

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Кузбасский государственный технический университет
имени Т. Ф. Горбачева»

Кафедра информационных и автоматизированных
производственных систем

Составитель
А. Н. Трусов

ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Часть 1

Методические указания к выполнению лабораторных работ

Рекомендовано учебно-методической комиссией направления
подготовки 09.03.02 Информационные системы и технологии
профиль 02 Цифровые автоматизированные производственные
системы в качестве электронного издания
для использования в образовательном процессе

Кемерово 2025

Рецензенты:

Сыркин И. С. – кандидат технических наук, доцент кафедры информационных и автоматизированных производственных систем ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева»

Чичерин И. В. – председатель учебно-методической комиссии направления подготовки 09.03.02 Информационные системы и технологии

Трусов Александр Николаевич

Проектирование автоматизированных технологических процессов. Часть 1 : методические указания к выполнению лабораторных работ : для бакалавров направления подготовки 09.03.02 Информационные системы и технологии, профиль 02 Цифровые автоматизированные производственные системы, всех форм обучения / Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева ; составитель А. Н. Трусов. – Кемерово : КузГТУ, 2025. – 1 файл (1646 Кб). – Текст : электронный.

В данных методических указаниях изложено содержание лабораторных работ № 1, 2, 3, порядок их выполнения и контрольные вопросы к ним.

© Кузбасский государственный
технический университет имени
Т. Ф. Горбачева, 2025

© Трусов А. Н., составление, 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

Лабораторная работа № 1. ИЗУЧЕНИЕ МЕТОДОВ ГРУППИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ПРОИЗВОДСТВА С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭВМ.....	4
1.1. Цель работы.....	4
1.2. Теоретические положения.....	4
1.2.1.Используемый математический аппарат.....	4
1.2.2.Алгоритмы группирования.....	6
1.2.3.Описание групп деталей.....	7
1.2.4.Анализ технологичности деталей группы.....	9
1.2.5.Применение ЭВМ для группирования деталей.....	9
1.2.6.Пример группирования деталей.....	10
1.3. Порядок выполнения работы.....	13
1.4. Контрольные вопросы.....	14
Приложение 1.1.....	15
Приложение 1.2.....	18
Приложение 1.3.....	21
Лабораторная работа № 2. РАСЧЕТ ПОГРЕШНОСТИ БАЗИРОВАНИЯ.....	22
2.1. Цель работы.....	22
2.2. Основные теоретические положения.....	22
2.3. Задачи для самостоятельного решения.....	26
2.4. Порядок выполнения работы.....	38
2.5. Контрольные вопросы.....	38
Приложение.....	40
Лабораторная работа № 3. РАСЧЕТНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИПУСКОВ НА МЕХАНИЧЕСКУЮ ОБРАБОТКУ.....	43
3.1. Цель работы.....	43
3.2. Основные теоретические положения.....	43
3.3. Пример расчета припусков на обработку.....	48
3.4. Задачи для самостоятельного решения.....	53
3.5. Порядок выполнения работы.....	54
3.6. Контрольные вопросы.....	55
Приложение.....	56

Лабораторная работа № 1.

ИЗУЧЕНИЕ МЕТОДОВ ГРУППИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ПРОИЗВОДСТВА С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭВМ

1.1. Цель работы

Цель практической работы – ознакомление студентов с алгоритмами группирования в n -мерном признаковом пространстве, приобретение практических навыков по классификации и группированию деталей с использованием ЭВМ, анализу полученных групп.

1.2. Теоретические положения

1.2.1. Используемый математический аппарат

Будем рассматривать каждую деталь l (сборочную единицу) как точку в n -мерном признаковом пространстве с координатами

$$X_{K,l}, K = 1, 2, \dots, n,$$

где $X_{K,l}$ – значение классификационного признака K для детали l ; n – число рассматриваемых классификационных признаков.

Для решения весьма широкого класса технологических задач достаточно использовать булево описание признаков, что значительно упрощает алгоритмическое и программное обеспечение.

$$X_{K,l} = \begin{cases} 1, & \text{при наличии признака для детали } l \\ 0, & \text{при отсутствии признака} \end{cases}$$

Для определения мер близости точек и групп точек в рассматриваемых алгоритмах применяется метод потенциалов и основанные на этом методе представления о взаимной близости между точками и группами точек в признаковом пространстве.

Величина потенциала (мера близости) между точками может быть определена по формуле

$$\varphi(a_i, a_j) = \frac{1}{1 + \alpha \cdot R^2}, \quad (1.1)$$

где α – коэффициент, от значения которого зависит скорость убывания функции:

$$\alpha = \frac{1}{n^2};$$

R – определенное каким-либо образом расстояние в признаковом пространстве между точками (детальями) a_i и a_j ; φ – мера близости точки a_i к точке – источнику a_j .

Очевидно, в каждой задаче метод вычисления R может быть оригинальным. Обычно используют «евклидово расстояние» или расстояние по Хеммингу, равное числу несовпадающих разрядов.

Пример 1: Имеются две детали, описание которых в признаковом пространстве соответственно:

$$F(a_1) = [10010] \text{ и } F(a_2) = [01010].$$

Определим разность (несовпадающие разряды) $F(a_1) - F(a_2)$:

$$F(a_1) = 10010$$

$$F(a_2) = 01010$$

$$F(a_1) - F(a_2) = 11000$$

Расстояние R определяется как сумма несовпадающих разрядов:

$$R = 1 + 1 + 0 + 0 + 0 = 2.$$

Мера близости:

$$\varphi(a_1, a_2) = \frac{1}{1 + \left(\frac{1}{5}\right)^2 \cdot 2^2}.$$

Мера близости между точкой a_i и группой точек A определяется:

$$\varphi(a_i, A) = \frac{1}{N_a} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{N_a} \varphi(a_i) = \frac{1}{N_a} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{N_a} \frac{1}{1 + \alpha \cdot R(a_j)}, \quad (1.2)$$

где N_a – число точек a_j в группе A .

Между двумя группами точек A и B :

$$\varphi(A, B) = \frac{1}{N_a} \sum_{j=1}^{N_a} \varphi(a_j, B), \quad a_j \subset A. \quad (1.3)$$

Плотность расположения точек внутри группы можно характеризовать величиной собственного потенциала группы по формуле

$$\varphi(A, B) = \frac{2}{N_a(N_a - 1)} \sum_{\substack{i=1 \\ p=1 \\ i \neq p}}^{N_a} \varphi(a_i, a_p); \quad \begin{matrix} a_i \subset A \\ a_p \subset A \end{matrix}. \quad (1.4)$$

1.2.2. Алгоритмы группирования

При реализации алгоритмов группирования объекты могут предъявляться на группирование либо последовательно один за другим, либо параллельно. Соответственно разработаны алгоритмы двух типов. Последовательные алгоритмы группирования могут применяться в случае, когда заранее неизвестно число деталей, подлежащих группированию.

Алгоритм 1 (последовательный)

Исходные данные: $A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$ – последовательно предъявляемые детали, $[\varphi]$ – допускаемая мера близости.

1. Первая деталь a_1 принудительно относится к первой группе, т. е. $\Gamma_1 = \{a_1\}$.

2. Для второй детали вычисляется мера близости $\varphi(a_2, a_1)$ и сравнивается с $[\varphi]$. Если $\varphi(a_2, a_1) < [\varphi]$, то деталь a_2 образует самостоятельную группу $\Gamma_2 = \{a_2\}$. В противном случае деталь a_2 включается в группу $\Gamma_1 = \{a_1, a_2\}$.

