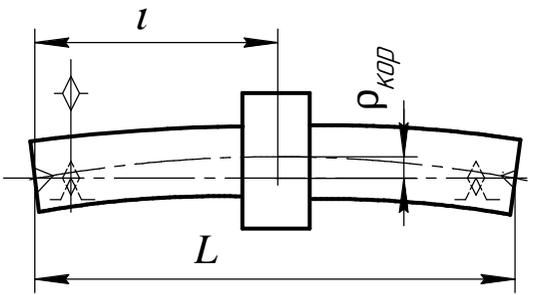
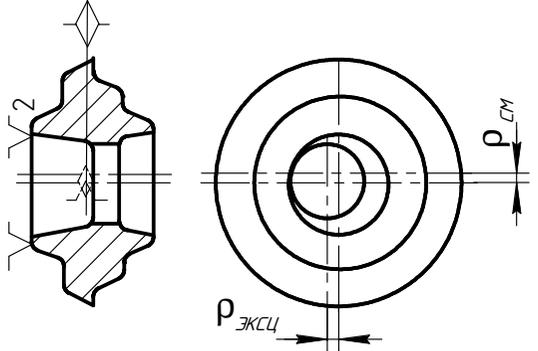
Для литых заготовок при обработке плоской поверхности корпусной детали с отверстиями, оси которых параллельны обрабатываемой поверхности, существенное значение приобретает способ базирования заготовки на первой операции.

Если заготовка базируется на отверстия и перпендикулярную к ним поверхность (табл. 7.1, № 1), суммарное пространственное отклонение складывается из величины коробления обрабатываемой

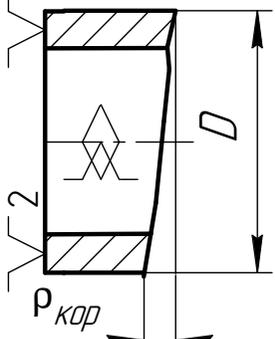
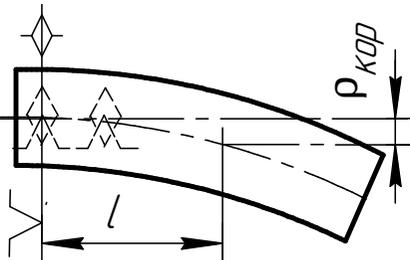
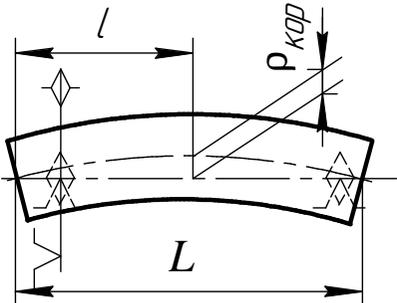
Таблица 7.1

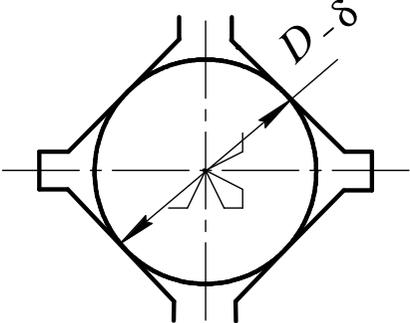
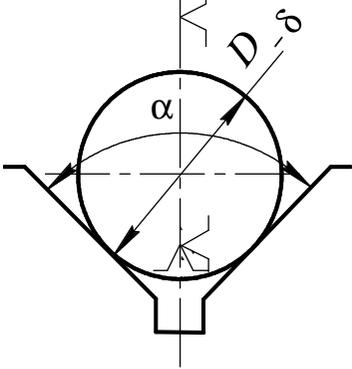
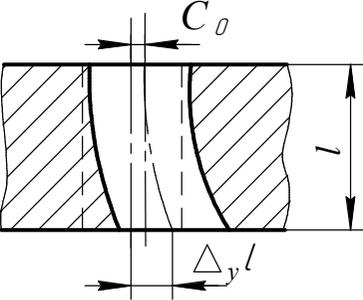
**Суммарное значение пространственных отклонений для различных видов заготовок
и технологических методов обработки резанием [2]**

№	Тип детали и метод базирования	Эскиз	Расчетные формулы
1	<p>Корпусные детали. Базирование по отверстиям с параллельными осями и перпендикулярной к ним плоскости.</p>		$\rho = \sqrt{\rho_{см}^2 + \rho_{кор}^2},$ $\rho = \rho_{см} + \rho_{кор},$ $\rho_{см} = \delta,$ $\rho_{кор} = \Delta_k L.$
2	<p>Корпусные детали. Базирование по плоскости, противоположной обрабатываемой.</p>		$\rho = \rho_{кор},$ $\rho_{кор} = \Delta_k L$
3	<p>Детали — тела вращения. Метод базирования: по наружному диаметру в самоцентрирующем патроне с прижимом к торцовой поверхности.</p>		$\rho_D = \rho_{кор} = \Delta_k D,$ $\rho_d = \sqrt{\rho_{см}^2 + \rho_{кор}^2},$ $\rho_{см} = \delta_B,$ $\rho_B = \Delta_k B.$

№	Тип детали и метод базирования	Эскиз	Расчетные формулы
4	<p>Стержневые детали (валы ступенчатые, рычаги и др.).</p> <p>Метод базирования: по крайней ступени (поверхности).</p>		$\rho = \sqrt{\rho_{см}^2 + \rho_{кор}^2},$ $\rho_{кор} = \Delta_k L.$
5	<p>Стержневые детали при обработке в центрах.</p>		$\rho = \sqrt{\rho_{см}^2 + \rho_{ц}^2 + \rho_{кор}^2},$ $\rho_{кор} = \Delta_k l$ <p>при $l \leq L/2$.</p>
6	<p>Детали типа диск с прошитым центральным отверстием (шестерни, диски и др.).</p> <p>Базирование по наружному диаметру и торцу.</p>		$\rho = \sqrt{\rho_{см}^2 + \rho_{эксц}^2}$

Продолжение табл. 7.1

№	Тип детали и метод базирования	Эскиз	Расчетные формулы
7	<p>Детали типа <i>диск</i> с прошитым центральным отверстием (шестерни, диски и др.) при обработке торцовых поверхностей.</p> <p>Базирование по наружному диаметру и торцу.</p>		$\rho = \rho_{kop},$ $\rho_{kop} = \Delta_k D.$
8	<p>Обработка заготовки при консольном закреплении в самоцентрирующем патроне.</p>		$\rho_{kop} = \Delta_k l$
9	<p>Обработка заготовки в центрах.</p>		$\rho = \sqrt{\rho_{kop}^2 + \rho_u^2},$ $\rho_{kop} = \Delta_k l$ <p>при $l \leq L/2$.</p>

№	Тип детали и метод базирования	Эскиз	Расчетные формулы
10	Установка заготовки в самоцентрирующих зажимных устройствах.		$\rho_{ц} = 0,25 \text{ мм}$
11	Установка заготовки на призмах с односторонним прижимом.		$\rho_{ц} = \sqrt{\delta^2/2 + 0,25^2}$ <p>(при $\alpha = 90^0$);</p> $\rho_{ц} = \sqrt{\delta^2/3 + 0,25^2}$ <p>(при $\alpha = 120^0$).</p>
12	Детали всех типов. Сверление отверстия в неподвижной заготовке.		$\rho = \sqrt{C_0^2 + (\Delta_y l)^2}$

поверхности и погрешности расположения базовых отверстий относительно той же обрабатываемой поверхности, то есть смещения этих отверстий относительно наружной поверхности отливки.

Смещение в данном случае обусловлено неточностью расположения стержня к наружной поверхности и регламентируется допуском на размер от обрабатываемой поверхности до оси базовых отверстий ($A \pm \delta$). На эскизе в таблице 7.1, № 1 векторы коробления и смещения базовых отверстий по отношению к направлению выдерживаемого размера параллельны, и для определения суммарного пространственного отклонения можно принять алгебраическую сумму составляющих $\rho_{кор}$ и $\rho_{см}$. Однако вероятность этого случая мала, поэтому для получения значений с большей вероятностью, учитывая нормальный закон распределения действительных размеров, можно производить геометрическое сложение векторных составляющих $\rho_{кор}$ и $\rho_{см}$.

При установке деталей на плоскость, противоположащую и параллельную обрабатываемой (таблица 7.1, № 2), суммарное значение пространственных отклонений обрабатываемой поверхности выражается величиной ее коробления. Общую величину коробления поверхности отливки определяют как произведение удельной кривизны на наибольший размер обрабатываемой поверхности в направлении обработки.

Для литых деталей типа тел вращения при обработке участков наружной поверхности и базировании заготовки по наружной поверхности (таблица 7.1, № 3) пространственное отклонение – овальность – выражается произведением удельной кривизны на соответствующий диаметр отливки.

Если базирование при обработке наружной поверхности осуществляется по внутреннему диаметру, для суммарного значения пространственного отклонения следует, так же как и для коробчатых деталей, учитывать смещение стержня отливки относительно наружной поверхности. Смещение можно принимать равным допуску на толщину стенки отливки. Так как направления векторов коробления и

смещения неопределенны, производится геометрическое сложение векторов. Удельная кривизна заготовок (коробления) приведена в таблице П4.1.

При обработке торцовых поверхностей отливок — тел вращения (таблица 7.1, № 3) пространственное отклонение обрабатываемой поверхности выражается в виде коробления и определяется как произведение удельной кривизны на диаметр обрабатываемой поверхности.