3. Для каждой последующей детали a_i определяется мера близости с каждой из предшествующих. Затем деталь a_i последовательно проверяется на возможность включения в одну (и только в одну) из уже образованных групп. Условие включения:

$$\min \varphi(a_i, a_j) \geq [\varphi], \quad (1.5)$$

где a_j – детали, уже отнесенные к рассматриваемой группе.

В противном случае деталь a_i образует (открывает) новую группу. Указанный процесс продолжается до тех пор, пока не будут рассмотрены все детали множества A . После первого включения в какую-либо группу деталь из рассмотрения исключается и возможность ее включения в другую группу не рассматривается.

4. Процесс группирования проводят несколько раз, меняя $[\varphi]$ в интервале $0,5 \leq [\varphi] \leq 1$. Значение $[\varphi]$ определяется конкретным содержанием задачи группирования. Если заранее $[\varphi]$ выбрать нельзя, ориентировочно можно считать, что детали допустимо объединять в группу, если число совпадающих признаков в их описаниях составляет не менее $2/3$ общего числа исследуемых признаков, т. е. $[\varphi] = 0,9$.

Алгоритм 2 (параллельный)

Исходные данные: $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ – одновременно предъявляемые детали.

1. Произвольно выбирается деталь и вычисляется мера близости ее с остальными деталями.

2. Выбирается деталь, ближайшая к исходной, из них формируется группа и вычисляется мера близости по формуле (2) этой группы с оставшимися деталями.

3. Ближайшая к полученной группе деталь заключается в группу.

4. Процедура (2) и (3) повторяется, пока не будут рассмотрены все детали множества A .

При этом последовательно будут формироваться группы $\Gamma_1, \Gamma_2, \dots, \Gamma_i, \dots, \Gamma_m$. При переходе от группы Γ_i к группе Γ_{i+1} мера близости будет скачкообразно меняться. Это скачкообразное уменьшение меры близости и является признаком, по которому группа Γ_i будет отделена от группы Γ_{i+1} .

1.2.3. Описание групп деталей

Характеристиками полученных групп могут служить:

- величина собственного потенциала группы, определенной по формуле (1.4);
- координаты (описание) центра группы;
- описание комплексной детали группы.

Описание центра группы должно содержать только общие, характерные для большинства объектов группы признаки. Алгоритм определения центра группы следующий.

1. Из общего массива исходных данных выбираются описания деталей данной группы.

2. Полученные описания суммируются поразрядно.

3. Определяется среднее значение признаков по всем разрядам, для чего суммируются числовые значения сумм всех разрядов и общая сумма делится на число разрядов, сумма которых отлична от нуля.

4. Анализируются суммы по каждому разряду и образуется описание центра группы подстановкой единиц в те разряды, сумма которых больше среднего значения, и нулей в остальные разряды.

Пример 2: Дана следующая группа из четырех деталей:

$$F(a_1) = 10101$$

$$F(a_2) = 10100$$

$$F(a_3) = 11101$$

$$F(a_4) = 10110$$

$$F(a_1) - F(a_2) = 41411; \sum = 4 + 1 + 4 + 1 + 1 = 11.$$

Среднее значение признаков $11/5 = 2,2$, тогда описание центра группы:

$$F(a^*) = 10100.$$

В данном примере центр группы совпадает с деталью a_2 .

Описание центра групп можно использовать, например, при отнесении новых деталей к той или иной уже сформированной группе.

По определению комплексная деталь должна включать не только самые характерные признаки группы, а все признаки, т. е. описание комплексной детали должно включать в себя единицы во всех не нулевых разрядах суммарного описания группы. Для примера 2 описание комплексной детали будет

$$F(a_{\text{компл}}) = 11111.$$

Комплексная деталь используется для проектирования групповых технологических процессов.

1.2.4. Анализ технологичности деталей группы

Известно, что технологичность конструкции можно рассматривать только по отношению к конкретным производственным условиям. Для группового производства это означает, что при отработке конструкции на технологичность должна быть достигнута наибольшая степень технологической общности всех деталей группы, т. е. получена по возможности более компактная группа точек в признаковом пространстве.

Величина собственного потенциала группы (формула 1.4) $\varphi(A_j, A_j)$ характеризует удаленность отдельных точек от центра группы, т. е. ее целесообразно использовать в качестве меры технологической общности деталей группы. Значительное расхождение по одному или нескольким классификационным признакам i -й детали от центра группы вызовет уменьшение величины $\varphi(A_j, A_j)$. Таким образом, значение собственного потенциала группы можно использовать для оценки «групповой» технологичности.

Практически можно рекомендовать такую последовательность отработки на технологичность деталей группы:

1. Суммируются значения признаков деталей группы по рядам.
2. Выбираются значащие признаки с минимальной суммой, т. е. встречающиеся лишь у 1–2 деталей группы.
3. Анализируется возможность исключения данных признаков группы. Если в качестве признаков используются элементарные поверхности контура детали, то исследуется возможность исключения или замены одного элемента другим (характерным для данной группы). Если детали группировались по используемому для их обработки технологическому оборудованию, то разрабатываются мероприятия по целевой замене оборудования и т. д.

1.2.5. Применение ЭВМ для группирования объектов

При увеличении размерности (увеличение номенклатуры деталей, числа классификационных признаков, итераций $[\varphi]$) трудоемкость задачи группирования резко возрастает. В этих условиях целесообразно использовать ЭВМ.

На кафедре ИиАПС на основе алгоритма 1 разработано программное обеспечение для ПК – «Group.exe».

Программа построена в диалоговом режиме и обеспечивает ввод исходных данных, возможность их корректировки и группирование для различных значений $[\varphi]$. Вся промежуточная информация выводится на дисплей. Результатом работы программы является: таблица мер близости, полученные группы объектов и рассчитанная для каждой группы величина собственного потенциала.

Для запуска программы необходимо дважды щелкнуть по иконке с именем «Group». Во время работы программы возможен переход в любую из доступных страниц, корректировка таблицы исходных данных, изменение допустимого значения меры близости, изменение размерности таблицы исходных данных, просмотр результатов и любых ранее введенных данных.

1.2.6. Пример группирования деталей

На рис. 1.1 представлены эскизы деталей, подлежащих группированию. Классификационными признаками приняты элементарные поверхности, образующие контур детали. Для описания деталей можно использовать различные классификаторы. В прил. 1.1 приведен рекомендуемый для данного занятия упрощенный классификатор элементарных поверхностей.

По описаниям деталей строится таблица исходных данных (табл. 1.1).

Рассмотрим подробнее порядок группирования.

Первая деталь a_1 относится к группе $\Gamma_1 = \{a_1\}$. Деталь a_2 образует следующую группу $\Gamma_2 = \{a_2\}$, т. к.

$$\varphi(a_2, \Gamma_1) = \varphi(a_2, a_1) = 0,88 < [\varphi].$$

Деталь a_3 также образует самостоятельную группу, т. к.

$$\varphi(a_3, \Gamma_1) = \varphi(a_3, a_1) = 0,83 < [\varphi];$$

$$\varphi(a_3, \Gamma_2) = \varphi(a_3, a_2) = 0,83 < [\varphi],$$

т. е. $\Gamma_3 = \{a_3\}$.

Таблица 1.1

Таблица исходных данных

Детали	Цилиндрическая наружная	Цилиндрическая внутренняя	Коническая наружная	Коническая внутренняя	Сферическая наружная	Торцовая плоская	Торцовая внутренняя	Канавка наружная	Фланец	Фланец с отверстиями	Фланец внутренний
	F1	F2	F3	F4	F5	F9	F12	F19	F31	F32	F33
a_1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0
a_2	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1
a_3	1	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0
a_4	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
a_5	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0
a_6	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1
a_7	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0

По формуле (1.1) рассчитываются значения мер близости и заполняется таблица мер близости (так как таблица симметрична, достаточно заполнение половины таблицы) (табл. 1.2).

Таблица 1.2

Таблица мер близости

Детали	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7
a_1	1,0	0,88	0,83	0,77	0,97	0,83	0,97
a_2		1,0	0,83	0,77	0,88	0,99	0,88
a_3			1,0	0,93	0,93	0,77	0,83
a_4				1,0	0,77	0,83	0,88
a_5					1,0	0,83	0,97
a_6						1,0	0,83
a_7							1,0

Пусть порядок предъявления деталей на группирование соответствует их порядковому номеру. Допустимое значение меры близости примем $[\varphi] = 0,9$.

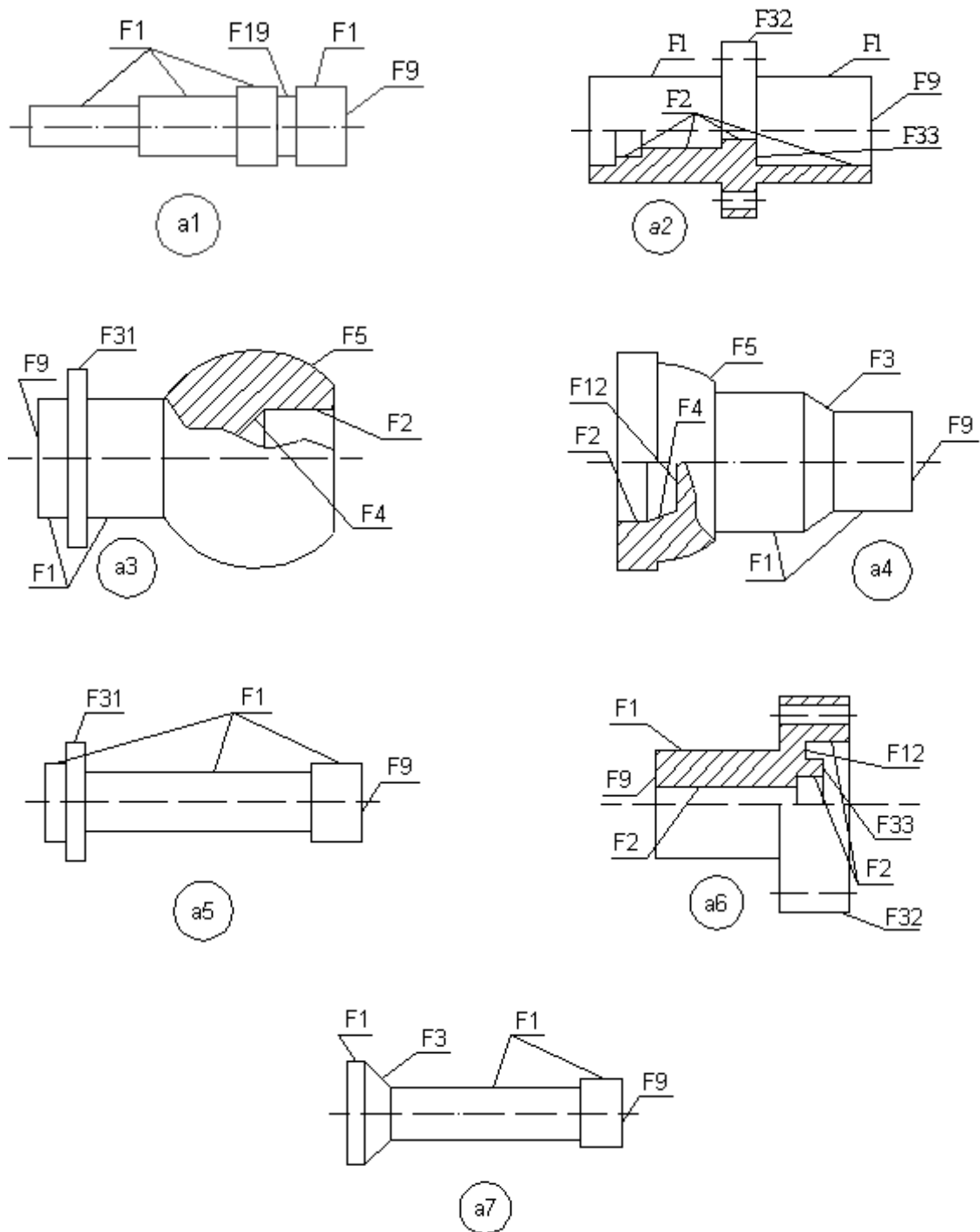


Рис. 1.1. Набор группируемых деталей

Деталь a_4 относится к Γ_3 , т. к.

$$\begin{aligned}\varphi(a_4, \Gamma_1) &= \varphi(a_4, a_1) = 0,77 < [\varphi]; \\ \varphi(a_4, \Gamma_2) &= \varphi(a_4, a_2) = 0,77 < [\varphi]; \\ \varphi(a_4, \Gamma_3) &= \varphi(a_4, a_3) = 0,93 > [\varphi],\end{aligned}$$

т. е. $\Gamma_3 = \{a_3, a_4\}$.

Аналогично, деталь a_4 будет отнесена к группе Γ_1 , т. е. $\Gamma_1 = \{a_1, a_5\}$. После проверки условия вхождения детали a_6 последовательно к уже имеющимся группам, она будет отнесена к группе Γ_2 , т. е. $\Gamma_2 = \{a_2, a_6\}$.

Деталь a_7 войдет в группу Γ_1 , т. к.

$$\varphi(a_7, a_1) = 0,97 > [\varphi] \text{ и } \varphi(a_7, a_5) = 0,97 > [\varphi].$$

Окончательно получаем:

$$\Gamma_1 = \{a_1, a_5, a_7\}; \Gamma_2 = \{a_2, a_6\}; \Gamma_3 = \{a_3, a_4\}.$$

Визуальный анализ подтверждает качество группирования. В прил. 1.3 приведена машинограмма расчета данного примера для различных значений $[\varphi] = 0,9; 0,94; 0,85; 0,82$.

1.3. Порядок выполнения работы

Рекомендуется такая последовательность выполнения практической работы:

1. Выбирается множество объектов группирования, используя прил. 2 в количестве 12–15 шт. Вычерчиваются эскизы выбранных деталей.

2. Выбранные детали описываются с учетом прил. 1.1. Заполняется таблица исходных данных.

3. Исходные данные вводятся в ПК и обрабатываются. Рекомендуется произвести расчет при нескольких значениях допустимой меры близости $[\varphi]$, чтобы оценить ее влияние на качество группирования.

4. Для одной из групп (содержащей не менее 4–5 деталей) определяется описание центра группы, комплексной детали. Вычерчивается эскиз комплексной детали, и разрабатываются рекомендации по отработке конструкций деталей на «групповую» технологичность.

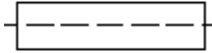
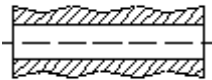
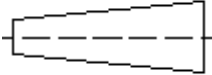
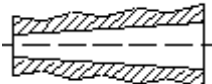
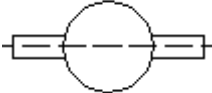
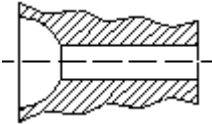
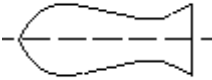
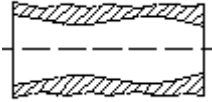
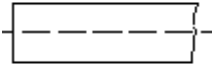
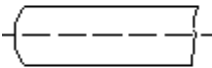
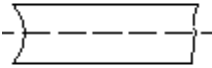
5. Оцениваются возможности и область рационального использования методов группирования в n -мерном признаковом пространстве.