Для штампованных заготовок (при обработке цилиндрических поверхностей деталей типа ступенчатых валов и консольном их закреплении по крайней ступени) (таблица 7.1, № 4) суммарное значение пространственных отклонений выражается в виде коробления детали и смещения одних участков поверхности относительно других. Это смещение обусловлено несовпадением верхней и нижней частей штампа при штамповке заготовок поперек оси, а также несовпадением полуматриц в горизонтально-ковочных машинах и, наконец, смещением штампуемой части заготовки относительно стержня исходного материала. В таблице П4.1 приводятся данные по общей или наибольшей кривизне штампованных заготовок, которую следует принимать в расчет при консольном закреплении заготовок.

При обработке штампованных заготовок в центрах (таблица 7.1, № 5) для расчетов кривизны или стрелы прогиба в обрабатываемом сечении следует брать произведение удельной кривизны после правки или термообработки на расстояние от обрабатываемого сечения до ближайшей опоры. В этом случае следует, кроме выше приведенных факторов, учитывать радиальное биение обрабатываемой поверхности в результате погрешности зацентровки. Способы определения погрешности зацентровки приводятся в таблице 7.1, № 10, 11.

Так как векторы всех перечисленных погрешностей имеют неопределенное положение в пространстве относительно оси обрабатываемой детали, следует определять их геометрическую сумму.

Для заготовок типа «диск» с прошиваемыми при штамповке центральными отверстиями (зубчатые колеса, фланцы и т. п.) (таблица 7.1, № 6) суммарное значение пространственных отклонений (при

базировании детали на первой операции по наружному диаметру) складывается из смещения частей штампов, формирующих заготовку по обе стороны разъема, и эксцентричности (несоосности) прошиваемого центрального отверстия по отношению к наружному контуру заготовки. Допуски на смещение и эксцентричность (отклонение от соосности) приводятся в ГОСТ 7505–74. Из-за неопределенного положения векторов погрешностей суммарное пространственное отклонение определяется геометрическим сложением.

При обработке торцовых поверхностей штампованных заготовок (таблица 7.1, № 7) в качестве пространственных отклонений учитывают коробление обрабатываемой поверхности. Оно определяется, как и для литых заготовок, произведением значения удельной кривизны (см. таблица П4.1 для штампованных заготовок после правки) на диаметр обрабатываемой поверхности.

Для заготовок из сортового проката определение суммарного значения пространственных отклонений производится аналогично штампованным заготовкам валов в зависимости от способа базирования. При консольном закреплении (таблица 7.1, № 8) в расчет принимается только кривизна в обрабатываемом сечении, а при обработке в центрах (таблица 7.1, № 9) в векторную сумму включается погрешность зацентровки. Кривизна в обрабатываемом сечении определяется на основании удельной кривизны (см. таблицу П4.1) с учетом правки или термической обработки в соответствии с состоянием заготовки.

Погрешность зацентровки заготовок из сортового проката, а также штампованных стержневых заготовок возникает вследствие погрешности базирования на этой операции и приводит к радиальному биению наружной поверхности заготовки относительно оси центральных отверстий.

При использовании на операции зацентровки для закрепления заготовок самоцентрирующих зажимных устройств (таблица 7.1, № 10) допуск на наружный диаметр не оказывает влияния на погрешность зацентровки, которая в этом случае определяется погрешностью

настройки центрального станка (0,25 мм). При установке деталей на призму с односторонним прижимом (таблица 7.1, № 11) погрешность зацентровки, кроме того, зависит от допуска на наружный диаметр заготовки и угла призмы. Для определения суммарного значения погрешности зацентровки следует брать геометрическую сумму указанных составляющих.

Обработка отверстий в неподвижной детали сверлением (таблица 7.1, № 12) характеризуется в отношении пространственных отклонений смещением отверстия и уводом (искривлением) его оси вследствие значительной радиальной податливости сверл. Суммарное пространственное отклонение равно векторной сумме составляющих, приведенных в таблице П4.2.

Остаточные пространственные отклонения на обработанных поверхностях, имевших исходные отклонения, являются следствием копирования погрешностей при обработке. Значения этих отклонений зависят как от режимных условий обработки, так и от параметров, характеризующих жесткость технологической системы и механические свойства обрабатываемого материала.

При расчете промежуточных значений припусков на механическую обработку можно с достаточной для практических целей точностью воспользоваться приведенной ниже эмпирической формулой

$$\rho_{ост} = k_y \rho_{заг}, \quad (7.20)$$

где k_y — коэффициент уточнения формы.

Значения коэффициента уточнения для различных видов заготовок и методов обработки можно принять следующими:

– однократное и черновое точение штампованных заготовок, заготовок из горячекатаного проката, предварительное шлифование проката 10–11 квалитетов точности — 0,06;

– получистовая обработка заготовок из проката, штампованных заготовок, рассверливание отверстий, смещение оси отверстия после черновой обработки — 0,05;

– чистовое точение заготовок из сортового проката обыкновенного

качества, штампованных заготовок, после первого технологического перехода обработки литых заготовок, после чистового шлифования проката 10–11 квалитетов точности — 0,04;

– двукратное обтачивание калиброванного проката или двукратное шлифование заготовок после токарной обработки — 0,02;

– получистовая обработка отверстия (зенкерование и черновое развертывание) — 0,005;

– чистовая обработка отверстия развертыванием — 0,002.

При обработке торцовых поверхностей штампованных заготовок с центральным отверстием остаточное пространственное отклонение (коробление) можно определять по далее приведенным формулам:

после черновой обработки

$$\rho_{ост} = 1,2[0,06 \rho_{кор} + 0,15(R - r)], \quad (7.21)$$

после получистовой обработки

$$\rho_{ост} = 1,1[0,003 \rho_{кор} + 0,1(R - r)], \quad (7.22)$$

после чистовой обработки

$$\rho_{ост} = 0,003 \rho_{кор} + 0,1(R - r), \quad (7.23)$$

где R и r — радиусы соответственно наружной поверхности и отверстия.

Методика определения погрешности установки

При обработке партии заготовок станок предварительно настраивают. Одной из операций наладки является установка на станок приспособления и ориентация его базовых поверхностей, контактирующих с заготовками таким образом, чтобы эти поверхности занимали относительно базовых поверхностей станка при обработке каждой из заготовок одно и то же положение. Однако вследствие погрешности выполнения базовой поверхности заготовок, неточности изготовления и износа опорных поверхностей приспособления, нестабильности усилия закрепления положения заготовок в приспособлении будут различаться. Погрешность обработки, возникающую по указанным причинам, называют погрешностью установки ε .

Нестабильность положения обрабатываемой поверхности на каждом из переходов i технологического маршрута должна быть компенсирована дополнительной составляющей промежуточного припуска ε_i , включающей погрешности базирования, закрепления и положения. Так как указанные погрешности являются случайными величинами, то все составляющие суммируются в общем случае по правилу геометрического сложения:

$$\varepsilon = \sqrt{\varepsilon_{\delta}^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{np}^2}, \quad (7.24)$$

где ε_{δ} — погрешность базирования; ε_3 — погрешность закрепления заготовки; ε_{np} — погрешность положения заготовки в приспособлении.

Погрешность базирования ε_{δ} имеет место при несовмещении конструкторской (измерительной) и технологической баз и зависит также от допуска и погрешности формы базовых поверхностей. Основы расчета погрешности базирования приведены в работе 5 «Расчет технологических размерных цепей».

Погрешность закрепления ε_3 возникает в результате смещения обрабатываемых поверхностей заготовок от действия зажимной силы. Это смещение, если оно и велико, но постоянно по величине, может быть учтено настройкой станка. В некоторых случаях, особенно когда применяются пневматические, гидравлические и электромеханические зажимные устройства, обеспечивающие постоянство усилий зажима, погрешность закрепления можно исключить из расчетов.

Погрешность положения заготовки ε_{np} является следствием неточности изготовления станочного приспособления и износа его установочных элементов, а также погрешности установки самого приспособления на станке. Сюда относят также погрешность индексации — поворота зажимных устройств при обработке заготовок на многопозиционных станках, которая в большинстве случаев, принимается равной 0,05 мм. За исключением последней составляющей часто затруднительно выявить отдельные значения других указанных элементов погрешности положения, поэтому их учитывают входящими

в погрешность закрепления. Таким образом для однопозиционной обработки формула для расчета ε примет вид:

$$\varepsilon = \sqrt{\varepsilon_{\delta}^2 + \varepsilon_3^2}. \quad (7.25)$$

Если векторы ε_{δ} и ε_3 коллинеарны, как это имеет место при обработке плоских поверхностей, параллельных установочной базе, погрешность установки определяют как их сумму: $\varepsilon = \varepsilon_{\delta} + \varepsilon_3$.

Значения погрешностей закрепления для различных видов обработки в зависимости от обрабатываемого материала и технологической оснастки приведены в таблицах П5.1–П5.4.

Определение значений допусков на размеры заготовки производится по соответствующим для каждого метода ГОСТам, выборочные данные из которых приведены в таблицах П2.1, П2.2, П6.1 – П6.4.

Для первого технологического перехода при черновой обработке заготовок всех видов и при выдерживании размера от черновой базы допуск следует принимать не табличный, а определять по формуле

$$\delta = (\delta_{заг} + \delta_{обр}) / 2,$$

где $\delta_{заг}$ — допуск на размер заготовки; $\delta_{обр}$ — допуск по качеству, указанному в таблицах П2.2, П3.3 – П3.7 для соответствующего метода обработки.

Содержание работы

Работа включает: изучение теоретических основ назначения припуска на обработку заготовки расчетно-аналитическим методом, разработку технологического маршрута обработки поверхности, расчет припуска на обработку заданной преподавателем поверхности определенных требований, подготовку отчета.

Последовательность расчета припусков на обработку

1. По заданному преподавателем чертежу детали установите вид заготовки и метод ее получения.

2. Разработайте технологический маршрут обработки заданной поверхности заготовки, на которую будут рассчитываться припуски, и представьте его в виде технологических операций и переходов (табл. 7.2).

Таблица 7.2

**Структура технологической операции
изготовления детали и используемая оснастка**

Технологическая операция		Технологический переход		Технологическая оснастка	
Но-мер	Наименование	Номер	Содержание	Оборудование	При-способле-ние

Нарисуйте для выделенных технологических переходов технологические эскизы обработки поверхности (см. работу 1) и согласуйте их с преподавателем.

3. Для каждого из технологических переходов установите *расчетную длину заготовки*, на основе которой будут определяться пространственные отклонения обрабатываемой поверхности. Расчетная длина заготовки зависит от метода закрепления заготовки и определяется в соответствии с рекомендациями, приведенными в таблице 7.3.

Таблица 7.3

Расчетная длина заготовки

Метод установки заготовок при обработке	Обрабатываемые валы		
	Гладкие	Ступенчатые	
		Для средних участков вала	Для крайних участков вала
В центрах или патроне с поддержкой задним центром	Полная длина вала	Полная длина вала	Длина, равная удвоенному расстоянию от торца вала до наиболее удаленного конца обработанного участка

Метод установки заготовок при обработке	Обрабатываемые валы	
	Гладкие	Ступенчатые
		Для средних участков вала
В патроне без поддержки задним центром	Удвоенная длина на выступающей из патрона части заготовки	Длина, равная удвоенному расстоянию от наиболее удаленного торца обработанного участка до кулачков патрона

В соответствии с рекомендациями таблицы 7.3 расчетная длина для вала (рис. 7.5, а) принимается равной 400 мм, а для вала, представленного на рисунке 7.5, б, — 200 мм.

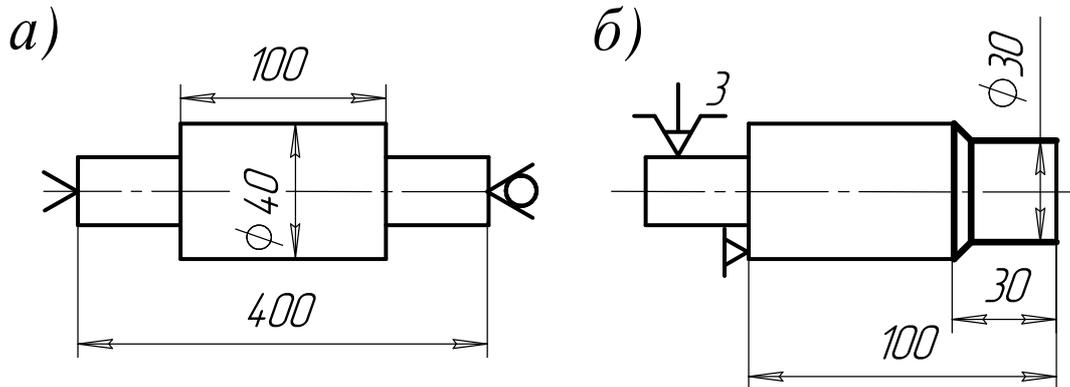


Рис. 7.5. Схемы для определения расчетной длины вала

Расчетная длина, по которой устанавливается номинальный операционный припуск, не рассчитывается на детали с очень сложной конфигурацией, а также на детали, сильно деформирующиеся после термообработки.

4. Подготовьте таблицу по форме таблицы 7.4 и занесите в колонку 1 названия технологических переходов в порядке последовательности их выполнения от получения заготовки до окончательной обработки (получения детали).

6. Запишите в последнюю строку таблицы 7.4 данные по параметрам искомой поверхности детали, которые должны быть достигнуты на последнем технологическом переходе: Rz , δ , $D(L)_{\min}$, $D(L)_{\max}$, а также значения T и ρ , если они указаны на чертеже в виде требований

к поверхности и ее взаимному расположению относительно других поверхностей.

Таблица 7.4

Расчет припусков и предельных размеров по технологическим переходам на обработку поверхности заготовки

Названия технологических переходов обработки поверхности	Элементы припуска, мкм				Расчетный припуск, $2Z_{\min}$ (Z_{\min}), мм	Расчетный размер $D_{расч}^{ном}$ мм	Принимаемый операционный размер, D мм	Допуск, δ , мм	Предельные размеры, мм		Предельные значения припусков, мм	
	Rz	T	ρ	ϵ					D_{\min}	D_{\max}	$2Z_{\min}$	$2Z_{\max}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Заготовка												
Последний переход (деталь)												
ИТОГО:												

Примечания. 1. Таблица дана применительно к обработке детали формы тела вращения размером D . 2. При расчете припуска на поверхность с линейным размером в таблице вместо индекса размера D ставится индекс L . 3. При расчете одностороннего припуска в таблицу вводится значение Z_{\min} .

7. Для каждого из технологических переходов по таблицам П2.2, П3.1 – П3.7 последовательно установите значения Rz и T и запишите их в столбцах 2 и 3 таблицы 7.4.

8. Определите остаточные пространственные отклонения ρ для каждого из технологических переходов с учетом расчетной длины заготовки, используя формулы (7.20) – (7.23), занесите $\rho_{ост}$ в соответствующие ячейки столбца 4 таблицы 7.4. Сопоставьте полученное расчетом значение пространственного отклонения формы и расположения поверхности детали с пространственным отклонением, указанным в

строке «Последний переход». При превышении расчетного ρ относительно заданного чертежом значения введите в технологический маршрут обработки поверхности дополнительный технологический переход (по согласованию с преподавателем).

При получении расчетного значения остаточных пространственных отклонений менее 1 мкм в ячейке можно проставлять прочерк, соответствующий примерно нулевому значению.

9. Установите значения погрешностей установки ϵ для всех технологических переходов и операций, используя формулы (7.24) и (7.25), в следующей последовательности.

9.1. Найдите на технологическом эскизе перехода измерительную и технологическую базы для выполняемого размера. При их несовпадении возникает необходимость определения погрешности базирования и составления размерной технологической цепи. В соответствии с методикой, представленной в работе 5, составьте размерную цепь и определите погрешность базирования ϵ_b .

9.2. Определите погрешность закрепления заготовки по таблицам П5.1 – П5.4, используя данные о приспособлении, применяемом для закрепления заготовки, и особенностях базирования и закрепления заготовки.

9.3. Рассчитайте суммарную погрешность установки ϵ , приняв погрешность приспособления, равной нулю. Занесите полученные для каждого технологического перехода данные по значениям ϵ в ячейки столбца 5 таблицы 7.4.

10. Нарисуйте схемы расположения промежуточных и окончательных припусков применительно к разработанному варианту технологического маршрута обработки поверхности заготовки, используя типовые схемы рисунков 7.3 и 7.4.

11. Рассчитайте по формулам (7.4) – (7.19) с учетом конкретных условий базирования и закрепления заготовки, представленных дополнительными формулами и пояснениями в тексте, значения $2Z_{\min}$ (Z_{\min}) для каждого технологического перехода и заполните, за исключением строки «Заготовка», ячейки столбца 6 таблицы 7.4.

12. Определите по чертежу расчетный размер поверхности детали $D(L)_{расч}^{ном}$ и занесите его в соответствующую ячейку столбца 7 строки «деталь».

13. Рассчитайте значение расчетного размера заготовки $D_{i-1}^{ном}$ на предыдущем технологическом переходе, используя формулы (7.5) или (7.8), и занесите его в соответствующую ячейку колонки 7. Приведите путем округления значение расчетного размера в соответствие с достижимой на данном переходе точностью в сторону увеличения припуска и занесите полученное значение в колонку 8 этой же строки (перехода).

В соответствии с достижимой на заданном переходе точностью обработки по таблицам ПЗ.3 – ПЗ.7 и, используя данные из ГОСТ 25346–89, определите допуск на обработку δ и запишите его в ячейку колонки 9 этой же строки.

Рассчитайте предельные значения получаемого на данном технологическом переходе размера, используя разработанные Вами схемы расположения припусков по примерам рисунков 7.3 и 7.4, а затем, используя формулы (7.6, 7.7, 7.9, 7.10), определите $2Z_{ном}$ и $2Z_{max}$. Заполните по полученным значениям припусков колонки 12 и 13 по расчетному технологическому переходу таблицы 7.4.

14. По указанной в п. 13 методике рассчитайте значения величин, указанных в вышележащих строках – переходах таблицы 7.4, и занесите их в соответствующие ячейки таблицы.

15. Определите значение расчетного размера для строки «Заготовка», запишите его в данной строке в ячейку колонки 7.

Округлите расчетное значение номинального размера заготовки в сторону увеличения припуска с точностью до 0,5 мм и запишите округленное значение в ячейку 8 строки «Заготовка».

16. Установите допуск и отклонения на расчетный размер заготовки по таблицам П2.1, П2.2, П6.1 – П6.4.

Определение допусков на литые заготовки имеют некоторые особенности, очерченные в ГОСТ 26645–85 «Отливки из металлов и сплавов. Допуски размеров, массы и припуски на механическую

обработку». Стандарт предусматривает 22 класса (1–16) размерной точности (точности размеров) отливок. Классы точности отливок, получаемых в разовых песчаных формах при высокой степени уплотнения, приведены в таблице Пб.2. Другие способы литья, например, литье в металлические формы, обеспечивают иные классы точности (см. ГОСТ 26645–85).

По классу размерной точности можно найти предельные отклонения размеров через допуск размера отливки по таблице Пб.3. В таблицу в отличие от стандарта не включены как неиспользуемые в учебных заданиях классы точности 1–5, 15, 16 и размеры более 4000 мм.

Допуск размера относится к линейным размерам как изменяемым механической обработкой, так и не изменяемым. В последнем случае это будет допуск размера детали.