1.4. Контрольные вопросы

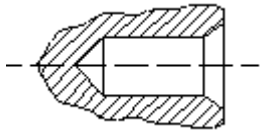
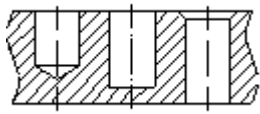
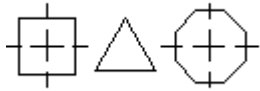


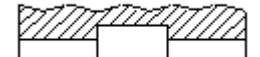
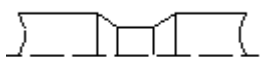
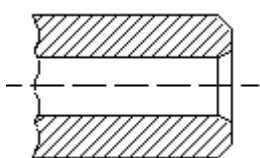
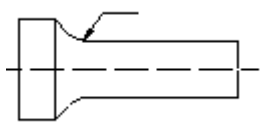
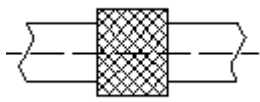
1. Поясните основные принципы формализации задачи группирования.
2. Объясните работу последовательного алгоритма группирования.
3. Охарактеризуйте способы определения и использования основных характеристик группы объектов.
4. Что такое «групповая» технологичность.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1.1

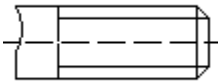
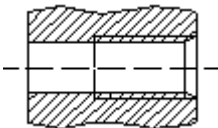
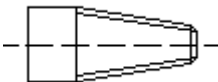
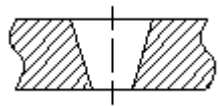
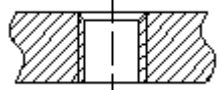
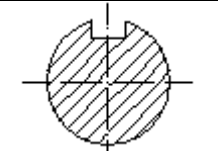
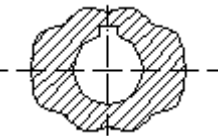
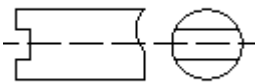
**Рекомендуемый набор элементарных поверхностей
для деталей типа тела вращения**

Элементарные поверхности		Шифр	Эскиз
Цилиндрическая поверхность	Наружная	F1	
	Внутренняя	F2	
Коническая поверхность	Наружная	F3	
	Внутренняя	F4	
Сферическая поверхность	Наружная	F5	
	Внутренняя	F6	
Фасонная поверхность	Наружная	F7	
	Внутренняя	F8	
Торцовая поверхность	Плоская	F9	
	Выпуклая	F10	
	Вогнутая	F11	
	Внутренняя	F12	

Продолжение прил. 1.1

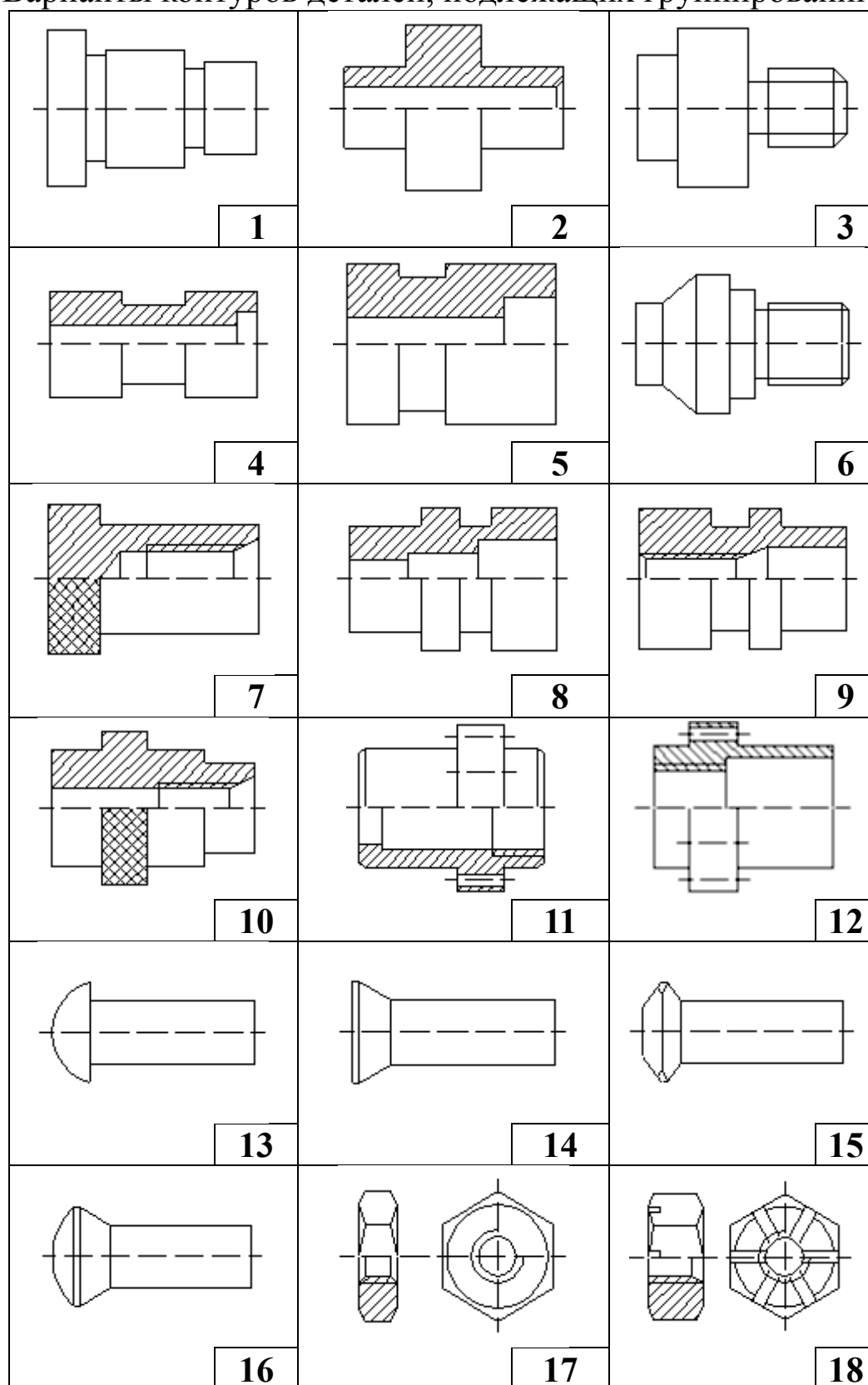
Элементарные поверхности		Шифр	Эскиз
Отверстие	Центральное	F13	
	Простое нецентральное	F14	
Многогранная поверхность		F15	
Канавка	Технологическая	F16	
	Наружная	F17	
	Внутренняя	F18	
	Трапецевидальная	F19	
Фаска		F20	
Галтель (скругление)		F21	
Накатка		F22	