Допуски элементов отливки, образованной двумя полуформами или полуформой и стержнем, соответствуют заданному классу точности. Если элементы расположены в одной части формы, то допуски назначают на 1–2 класса точнее, а для элементов, образованных тремя и более частями формы, — на 1–2 класса грубее.

Предельные отклонения размеров отливки устанавливают симметричными и несимметричными, при этом предпочтительно следующее расположение полей допусков:

– несимметричное одностороннее («в тело») — для размеров элементов (кроме толщины стенок), расположенных в одной части формы и не подвергаемых механической обработке, при этом для охватывающих элементов (отверстие) поле допуска располагается «в плюс» (+ δ), а для охватываемых (вал) — «в минус» (– δ);

– симметричное ($\pm\delta/2$) — для размеров всех остальных элементов отливки как подвергаемых, так и не подвергаемых механической обработке.

ГОСТ 26645–85 устанавливает дополнительные допуски формы и расположения поверхности и допуски неровности поверхности в зависимости от степени коробления отливок, степени точности поверхностей и их взаимного расположения. При ненормируемых перечисленных показателях общий допуск элемента отливки $\delta_{общ}$ следует

принять на 25 % больше допуска размера, определяемого по классу размерной точности (см. табл. П6.3).

После определения общего допуска элемента отливки $\delta_{общ}$ можно найти, используя полученное значение, односторонний нормированный ГОСТ 26645–85 припуск на механическую обработку Z . ГОСТ содержит в табличной форме нормированные значения припусков для 16 рядов в диапазоне общих допусков $\delta_{общ}$ от 0,2 до 80 мм.

Литью в разовые песчаные формы соответствуют ряды припусков от 5-го до 13-го в зависимости от габаритных размеров отливки и ее сплава (см. табл. П6.2). При выполнении работы можно определить нормированные припуски по номограмме (рис. 7.6), которая дает менее точные значения, но упрощает процесс назначения припуска. Припуски для недостающих рядов (5, 7, 9, 11) определяют по номограмме путем экстраполяции. Номограмма составлена для чистовой обработки, но стандарт содержит припуски для черновой, получистовой, чистовой и окончательной обработки.

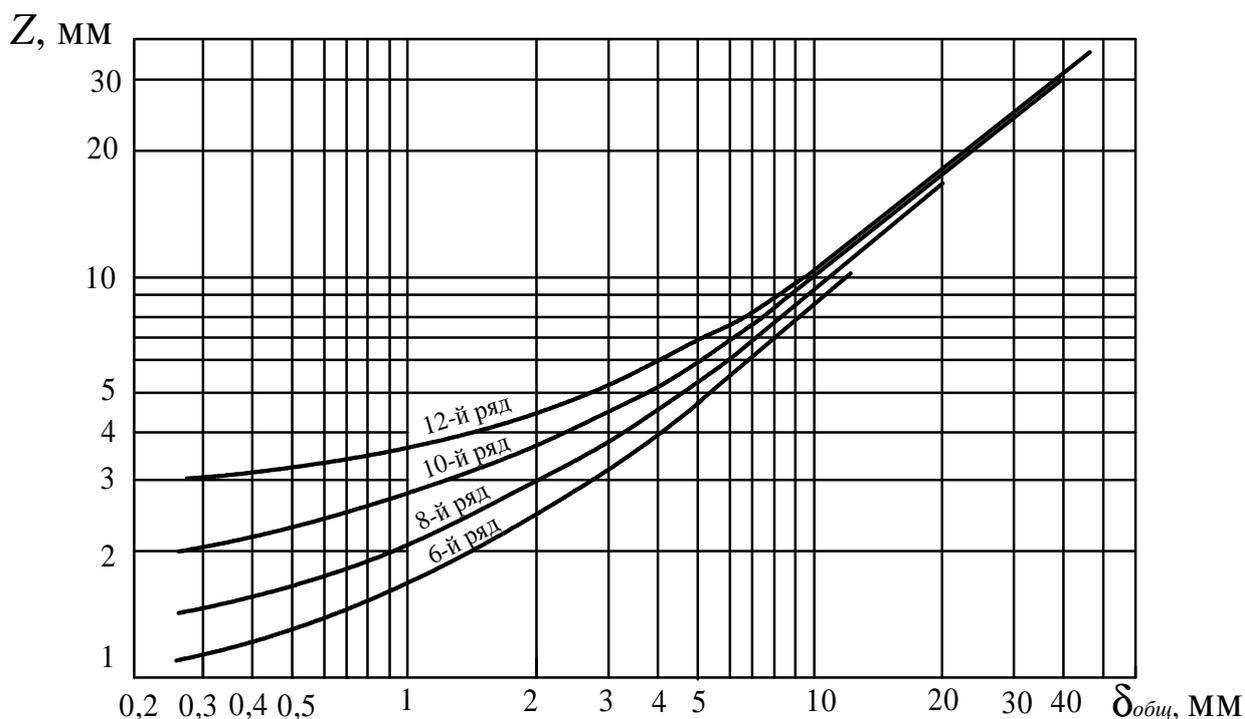


Рис. 7.6. Зависимость одностороннего припуска на механическую обработку Z от общего допуска размера отливки $\delta_{общ}$

Размер отливки $L_{отл}$ устанавливают больше (+ Z) или меньше ($- Z$) размера детали $L_{дет}$ в зависимости от расположения припусков соответственно при обработке наружных поверхностей заготовки или отверстий

$$L_{отл} = (L_{дет} \pm Z_1 \pm Z_2) \pm \delta/2,$$

где Z_1 и Z_2 — припуск на механическую обработку с одной и с другой стороны, δ — допуск размерной точности отливки (расположение допуска может быть и несимметричным).

17. Откорректируйте в связи с округлением номинального размера заготовки значения минимального и максимального припусков на обработку для первого, черного технологического перехода, используя формулы (7.1) или (7.2) и запишите эти значения в колонки 12 и 13 таблицы 7.4 для данного перехода.

18. Определите максимальное Z_0^{\max} и минимальное Z_0^{\min} значения общего припуска на обработку заготовки, используя общую формулу (7.3), рис. 7.3 и 7.4 и следующие формулы:

$$2Z_0^{\max} = \sum_{i=1}^n Z_{i \min} + \delta_{дет} + \delta_{заг}^{\text{плюсовая часть}},$$

$$2Z_0^{\min} = \sum_{i=1}^n Z_{i \min} - \delta_{заг}^{\text{минусовая часть}}.$$

19. Оформите окончательно рассчитанные значения номинального размера заготовки и номинальных операционных размеров с указанием допусков и отклонений в виде итоговой записи вне таблицы 7.5.

20. Сопоставьте полученные расчетно-аналитическим методом значения общего припуска на обработку поверхности с табличным его значением, определенным по таблицам Пб.1 – Пб.5 и рисунку 7.6 для литых и штампованных заготовок, и сделайте выводы по их соотношениям.

Содержание отчета

1. Наименование работы.
2. Содержание индивидуального задания.

Индивидуальное задание: «Определить общий и операционные припуски и размеры на обработку поверхности $D(L)$ детали «.....» расчетно-аналитическим методом».

3. Чертеж детали (с указанием размеров поверхности, подлежащей обработке).

4. Выбор заготовки и метода ее получения.

5. Технологический маршрут изготовления заданной поверхности детали и технологическая оснастка, представленные в виде таблицы 7.3.

6. Эскизы базирования заготовки при выполнении технологических переходов и определение расчетной длины заготовки для каждого перехода.

7. Схема расположения операционных и общих припусков на поверхность (по примерам рисунков 7.3 и 7.4).

8. Расчеты и обоснования (со ссылками на соответствующие ГОСТы, таблицы и приложения) по расчету составляющих операционных и общих припусков, операционных размеров и размера заготовки.

9. Итоговые данные по операционным размерам и размеру заготовки с указанием отклонений.

10. Табличное значение общего припуска на обработку поверхности заготовки.

11. Выводы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Анухин В. И. Допуски и посадки: Учеб. пособие. 3-е изд. – СПб.: Питер, 2004. – 270 с.
2. Горбацевич А. Ф., Шкред В. А. Курсовое проектирование по технологии машиностроения: Учеб. пособие. – Мн.: Высш. школа, 1983. – 256 с.
3. Дьяченко В. А., Зыков А. А. Проектирование производственных машин: Учеб. пособие / СПбГТУ. – СПб., 1994. – 100 с.
4. Дунаев П. Ф. Конструирование узлов и деталей машин. – М: Высшая школа, 1971. – 368 с.
5. Косилова А. Г., Мещеряков Р. К., Калинин М. А. Точность обработки, заготовки и припуски в машиностроении. Справочник технолога. – М.: Машиностроение, 1976.
6. Прошин В. И., Сидоров В. Г. Метрология, стандартизация и сертификация. Методы обработки результатов измерений: Учеб. пособие. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2007. – 139 с.
7. Серяков Е. И. Материаловедение. Технология конструкционных материалов. Производство заготовок. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2005. – 192 с.
8. Солонин И. С., Солонин С. И. Расчет сборочных и технологических размерных цепей. – М.: Машиностроение, 1980. – 66 с.
9. Технологичность конструкции изделия. Справочник / Под ред. Ю. Д. Амирова. – М.: Машиностроение, 1990. – 768 с.
10. Технология конструкционных материалов: Учеб. пособие / Под ред. М. А. Шатерина. – СПб.: Политехника, 2005. – 597 с.
11. Технология машиностроения: В 2-х кн. Кн. 1. Основы технологии машиностроения: Учеб. пособие для вузов / Э. Л. Жуков и др. / Под ред. С. Л. Мурашкина. – М.: Высш. шк., 2003. – 278 с.
12. Технология машиностроения: В 2-х кн. Кн. 2. Основы технологии машиностроения: Учеб. пособие для вузов / Э. Л. Жуков и др. / Под ред. С. Л. Мурашкина. – М.: Высш. шк., 2003. – 295 с.
13. Тимофеев В. Н. Расчет операционных размеров и их рациональная простановка: Учеб. пособие / ГТУ. Горький, 1978. – 80 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