Продолжение прил. 1.1

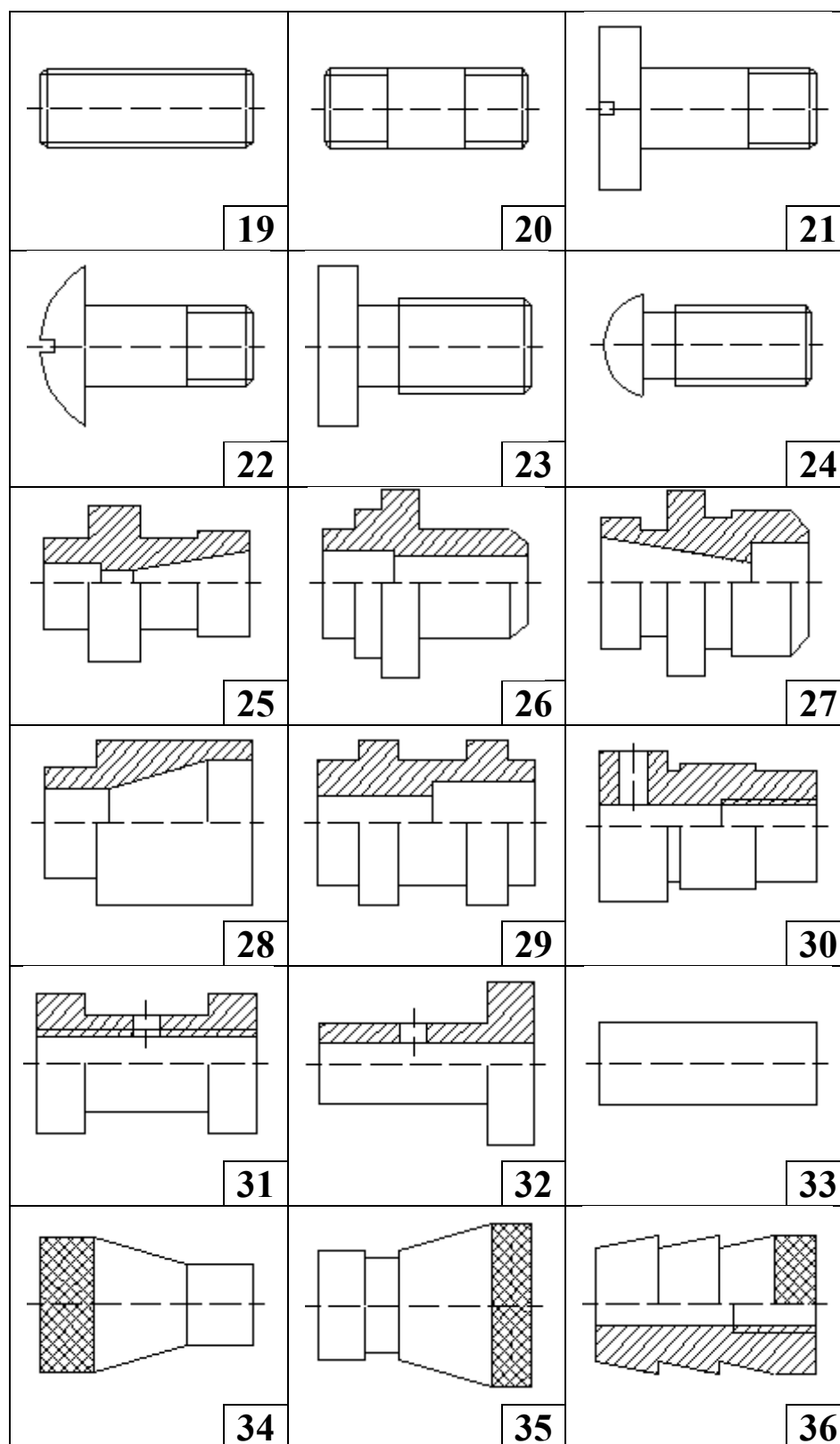
Элементарные поверхности		Шифр	Эскиз
Резьбовая поверхность	Наружная	F23	
	Внутренняя	F24	
	Коническая	F25	
Отверстие	Коническое нецентральное	F26	
	С резьбой	F27	
Паз	Наружный	F28	
	Внутренний	F29	
	На торце	F30	

ПРИЛОЖЕНИЕ 1.2

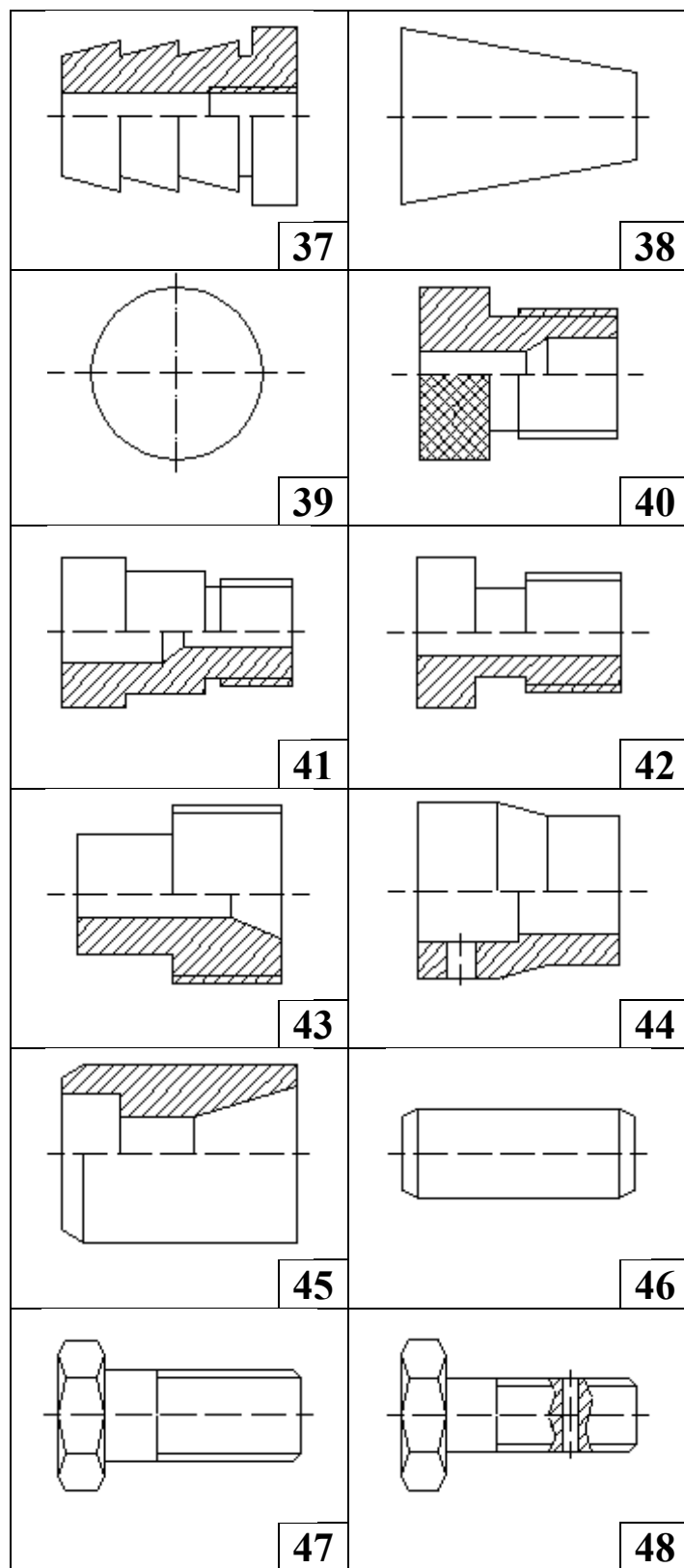
Варианты контуров деталей, подлежащих группированию



Продолжение прил. 1.2



Продолжение прил. 1.2



ПРИЛОЖЕНИЕ 1.3

Пример расчета на ЭВМ

Таблица исходных данных

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11
a1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0
a2	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1
a3	1	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0
a4	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
a5	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0
a6	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1
a7	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0

Таблица мер близости

	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7
a1	1	0,88321	0,82876	0,7707	0,96799	0,82876	0,96799
a2	0,88321	1	0,82876	0,7707	0,88321	0,9918	0,88321
a3	0,82876	0,82876	1	0,93076	0,93076	0,7707	0,82876
a4	0,7707	0,7707	0,93076	1	0,7707	0,82876	0,88321
a5	0,96799	0,88321	0,93076	0,7707	1	0,82876	0,96799
a6	0,82876	0,9918	0,7707	0,82876	0,82876	1	0,82876
a7	0,96799	0,88321	0,82876	0,88321	0,96799	0,82876	1

Мера близости = 0,94

1-я группа [1, 5, 7] Потенциал группы: 0,9679

2-я группа [2, 6] Потенциал группы: 0,9918

3-я группа [3] Потенциал группы: 1

4-я группа [4] Потенциал группы: 1

Мера близости = 0,9

1-я группа [1, 5, 7] Потенциал группы: 0,9679

2-я группа [2, 6] Потенциал группы: 0,9918

3-я группа [3, 4] Потенциал группы: 0,9307

Мера близости = 0,85

1-я группа [1, 2, 5, 7] Потенциал группы: 0,9256

2-я группа [3, 4] Потенциал группы: 0,9307

3-я группа [6] Потенциал группы: 1

Мера близости = 0,82

1-я группа [1, 2, 3, 5, 7] Потенциал группы: 0,897

2-я группа [4, 6] Потенциал группы: 0,8287

Лабораторная работа № 2.

РАСЧЕТ ПОГРЕШНОСТИ БАЗИРОВАНИЯ

2.1. Цель работы

Цель работы – закрепить у студентов теоретические знания о расчете погрешности базирования при установке деталей в приспособлении при механической обработке, научиться определять наиболее рациональные схемы базирования. Продолжительность работы – 2 часа.

2.2. Основные теоретические положения

Обеспечение заданной точности механической обработки с использованием приспособлений в значительной мере зависит от выбора технологических баз и схемы установки заготовок. При обработке заготовок в приспособлениях на предварительно настроенных станках (способ автоматического получения размеров) возникает погрешность установки заготовки

$$\varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_{\delta}^2 + \varepsilon_z^2} + \varepsilon_{н.з.}, \quad \dots(2.1)$$

где ε_{δ} – погрешность базирования; ε_z – погрешность закрепления; $\varepsilon_{н.з.}$ – погрешность положения заготовки

$$\varepsilon_{н.з.} = \sqrt{\varepsilon_c^2 + \varepsilon_u^2 + \varepsilon_{изг}^2}, \quad (2.2)$$

где ε_c – погрешность установки приспособления на станке, обычно можно принять $\varepsilon_c = 0,01 \dots 0,02$ мм; ε_u – погрешность износа установочных элементов приспособления, $\varepsilon_u = 0,01$ мм; $\varepsilon_{изг}$ – погрешность изготовления и сборки приспособления (зависит от способа изготовления приспособления).

Допуск выполнения какого-либо заданного размера l может быть определен как

$$T_l = \varepsilon_y + \omega, \quad (2.3)$$

где ω – средняя экономическая точность обработки на станках, данные о которой приводятся в справочниках. Точность операции обеспечивается если при принятых методах обработки и схеме

установки заготовки ожидаемое расчетное значение допуска T_l меньше заданного $[T_l]$:

$$T_l \leq [T_l]. \quad (2.4)$$

Для расчета ожидаемой точности обработки технологю необходимо определить все составляющие погрешности в формулах 2.1–2.3. Из них наибольшую трудность представляет определение погрешности базирования, так как значения остальных погрешностей с достаточной для расчетов точностью обычно можно выбрать из справочной литературы. Методы расчета погрешности базирования и является темой данной работы.

Некоторые основные понятия теории базирования:

- **база** – поверхность, принадлежащая заготовке или изделию, и используемая при базировании;
- **конструкторская база** – база, используемая для определения положения детали или сборочной единицы в изделии;
- **технологическая база** – база, используемая для определения положения детали при ее изготовлении или ремонте;
- **измерительная база** – база, используемая для определения положения средств измерения при контроле расположения поверхностей заготовки или элементов изделия;
- **комплект баз** – совокупность баз, определяющих полную ориентацию предмета производства;
- **опорная точка** – точка, символизирующая каждую из связей заготовки с выбранной системой координат (связь считается жесткой и двухсторонней);
- **схема базирования** – схема расположения опорных точек на базах;
- **правило 6-ти точек** – для обеспечения ориентированного положения и полной неподвижности заготовки в выбранной системе координат на нее необходимо наложить шесть двухсторонних геометрических связей.

Существует несколько основных принципов базирования, выполнение которых обеспечивает изготовление качественных деталей при их механической обработке.

Принцип **единства баз** – в качестве технологических баз надо принимать измерительные (конструкторские) базы.

Принцип **постоянства баз** – использовать один комплект баз для обработки максимально возможного количества поверхностей.

Принцип **организованной смены баз** – если невозможно обработать деталь от одного комплекта баз, то в качестве баз на следующей операции надо принимать поверхности, обработанные на предыдущей операции.

Из этих принципов вытекает и понятие погрешности базирования.

Погрешность базирования – погрешность, возникающая при несовпадении измерительной и технологической баз, и равная допуску на размер (цепочку размеров), соединяющий эти базы. Для типовых схем базирования следует пользоваться справочными таблицами (приложение), при этом рекомендуется принимать $\varepsilon_{\bar{\delta}} = (0,8 \dots 0,85) \varepsilon_{\bar{\delta} \text{ табл.}}$

Порядок расчета погрешности базирования для какого-либо получаемого на данной операции механической обработки размера следующий:

1. Определяются для данного размера технологическая (поверхность, которая ограничивает перемещение заготовки вдоль рассматриваемого размера) и измерительная (поверхность, от которой проставлен этот размер) базы.

2. Если эти поверхности совпадают (базы совмещены), то погрешность базирования равна нулю. Если это разные поверхности, то определяют размер или цепочку размеров (полученных ранее), связывающие эти поверхности.

3. Так как размеры (и их допуски) уже известны, погрешность базирования определяется как сумма допусков размеров, входящих в выделенную в п. 2 цепочку размеров.

Для выполнения операций обработки резанием на станках часто применяют схему установки заготовок, когда комплект технологических баз состоит из плоской поверхности (поверхностей) и отверстия или плоской и наружной цилиндрической поверхности. При этом базирование заготовок производится на опорные пластины, установочные пальцы (цилиндрические и срезанные), центрирующие втулки с гарантированным зазором, а также на цилиндрические оправки (с гарантированным зазором или натягом).

Установочные пальцы (оправки) при установке заготовок с гарантированным зазором изготавливают с полями допусков $g5, g6, f6, f7, e7$, центрирующие втулки – $G5, G6, F7$, а цилиндрические оправки для установки заготовок с натягом изготавливают с полями допусков валов n, p, r, s, t по 5-му и 6-му квалитетам. Однако для каждого конкретного случая поле допуска на исполнительные размеры установочных элементов определяется расчетом из условия обеспечения неподвижности заготовки или возможности установки заготовок и обеспечения заданной точности размеров в соответствии с уравнением (2.4).