ЗНАЧЕНИЕ ФУНКЦИИ ЛАПЛАСА

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

<i>t</i>	$\Phi(t)$	<i>t</i>	$\Phi(t)$	<i>t</i>	$\Phi(t)$	<i>t</i>	$\Phi(t)$
0,00	0,0000	0,30	0,1179	0,70	0,2580	1,65	0,4505
0,01	0,0040	0,31	0,1217	0,72	0,2642	1,70	0,4554
0,02	0,0080	0,32	0,1255	0,74	0,2703	1,75	0,4599
0,03	0,0120	0,33	0,1293	0,76	0,2764	1,80	0,4641
0,04	0,0160	0,34	0,1331	0,78	0,2823	1,85	0,4678
0,05	0,0199	0,35	0,1368			1,90	0,4713
0,06	0,0239	0,36	0,1406	0,80	0,2881	1,95	0,4744
0,07	0,0279	0,37	0,1443	0,82	0,2939		
0,08	0,0319	0,38	0,1480	0,84	0,2995	2,00	0,4772
0,09	0,0359	0,39	0,1517	0,86	0,3051	2,10	0,4821
0,10	0,0398			0,88	0,3106	2,20	0,4861
		0,40	0,1554			2,30	0,4893
0,11	0,0438	0,41	0,1591	0,90	0,3159	2,40	0,4918
0,12	0,0478	0,42	0,1628	0,92	0,3212	2,50	0,4938
0,13	0,0517	0,43	0,1654	0,94	0,3264	2,60	0,4953
0,14	0,0557	0,44	0,1700	0,96	0,3315	2,70	0,4965
0,15	0,0596	0,45	0,1736	0,98	0,3365	2,80	0,4974
0,16	0,0636	0,46	0,1772			2,90	0,4981
0,17	0,0675	0,47	0,1808	1,00	0,3413		
0,18	0,0714	0,48	0,1844	1,05	0,3531	3,00	0,49865
0,19	0,0753	0,49	0,1879	1,10	0,3643	3,20	0,49931
0,20	0,0793	0,50	0,1915	1,15	0,3749	3,40	0,49966
		0,52	0,1985	1,20	0,3849	3,60	0,499841
0,21	0,0832	0,54	0,2054	1,25	0,3944	3,80	0,499928
0,22	0,0871	0,56	0,2123	1,30	0,4032		
0,23	0,0910	0,58	0,2190	1,35	0,4115	4,00	0,499968
0,24	0,0948			1,40	0,4192	4,50	0,499997
0,25	0,0987	0,60	0,2257	1,45	0,4265		
0,26	0,1026	0,62	0,2324			5,00	0,49999997
0,27	0,1064	0,64	0,2389	1,50	0,4332		
0,28	0,1103	0,66	0,2454	1,55	0,4394		
0,29	0,1141	0,68	0,2517	1,60	0,4452		

СРЕДНЯЯ ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ТОЧНОСТЬ РАЗМЕРОВ И ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЗАГОТОВОК

Таблица П2.1

**Точность размеров и качество поверхностей заготовок,
полученных различными технологическими методами**

Вид заготовки	Квалитеты точности размеров	Параметры каче- ства поверхности заготовки	
		<i>Rz</i> , мкм	<i>T</i> , мкм
Отливки в земляные формы I класса			
наибольший габаритный размер отливки, мм:			
не более 1250	–	600	
1250–3150	–	800	
Отливки в земляные формы II класса			
наибольший габаритный размер отливки, мм			
не более 1250	–	700	
1250–3150	–	900	
Отливки в кокиль	12–14	200	300
Литье в оболочковые формы	12–14	40	260
Литье под давлением	9–12	20	140
Литье по выплавляемым моделям	6–12	30	170
Штампованные заготовки массой, кг:			
не более 0,25	–	150	150
0,25–2,5	–	150	200
2,5–25	–	150	250
25–100	–	200	300
100–200	–	300	300
Прокат горячий, диаметром, мм			
5–25	–	150	150
26–75	–	150	250
80–150	–	200	300
160–250	–	300	400
калиброванный гладкотянутый	7–12	60	60
калиброванный шлифованный	6–9	10	20

Таблица П2.2

**Качество торцевой поверхности после резки заготовок
из горячекатаного проката**

Способ резки	Диаметр отрезаемой заготовки, <i>D</i> , мм	Допускаемое отклонение размеров по длине заготовки, мм	<i>Rz + T</i> , мм	Отклонение от перпенди- кулярности торца к оси заготовки, мм
По упору на ножницах, дисковыми пилами и при- водными ножовками	5–25	± 1,0	0,3	0,01 <i>D</i>
	26–75	± 1,3		
	80–150	± 1,8		
	свыше 150	± 2,3		
На прессах и дисковыми фрезами на отрезных станках	5–25	± 0,3	0,2	0,007 <i>D</i>
	26–75	± 0,4		
Отрезными резцами на станках токарного типа	5–25	± 0,25	0,2	0,045 <i>D</i>
	26–75	± 0,35		
	80–150	± 0,40		
	160–250	± 0,50		

Примечание. При резке на ножницах получаются вмятина и скос; вмятина в направлении, перпендикулярном к поверхности среза, достигает 0,2*D*, а скос – 3°. Величину вмятины и скоса необходимо учитывать при последующей обработке отрезанной заготовки соответственно по диаметру и торцу.

**СРЕДНЯЯ ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ТОЧНОСТЬ
И ПАРАМЕТРЫ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЛЯ ОПЕРАЦИЙ
ОБРАБОТКИ РЕЗАНИЕМ**

Таблица ПЗ.1

**Параметры, достигаемые после обработки резанием
наружных поверхностей**

Вид обработки	Параметры качества	
	<i>Rz</i> , мкм	<i>T</i> , мкм
Обдирочная обработка лезвийным инструментом отливок II класса, горячего проката обычной точности, нежестких валов, поковок с большими припусками и пр.	100	100
Черновая обработка лезвийным инструментом заготовок всех видов	50	50
Чистовая обработка лезвийным инструментом и однократная обработка заготовок с малыми припусками	30	30
Чистовое торцовое фрезерование	10	15
Протягивание наружное	5	10
Тонкая обработка лезвийным инструментом	3	–
Шлифование:		
предварительное	10	20
чистовое	5	15
Бесцентровое шлифование калиброванного проката 9–10 квалитетов:		
до термообработки	6	12
после термообработки	3–0,8	–

Таблица ПЗ.2

Параметры, достигаемые при обработке отверстий

Вид обработки	Параметры качества	
	<i>Rz</i> , мкм	<i>T</i> , мкм
Сверление спиральными сверлами	40	60
Глубокое сверление	20	30
Зенкерование:		
черновое	50	50
чистовое	30	40
Растачивание:		
черновое	50	50

Вид обработки	Параметры качества	
	<i>Rz</i> , мкм	<i>T</i> , мкм
чистовое	20	25
Развертывание:		
нормальное	10	25
точное	5	10
тонкое	3	–
Протягивание	4	6
Калибрование шариком или оправкой	0,6	–

Примечание. Виды развертывания (нормальное, точное и тонкое) определяются допусками на диаметральные размеры разверток.

Таблица П3.3

Средняя точность обработки и шероховатость обработанных наружных поверхностей тел вращения

Технологический маршрут обработки наружной поверхности тела вращения	Квалитет точности	Параметр шероховатости, <i>Ra</i> , мкм
Обтачивание однократное	12	6,3
Обтачивание предварительное Обтачивание чистовое	11–10	3,2
Обтачивание однократное Шлифование однократное	8–10	1,6–0,8
Обтачивание предварительное Обтачивание чистовое Шлифование однократное	8–6	0,8
Обтачивание предварительное Обтачивание чистовое Обтачивание тонкое	7–6	0,4
Обтачивание однократное Шлифование предварительное Шлифование чистовое	7–6	0,4

Технологический маршрут обработки наружной поверхности тела вращения	Квалитет точности	Параметр шероховатости, Ra , мкм
Обтачивание предварительное Обтачивание чистовое Шлифование предварительное Шлифование чистовое	6	0,4
Обтачивание предварительное Обтачивание чистовое Шлифование предварительное Шлифование тонкое	6–5	0,2
Обтачивание предварительное Обтачивание чистовое Шлифование предварительное Шлифование чистовое Шлифование тонкое	5	0,2–0,1

Таблица ПЗ.4

Средняя точность обработки и шероховатость обработанной поверхности цилиндрического отверстия

Технологический маршрут обработки отверстия	Квалитет точности	Параметр шероховатости, Ra , мкм
<i>В сплошном металле</i>		
Сверление	12	25–12,5
Сверление и зенкерование	11	6,3–3,2
Сверление и развертывание	8–9	3,2–1,6
Сверление и протягивание	9–8	3,2–0,4
Сверление, зенкерование и развертывание	9–8	1,6–0,8
Сверление и двукратное развертывание	8–7	1,6–0,4
Сверление, зенкерование и двукратное развертывание	8–7	0,8–0,4
Сверление, зенкерование и шлифование	8–7	0,8–0,4
Сверление, протягивание и калибрование	8–7	0,8–0,4
<i>В заготовках с отверстием</i>		
Зенкерование или растачивание	12	6,3–3,2

Технологический маршрут обработки отверстия	Квалитет точности	Параметр шероховатости, Ra , мкм
Рассверливание	12	25–6,3
Двукратное зенкерование или двукратное растачивание	11	12,5–6,3
Зенкерование или растачивание и развертывание	9–8	3,2–1,6
Зенкерование и растачивание	9–8	6,3–3,2
Двукратное зенкерование и развертывание или двукратное растачивание и развертывание	9–8	1,6–0,8
Зенкерование или растачивание и двукратное развертывание	8–7	0,8–0,4
Зенкерование или двукратное растачивание и двукратное развертывание или тонкое растачивание	8–7	0,8–0,2
Зенкерование или двукратное растачивание и хонингование	8–7	0,2–0,05
Зенкерование и растачивание, тонкое растачивание и хонингование	8–7	0,1–0,025
Прогрессивное протягивание и шлифование	8–7	0,8–0,2

Таблица П3.5

Средняя точность и шероховатость обработки плоских поверхностей

Технологический метод обработки	Квалитет точности	Параметр шероховатости, Ra , мкм
Строгание и фрезерование цилиндрическими и торцовыми фрезами:		
черновое	14–11	12,5–3,2
получистовое и однократное	12–11	3,2–1,6
чистовое	10	1,6–0,8
тонкое	8–6	1,6–0,2
Протягивание:		
черновое литых и штампованных поверхностей	11–10	3,2–1,6
чистовое	8–6	1,6–0,4
Шлифование:		

Технологический метод обработки	Квалитет точности	Параметр шероховатости, Ra , мкм
однократное	8–7	1,6–0,4
предварительное	9–8	0,8–0,4
чистовое	7	0,4–0,1
тонкое	6	0,2–0,05

Примечания: 1. Данные относятся к обработке жестких заготовок с габаритными размерами не более 1 м при базировании по чисто обработанной поверхности и использовании ее в качестве измерительной базы.

2. Точность обработки торцовыми фрезами при сопоставимых условиях выше, чем цилиндрическими примерно на один квалитет.

3. Тонкое фрезерование производят только торцовыми фрезами.

Таблица ПЗ.6

**Средняя точность и шероховатость обработки
резьбовых поверхностей**

Технологический метод обработки	Квалитет точности	Параметр шероховатости, Ra , мкм
Круглыми плашками	8g	12,5–6,3
Метчиками	6H	6,3–3,2
Фрезерование:		
дисковыми фрезами	6g	6,3–1,6
гребенчатыми фрезами	6g	6,3–3,2
Точение:		
резцами	4h	3,2–0,8
гребенками	6g	6,3–0,8
Вращающимися резцами (вихревой метод)	6g	3,2–1,6
Самораскрывающимися головками	4h	6,3–1,6
Накатывание:		
плоскими плашками	6g	0,8–0,4
резьбонакатными роликами	6g–4h	0,8–0,2

Таблица ПЗ.7

**Средняя точность и шероховатость обработки
зубчатых колес**

Технологический метод обработки	Квалитет точности	Параметр шероховатости, Ra , мкм
Фрезерование:		
предварительное	9–10	12,5–3,2
чистовое дисковой фрезой	8–9	6,3–1,6
чистовое червячной фрезой	7–8	6,3–1,6
Долбление чистовое	6–8	3,2–0,8
Протягивание	6–7	3,2–0,8
Строгание чистовое	5–7	3,2–0,8
Шевингование	6–7	1,6–0,4
Шлифование	4–5	0,8–0,2

ТОЧНОСТЬ ЗАГОТОВОК

Таблица П4.1

Удельная кривизна заготовок Δ_k (мкм) на 1 мм длины

Материал и состояние	Диаметр заготовки, мм					
	5–25	25–50	50–75	75–120	120–150	свыше 150
Прокат калиброванный:						
6-й квалитет	0,50	0,50	–	–	–	–
9-й квалитет	1,0	0,75	0,5	–	–	–
10-11-й квалитеты	2	1	1	–	–	–
12-й квалитет	3	2	1	–	–	–
Прокат калиброванный после термообработки	2	1,3	0,6	–	–	–
Прокат горячекатаный:						
после правки на прессе	0,15	0,12	0,10	0,08	0,06	0,05
после термообработки	2,0	1,3		0,6		0,3
Штампованные заготовки:						
после правки	2,0	1,5		1,0		–
после термообработки	1,0	0,8	0,7	0,6	0,5	–
Отливки:						
плиты	2–3					
корпуса	0,7–1					

Примечания. 1. Общая кривизна прутка не должна превышать произведения допускаемой удельной кривизны на длину прутка.

2. Кривизну отрезанной заготовки определяют в зависимости от способа базирования при обработке (см. табл. 7.1).

3. При термообработке проката токами высокой частоты табличные значения следует принимать с коэффициентом 0,5.

4. Для ступенчатых валов средний диаметр

$$d_{cp} = \frac{d_1 l_1 + d_2 l_2 + \dots + d_n l_n}{l},$$

где d_1, d_2, \dots, d_n – диаметры ступеней; l_1, l_2, \dots, l_n – длины ступеней; l – общая длина вала.

5. Для стержневых деталей типа рычагов и пластин d_{cp} рассчитывают по среднему сечению стержня.

Таблица П4.2

Удельный увод Δ_k и смещение C_0 оси отверстий при сверлении

Диаметр отверстия, мм	Сверление спиральными сверлами		Глубокое сверление	
	Δ_y , мкм/мм	C_0 , мкм	Δ_y , мкм/мм	C_0 , мкм
3–6	2,1	10	1,6	10
6–10	1,7	15	1,3	15
10–18	1,3	20	1,0	20
18–30	0,9	25	0,7	25
30–50	0,7	30	–	–

ПОГРЕШНОСТИ ЗАКРЕПЛЕНИЯ ЗАГОТОВОК В ПРИСПОСОБЛЕНИЯХ

Таблица П5.1

Погрешность закрепления заготовок ε_z при установке в радиальном направлении для обработки на станках, мкм

Характеристика базовой поверхности	Поперечные размеры заготовки, мм									
	6–10	10–18	18–30	30–50	50–80	80–120	120–180	180–260	260–360	360–500
<i>Установка в зажимной гильзе (цанге)</i>										
Холоднотянутая калиброванная	40	50	60	70	80	–	–	–	–	–
Предварительно обработанная	40	50	60	70	80	–	–	–	–	–
Чисто обработанная	20	25	30	35	40	–	–	–	–	–
<i>Установка в трехкулачковом патроне</i>										
Литье:										
– в песчаную форму машинной формовки по металлической модели;	180	220	260	320	380	440	500	580	660	760
– в постоянную форму;	120	140	170	200	240	280	320	380	440	500
– по выплавляемой модели;	40	50	60	70	80	90	100	120	–	–
– под давлением.	20	25	30	35	40	45	50	60	–	–
Горячая штамповка	180	220	260	320	380	440	500	580	660	–
Горячекатаная	180	220	260	320	380	440	500	–	–	–
Предварительно обработанная	40	50	60	70	80	90	100	120	140	160

Характеристика базовой поверхности	Поперечные размеры заготовки, мм									
	6–10	10–18	18–30	30–50	50–80	80–120	120–180	180–260	260–360	360–500
<i>Установка в пневматическом патроне</i>										
Чисто обработанная	20	25	30	35	40	45	50	60	70	80
Литье:										
- в песчаную форму машинной формовки по металлической модели;	180	220	260	320	380	440	500	580	660	760
- в постоянную форму;	120	140	70	200	240	280	320	380	440	500
- по выплавляемой модели;	40	50	60	70	80	90	100	120	–	–
- под давлением.	20	25	30	35	40	45	50	60	–	–
Горячая штамповка	180	220	260	320	380	440	500	580	660	
Горячекатаная	180	220	260	320	380	440	500	–	–	–
Предварительно обработанная	40	50	60	70	80	90	100	120	140	160
Чисто обработанная	20	25	30	35	40	45	50	60	70	80

Примечания. 1. При установке на оправку надо учитывать погрешность базирования и принимать погрешность закрепления в зависимости от крепления оправки в гильзе, патроне или зажимном приспособлении.

2. Установка в жестких центрах не дает погрешности закрепления в радиальном направлении. Погрешность закрепления, получающаяся при установке в плавающий передний и вращающийся задний центры, не учитывается, так как перекрывается отклонением заготовки под действием силы резания.

Таблица П5.2

Погрешность закрепления заготовок ε_z при установке в осевом направлении для обработки на станках, мкм

Характеристика базовой поверхности	Поперечные размеры заготовки, мм									
	6–10	10–18	18–30	30–50	50–80	80–120	120–180	180–260	260–360	360–500
<i>Установка в зажимной гильзе (цанге) до упора</i>										
Холоднотянутая калиброванная	40	50	60	70	80	–	–	–	–	–
Предварительно обработанная	40	50	50	70	80	–	–	–	–	–
Чисто обработанная	20	25	30	35	40	–	–	–	–	–
<i>Установка в трехкулачковом самоцентрирующем патроне</i>										
Литье:										
– в песчаную форму машинной формовки по металлической модели;	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160
– в постоянную форму;	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
– по выплавляемой модели;	50	60	70	80	90	100	110	120	–	–
– под давлением.	30	40	50	60	70	80	90	100	–	–
Горячая штамповка	70	80	90	100	110	120	130	140	150	–
Горячекатаная	70	80	90	100	110	120	130	–	–	–
Предварительно обработанная	50	60	70	80	90	100	100	120	130	140
Чисто обработанная	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120

Характеристика базовой поверхности	Поперечные размеры заготовки, мм										
	6–10	10–18	18–30	30–50	50–80	80–120	120–180	180–260	260–360	360–500	
<i>Установка в пневматическом патроне</i>											
Литье:											
– в песчаную форму машинной формовки по металлической модели;	55	60	70	80	90	100	110	120	130	140	
– в постоянную форму;	55	60	65	75	80	90	100	110	120	130	
– под давлением;	25	35	45	50	55	65	70	80	–	–	
– по выплавляемой модели.	45	50	55	65	75	80	85	90	–	–	
Горячая штамповка	55	60	70	80	90	100	110	120	130	–	
Горячекатаная	55	60	70	80	90	100	110	–	–	–	
Предварительно обработанная	40	50	60	70	80	90	90	100	110	120	
Чисто обработанная	25	30	35	40	50	60	70	80	90	100	

Примечания. 1. При установке на оправку надо учитывать погрешность базирования и принимать погрешность закрепления в зависимости от крепления оправки в гильзе, патроне или зажимном приспособлении.