При установке заготовок на отверстие с гарантированным зазором погрешность базирования является основной составляющей погрешности установки и обуславливается величиной зазора между технологической базой и установочным элементом. Максимально возможное значение зазора определяют по уравнению

$$S_{\max} = T_D + S_{\min} + T_d, \quad (2.5)$$

где T_D – допуск базового отверстия заготовки (или центрирующей втулки); S_{\min} – минимальный зазор в сопряжении; T_d – допуск на размер установочного элемента (или базовой поверхности заготовки).

Рассмотрим следующую задачу.

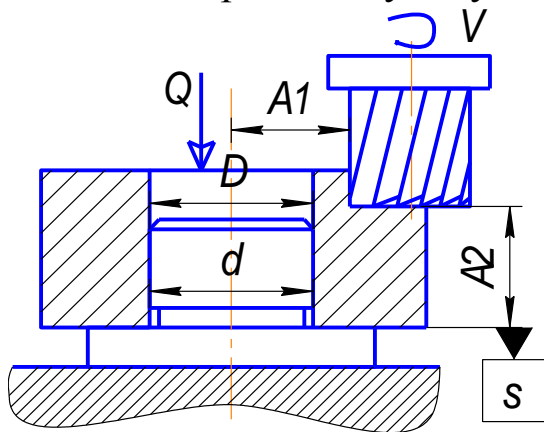


Рис. 2.1. Схема фрезерования втулки (к задаче 1)

Задача 1. На вертикально-фрезерном станке обрабатывают ступенчатую поверхность втулки, установленную на цилиндрический палец с буртом (рис. 2.1). Диаметр базового отверстия $D = 30^{+0,039}$ мм, диаметр установочного пальца $d = 30^{+0,007}_{-0,016}$ мм. Требу-

ется определить ожидаемую точность выполнения размеров $A1$ и $A2$, если известно, что составляющие погрешности уста-

новки (погрешности закрепления и положения заготовки) равны нулю, т. е. $\varepsilon_z = \varepsilon_{n.z.} = 0$. Точность метода обработки принять равной $\omega = 0,12$ мм.

Решение. Исходя из схемы установки заготовки в приспособлении погрешность базирования при выполнении размера A_1 определим по уравнению

$$\varepsilon_{\delta, A_1} = S_{\max} = T_D + S_{\min} + T_d = 0,039 + 0,007 + 0,09 = 0,055 \text{ мм},$$

а погрешность базирования при выполнении размера A_2 $\varepsilon_{\delta, A_2} = 0$, поскольку измерительная и технологические базы совмещены.

В соответствии с уравнениями (2.1) и (2.3) ожидаемая точность выполнения размеров будет (при $\varepsilon_3 = \varepsilon_{n.3} = 0$):

$$T_{A_1} = \varepsilon_{\delta, A_1} + \omega = 0,055 + 0,12 = 0,175 \text{ мм},$$

$$T_{A_2} = \varepsilon_{\delta, A_2} + \omega = 0 + 0,12 = 0,12 \text{ мм}.$$

2.3. Задачи для самостоятельного решения

Задача 2. Для фрезерования паза концевой фрезой рычаг устанавливается в призмах. Найти зависимости погрешности базирования для размеров A_1 , A_2 , A_3 и A_4 . Угол призм – 90° . Размер L_0 между осями базовых цилиндрических поверхностей (d_1 и d_2) выполнен с отклонениями $\pm T_{L_0}/2$ (рис. 2.2).

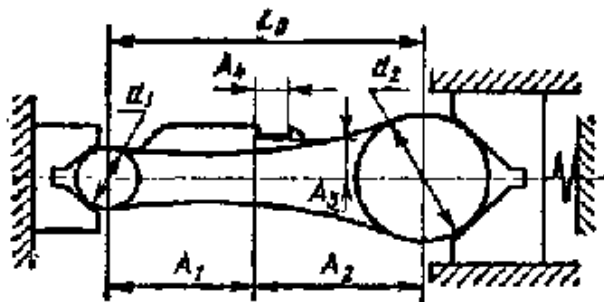


Рис. 2.2. Схема установки рычага (к задаче 2)

Задача 3. На горизонтально-фрезерном станке в головках шатуна набором фрез обрабатываются пазы шириной B_1 и B_2 . Вследствие неточности выполнения размеров базовых поверхностей d_1 и межосевого расстояния L_0 возникает отклонение от соосности пазов относительно осей головок шатуна e_1 и e_2 . Вывести расчетные зависимости $\varepsilon_{\delta e_1}$ и $\varepsilon_{\delta e_2}$ для различных схем установки и выбрать оптимальный вариант базирования шатуна для выполнения операции (рис. 2.3).

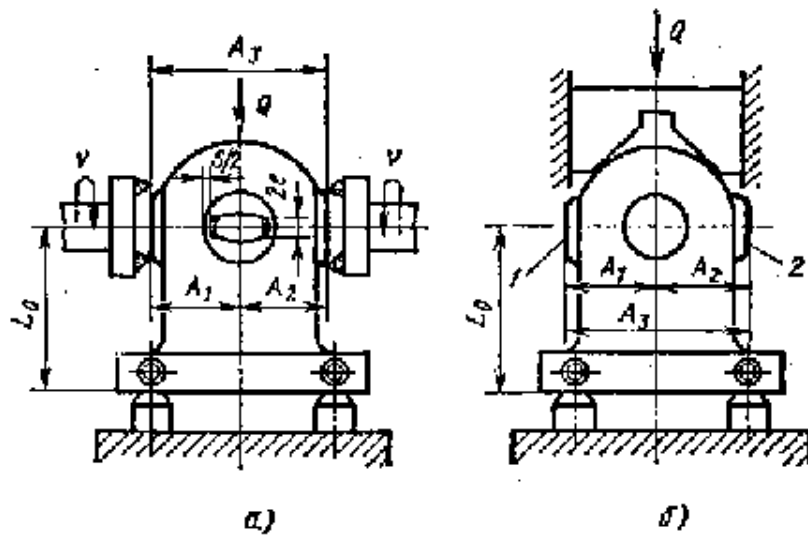


Рис. 2.3. Схемы обработки пазов в головках шатуна (к задаче 3)
 A_1 и A_2 – настроечные размеры

Задача 4. Возможны два варианта установки корпуса для одновременной обработки поверхностей 1 и 2 на продольно-фрезерном станке (рис. 2.4). Найти зависимости погрешности базирования при выполнении размеров A_1 , A_2 и A_3 для двух схем установки и определить, какая из них обеспечивает наименьшую разность размеров A_1 и A_2 .

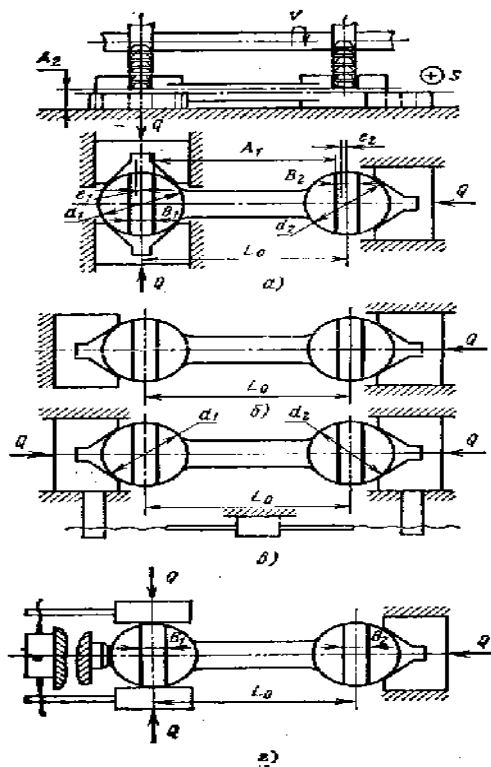


Рис. 2.4. Схемы обработки поверхностей корпуса (к задаче 4)

Задача 5. На горизонтально-фрезерном станке набором фрез одновременно производят обработку поверхностей 1, 2, 3, 4 (рис 2.5). Вывести расчетные зависимости для определения погрешности базирования при выполнении размеров A_1, A_2, A_3, A_4, A_5 и A_6 . Указать размеры, на точность выполнения которых будет оказывать влияние непостоянство силы зажима заготовки. Размеры A_7 и A_8 выполнены соответственно с отклонениями $\pm T_{A7}/2$ и $\pm T_{A8}/2$.