2. Установка в жестких центрах не дает погрешности закрепления, но дает погрешность базирования в осевом направлении.

Таблица П5.3

Погрешность закрепления заготовок ε_z при установке на опорные штифты приспособлений, мкм

Характеристика базовой поверхности	Поперечные размеры заготовки, мм									
	6–10	10–18	18–30	30–50	50–80	80–120	120–180	180–260	260–360	360–500
<i>Установка в зажимное приспособление с винтовыми или эксцентриковыми зажимами</i>										
Литье:										
– в песчаную форму машинной формовки по металлической модели;	–	100	125	150	175	200	225	250	320	350
– в постоянную форму;	–	100	110	120	130	140	150	160	180	200
– по выплавляемой модели;	80	90	100	110	120	130	140	10	–	–
– под давлением.	70	80	90	100	110	120	130	140	–	–
Горячая штамповка	–	100	125	150	175	200	225	250	300	–
Горячекатаная	90	100	125	150	175	200	225	–	–	–
Предварительно обработанная	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170
Чисто обработанная	70	80	90	100	110	120	130	140	150	16
Шлифованная	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150

Характеристика базовой поверхности	Поперечные размеры заготовки, мм									
	6–10	10–18	18–30	30–50	50–80	80–120	120–180	180–260	260–360	360–500
<i>Установка в зажимном приспособлении с пневматическим зажимом</i>										
Литье:										
– в песчаную форму машинной формовки по металлической модели;	–	90	100	120	140	160	180	200	240	280
– в постоянную форму;	–	80	90	100	110	120	130	140	160	180
– по выплавляемой модели,	65	0	75	80	90	100	110	120	–	–
– под давлением.	40	45	50	60	70	80	90	100	–	–
Горячая штамповка	–	90	100	120	140	160	180	200	240	–
Горячекатаная	70	80	100	10	140	150	180	–	–	–
Предварительно обработанная	65	70	75	80	90	100	119	120	130	140
Чисто обработанная	50	60	70	80	90	90	100	110	120	130
Шлифованная	40	50	60	70	80	80	90	100	110	120

Примечания. 1. Установка на магнитной плите не дает погрешности закрепления.

2. Поперечный размер заготовки следует принимать наибольшим в сечении по нормали к обрабатываемой поверхности.

3. Погрешность закрепления дана по нормали к обрабатываемой поверхности.

Таблица П5.4

Погрешность закрепления заготовок ϵ , при установке на опорные пластинки приспособлений, мкм

Характеристика базовой поверхности	Поперечные размеры заготовки, мм									
	6–10	10–18	18–30	30–50	50–80	80–120	120–180	180–260	260–360	360–500
<i>Установка в зажимное приспособление с винтовыми или эксцентриковыми зажимами</i>										
Литье:										
– в песчаную форму машинной формовки по металлической модели;	–	100	110	120	135	150	175	200	240	280
– в постоянную форму;	55	60	70	80	90	100	110	120	130	140
– по выплавляемой модели;	40	50	60	70	80	90	100	110	–	–
– под давлением.	30	40	50	60	70	80	90	100	–	–
Горячая штамповка		100	110	120	135	150	175	200	240	
Горячекатаная	90	100	110	120	135	150	175	–	–	–
Предварительно обработанная	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
Чисто обработанная	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Шлифованная	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110

Характеристика базовой поверхности	Поперечные размеры заготовки, мм									
	6–10	10–18	18–30	30–50	50–80	80–120	120–180	180–260	260–360	360–500
Установка в зажимном приспособлении с пневматическим зажимом										
Литье:										
– в песчаную форму машинной формовки по металлической модели;	–	80	90	100	110	120	140	60	190	220
– в постоянную форму;	50	55	60	65	70	80	90	100	110	120
– по выплавляемой модели;	35	40	50	55	60	70	80	90	–	–
– под давлением.	25	30	35	40	50	60	70	80	–	–
Горячая штамповка		80	90	100	110	120	140	160	190	–
Горячекатаная	70	80	90	100	110	120	140	–	–	–
Предварительно обработанная	35	40	50	55	60	70	80	90	100	110
Чисто обработанная	25	30	35	40	50	60	70	80	90	100
Шлифованная	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90

Примечания. 1. Установка на магнитной плите не дает погрешности закрепления.

2. Поперечный размер заготовки следует принимать наибольшим в сечении по нормали к обрабатываемой поверхности.

3. Погрешность закрепления дана по нормали к обрабатываемой поверхности.

ПРИПУСКИ И ДОПУСКИ НА ЗАГОТОВКИ

Таблица Пб.1

Припуски и допуски на сплошные, гладкие поковки нормальной точности круглого и прямоугольного сечения, изготавливаемые ковкой на молотах

Длина детали, мм	Диаметр или размеры сечения, мм					
	25–50	51–80	81–120	121–180	181–250	251–360
	Двухсторонние припуски Z и предельные отклонения					
до 250	5±1	6±2	8±3	8±3	–	–
251–500	6±2	8±2	9±3	10±3	12±3	14±5
501–800	7±2	9±2	10±3	12±3	13±4	15±5
801–1250	8±2	10±2	12±3	13±4	15±4	16±5
1251–2000	10±2	11±3	13±3	14±4	16±5	17±5
2001–2500	11±3	12±3	14±3	16±4	17±5	18±5
2501–3150	–	13±3	15±4	16±5	17±5	19±6
3151–4000	–	–	16±4	18±5	18±5	20±6

Примечания. 1. Данные таблицы распространяются на детали длиной не менее 1,2 диаметра или 1,5 стороны прямоугольного сечения.

2. У поволок прямоугольного сечения припуски следует назначать по наибольшему размеру сечения.

3. Припуски на размеры выемок увеличивают на 15 %.

4. Припуск на длину детали принимают равным трем припускам на размер сечения поковки, а для пустотелых поволок — шести.

5. На детали с уступами назначают дополнительный припуск.

Таблица Пб.2

Классы размерной точности отливок, получаемых в песчаные формы

Наибольший габаритный размер отливки, мм	Тип сплава				Ряды припусков
	Цветные легкоплавкие	Черные не-термообрабатываемые	Чугунные термообрабатываемые и цветные тугоплавкие	Стали термообрабатываемые	
До 100	5–10	6–11Т	7Т–11	7–12	5–8
101–250	6–11Т	7Т–11	7–12	8–13	6–9
251–630	7Т–11	7–12	8–13Т	9Т–13	6–10

Продолжение табл. П6.2

Наибольший габаритный размер отливки, мм	Тип сплавов				Ряды припусков
	Цветные легкоплавкие	Черные нетермообрабатываемые	Чугунные термообрабатываемые и цветные тугоплавкие	Стали термообрабатываемые	
631–1600	7–12	8–13Т	9Т–13	9–13	6–10
1601–4000	8–13Т	9Т–13	9–13	10–14	6–12

Примечания. 1. Меньшие значения классов соответствуют массовому производству простых отливок, большие — мелкосерийному и единичному типам производств сложных отливок, средние — серийному механизированному производству отливок средней сложности.

2. Меньшие ряды припусков относятся к отливкам из цветных сплавов, большие — из ковкого чугуна, средние — к отливкам из серого, высокопрочного чугуна и стали.

3. Для верхних участков отливки номер ряда припуска следует увеличить на 1–3 единицы.

Таблица П6.3

Допуски размерной точности отливок

Номинальный размер детали, мм	Допуски размеров отливок, δ , мм (не более) для класса размерной точности											
	6	7Т	7	8	9	10	11Т	11	12	13Т	13	14
до 4	0,32	0,4	0,5	0,64	1	1,2	1,6	2	–	–	–	–
4–6	0,36	0,44	0,56	0,7	1,1	1,4	1,8	2,2	2,8	–	–	–
6–10	0,4	0,5	0,64	0,8	1,2	1,6	2	2,4	3,2	4	5	–
10–16	0,44	0,56	0,7	0,9	1,4	1,8	2,2	2,8	3,6	4,4	5,6	7
16–25	0,5	0,64	0,8	1	1,6	2	2,4	3,3	4	5	6,4	8
26–40	0,56	0,7	0,9	1,1	1,8	2,2	2,8	3,6	4,4	5,6	7	9
41–63	0,64	0,8	1	1,2	2	2,4	3,2	4	5	6,4	8	10
64–100	0,7	0,9	1,1	1,4	2,2	2,8	3,6	4,4	5,6	7	9	11
101–160	0,8	1	1,2	1,6	2,4	3,2	4	5	6,4	8	10	12

Номиналь- ный размер детали, мм	Допуски размеров отливок, δ , мм (не более) для класса размерной точности											
	6	7Г	7	8	9	10	11Г	11	12	13Г	13	14
161–250	0,9	1,1	1,4	1,8	2,8	3,6	4,4	5,6	7	9	11	14
251–400	1	1,2	1,6	2	3,2	4	5	6,4	8	10	12	16
401–630	1,1	1,4	1,8	2,2	3,6	4,4	5,6	7	9	11	14	18
631–1000	1,2	1,6	2	2,4	4	5	6,4	8	10	12	16	20
1001–1600	1,4	1,8	2,2	2,8	4,4	5,6	7	9	11	14	18	22
1601–2500	–	2	2,4	3,2	5	6,4	8	10	12	16	20	24
2501–4000	–	–	2,8	3,6	5,6	7	9	11	14	18	22	28

**Припуски и допуски на сплошные поковки нормальной точности круглого и прямоугольного сечения,
изготавливаемые ковкой на гидравлических прессах**

Длина детали, мм	Размер детали, мм																
	до 140	141–160	161–180	181–200	201–224	225–250	251–280	281–315	316–355	356–400	401–450	451–500	501–560	561–630	631–710	711–800	801–900
	Двухсторонние припуски Z и предельные отклонения $\pm \delta/2$																
до 1000	20±4	20±5	20±5	20±5	20±6	20±6	20±6	20±7	20±7	20±7	21±8	22±8	22±8	23±8	24±9	25±9	26±10
1001–1250	20±5	20±5	20±5	20±6	20±6	20±6	20±7	20±7	20±7	21±7	22±8	22±8	23±8	24±9	25±9	26±10	27±10
1251–1600	20±5	20±5	20±6	20±6	20±6	20±7	20±7	20±7	21±7	22±8	22±8	23±8	24±9	25±9	26±10	27±10	28±10
1601–2000	20±5	20±6	20±6	20±6	20±7	20±7	20±7	21±7	22±8	22±8	23±8	24±9	25±9	26±10	27±10	28±10	29±11
2001–2500	20±6	20±6	20±6	20±7	20±7	20±7	20±7	22±8	22±8	23±8	24±9	25±9	26±10	27±10	28±10	29±11	30±11
2501–3150	20±6	20±6	20±7	20±7	20±7	21±7	22±8	22±8	23±8	24±9	25±9	26±10	27±10	28±10	29±11	30±11	31±11
3151–4000	20±6	20±7	20±7	20±7	21±7	22±8	22±8	23±8	24±9	25±9	26±10	27±10	28±10	29±11	30±11	31±11	32±12
4001–5000	20±7	20±7	20±7	21±7	22±8	22±8	23±8	24±9	25±9	26±10	27±10	28±10	29±11	30±11	31±11	32±12	33±12
5001–6300	20±7	20±7	21±7	22±7	22±8	22±8	23±8	24±9	25±9	26±10	27±10	28±10	29±11	30±11	31±11	33±12	34±12

Примечания. 1. Данные таблицы распространяются на детали не менее 1,2 диаметра.

2. ГОСТ 7062-90 предусматривает размеры поковок до 2100 мм и длиной до 20000 мм, у которых припуск возрастает до 57 мм, а предельные отклонения до ± 17 мм.

3. Припуск на длину деталей принимают равным трем припускам на размер сечения, а для пустотелых поковок – шести.

4. Отклонения на длину поковки принимают равным трем отклонениям на размер ступени поковки.

5. На поковки с уступами назначают дополнительный припуск.

Таблица П6.5

Припуски на механическую обработку на одну сторону Z/2 и предельные отклонения размеров поковок Δ

Индекс поковки	Толщина детали																			
	до 25				25–40				10–63				63–100				100–160			
	Длина, ширина, диаметр, глубина и высота детали																			
	до 40				40–100				100–160				160–250				250–400			
	Шероховатость поверхности, Ra																			
100–2,5	10–1,6	1,2	Δ	100–2,5	10–1,6	1,2	Δ	100–2,5	10–1,6	1,2	Δ	100–2,5	10–1,6	1,2	Δ	100–2,5	10–1,6	1,2	Δ	
1	0,4	0,6	0,7	+0,2 -0,1	0,4	0,6	0,7	+0,3 -0,1	0,5	0,6	0,7	+0,3 -0,2	0,6	0,8	0,9	+0,4 -0,2	0,6	0,8	0,9	+0,5 -0,2
2	0,4	0,6	0,7	+0,3 -0,1	0,5	0,6	0,7	+0,3 -0,2	0,6	0,8	0,9	+0,4 -0,2	0,6	0,8	0,9	+0,5 -0,2	0,7	0,9	1,0	+0,5 -0,3
3	0,5	0,6	0,7	+0,3 -0,2	0,6	0,8	0,9	+0,4 -0,2	0,6	0,8	0,9	+0,5 -0,2	0,7	0,9	1,0	+0,5 -0,3	0,8	1,0	1,1	+0,6 -0,3
4	0,6	0,8	0,9	+0,4 -0,2	0,6	0,8	0,9	+0,5 -0,2	0,7	0,9	1,0	+0,5 -0,3	0,8	1,0	1,1	+0,6 -0,3	0,9	1,1	1,2	+0,7 -0,3

Индекс поковки	Толщина детали																			
	до 25				25–40				10–63				63–100				100–160			
	Длина, ширина, диаметр, глубина и высота детали																			
	до 40				40–100				100–160				160–250				250–400			
	Шероховатость поверхности, <i>Ra</i>																			
100–2,5	10–1,6	1,2	Δ	100–2,5	10–1,6	1,2	Δ	100–2,5	10–1,6	1,2	Δ	100–2,5	10–1,6	1,2	Δ	100–2,5	10–1,6	1,2	Δ	
5	0,6	0,8	0,9	+0,5 -0,2	0,7	0,9	1,0	+0,5 -0,3	0,8	1,0	1,1	+0,6 -0,3	0,9	1,1	1,2	+0,7 -0,3	1,0	1,3	1,4	+0,8 -0,4
6	0,7	0,9	1,0	+0,5 -0,3	0,8	1,0	1,1	+0,6 -0,3	0,9	1,1	1,2	+0,7 -0,3	1,0	1,3	1,4	+0,8 -0,4	1,1	1,4	1,5	+0,9 -0,5
7	0,8	1,0	1,1	+0,6 -0,3	0,9	1,1	1,2	+0,7 -0,3	1,0	1,3	1,4	+0,8 -0,4	1,1	1,4	1,5	+0,9 -0,5	1,2	1,5	1,6	+1,1 -0,5
8	0,9	1,1	1,2	+0,7 -0,3	1,0	1,3	1,4	+0,8 -0,4	1,1	1,4	1,5	+0,9 -0,5	1,2	1,5	1,6	+1,1 -0,5	1,3	1,6	1,8	+1,3 -0,7
9	1,0	1,3	1,4	+0,8 -0,4	1,1	1,4	1,5	+0,9 -0,5	1,2	1,5	1,6	+1,1 -0,5	1,3	1,6	1,8	+1,3 -0,7	1,4	1,7	1,9	+1,4 -0,8
10	1,1	1,4	1,5	+0,9 -0,5	1,2	1,5	1,6	+1,1 -0,5	1,3	1,6	1,8	+1,3 -0,7	1,4	1,7	1,9	+1,4 -0,8	1,5	1,8	2,0	+1,6 -0,9
11	1,2	1,5	1,6	+1,1 -0,5	1,3	1,6	1,8	+1,3 -0,7	1,4	1,7	1,9	+1,4 -0,8	1,5	1,8	2,0	+1,6 -0,9	1,7	2,0	2,2	+1,8 -1,0
12	1,3	1,6	1,8	+1,3 -0,7	1,4	1,7	1,9	+1,4 -0,8	1,5	1,8	2,0	+1,6 -0,9	1,7	2,0	2,2	+1,8 -1,0	1,9	2,3	2,5	+2,1 -1,1

Индекс поковки	Толщина детали																			
	до 25				25–40				10–63				63–100				100–160			
	Длина, ширина, диаметр, глубина и высота детали																			
	до 40				40–100				100–160				160–250				250–400			
	Шероховатость поверхности, <i>Ra</i>																			
	100– 2,5	10– 1,6	1,2	Δ	100– 2,5	10– 1,6	1,2	Δ	100– 2,5	10– 1,6	1,2	Δ	100– 2,5	10– 1,6	1,2	Δ	100– 2,5	10– 1,6	1,2	Δ
13	1,4	1,7	1,9	+1,4 -0,8	1,5	1,8	2,0	+1,6 -0,9	1,7	2,0	2,2	+1,8 -1,0	1,9	2,3	2,5	+2,1 -1,1	2,0	2,5	2,7	+2,4 -1,2
14	1,5	1,8	2,0	+1,6 -0,9	1,7	2,0	2,2	+1,8 -1,0	1,9	2,3	2,5	+2,1 -1,1	2,0	2,5	2,7	+2,4 -1,2	2,2	2,7	3,0	+2,7 -1,3
15	1,6	1,9	2,1	+1,8 -1,0	1,9	2,2	2,3	+2,1 -1,1	2,0	2,5	2,7	+2,4 -1,2	2,2	2,7	3,0	+2,7 -1,3	2,3	3,0	3,3	+3,0 -1,5
16	1,7	2,0	2,2	+2,1 -1,1	2,0	2,3	2,5	+2,4 -1,2	2,2	2,7	3,0	+2,7 -1,3	2,3	3,0	3,3	+3,0 -1,5	2,5	3,3	3,6	+3,3 -1,7

Жуков Эдуард Леонидович, Кобчиков Валентин Семенович,
Никифоров Валерий Иванович

ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

ОСНОВЫ И МЕТОДИКА РЕШЕНИЯ

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

Под редакцией В. И. Никифорова

Лицензия ЛР № 020593 от 07.08.97

Налоговая льгота – Общероссийский классификатор продукции ОК 005-93,
т. 2; 95 3004 – научная и производственная литература

Подписано в печать	Формат	Печать офсетная.
Уч.-изд. л.	Усл. печ. л.	Тираж
		Заказ

Отпечатано с готового оригинал-макета, предоставленного авторами,
в цифровом типографском центре Издательства Политехнического
университета:

195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Тел. (812) 540-40-14
Тел./факс: (812) 927-57-76