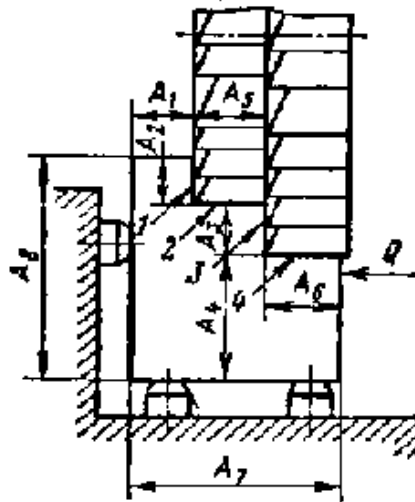


Рис. 2.5. Схема обработки (к задаче 5)

Задача 6. На вертикально-сверлильном станке производят обработку ступенчатого отверстия комбинированным зенкером (рис. 2.6). Вывести зависимости для определения погрешности базирования размеров A_1, A_2, A_3, A_5, D_1 и D_2 .

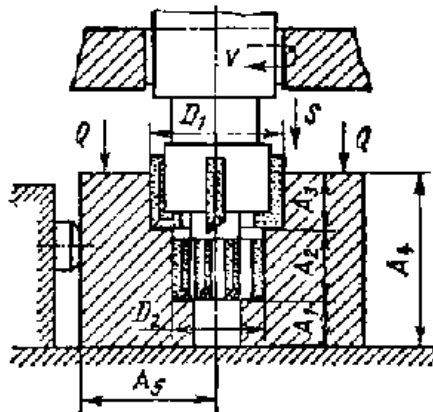


Рис. 2.6. Схема обработки отверстия (к задаче 6)

Задача 7. При обработке поверхностей заготовки на горизонтально-фрезерном станке набором фрез возможны два варианта установки (рис. 2.7). Требуется определить, какая схема установки обеспечивает выполнение заданной точности размеров: $50^{+0,3}$ мм, $75_{-0,2}$ мм и $40 \pm 0,1$ мм. Наружная цилиндрическая поверхность заготовки $R = 30_{-0,1}$ мм, диаметр отверстия $D = 30^{+0,021}$ мм. Размеры установочных пальцев $d = 30_{-0,020}^{-0,007}$ мм. Угол призмы – 90° . Средняя экономическая точность метода обработки $\omega = 0,050$ мм. Погрешностью закрепления заготовки и погрешностью положения заготовки в приспособлении пренебречь, т. е. принять $\varepsilon_3 = \varepsilon_{п.з.} = 0$.

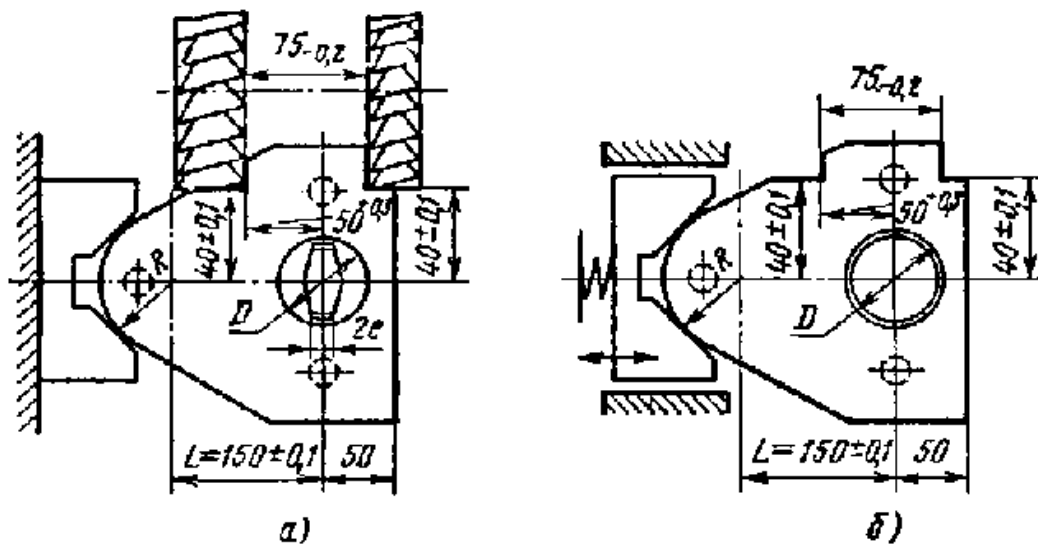


Рис. 2.7. Схемы установки заготовки при фрезеровании (к задаче 7)

Задача 8. На вертикально-сверлильном станке производят зенкерование отверстия и подрезку торца, выдерживая размеры A_1 , A_2 , A_3 , A_5 и D . Вывести расчетные зависимости для определения погрешности базирования при выполнении указанных размеров (рис. 2.8). Размер A_4 выполнен с отклонениями $\pm T_{A4}/2$.

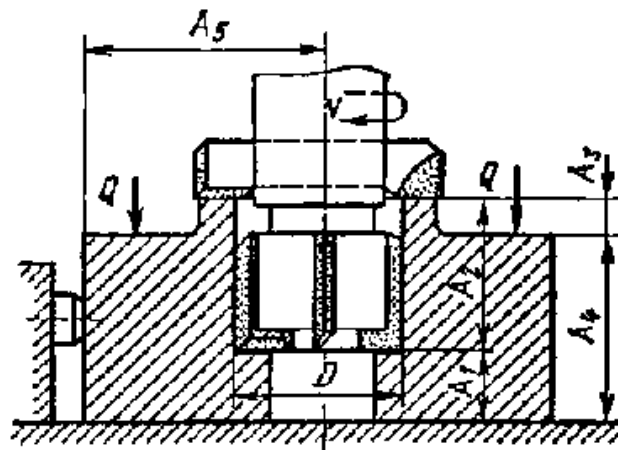


Рис. 2.8. Схема обработки заготовки (к задаче 8)

Задача 9. В шатуне сверлятся четыре отверстия через кондукторные втулки (рис. 2.9). Кондукторная плита имеет жесткую связь с корпусом приспособления. Требуется при точности изготовления базовых поверхностей заготовок $d = 70_{-0,3}^{+0,3}$ мм, $D = 30_{-0,016}^{+0,033}$ мм и их межосевого расстояния $L_0 = 200 \pm 0,05$ мм определить погрешность базирования при выполнении размеров A_1, A_2, A_3, A_4 и возможное отклонение от соосности обрабатываемых отверстий относительно плоскости симметрии базовых поверхностей e_1 и e_2 . Выбрать, какая из приведенных схем базирования обеспечивает наибольшую точность выполнения указанных размеров. Угол призм – 90° , диаметр установочных пальцев $30_{-0,016}^{+0,007}$.

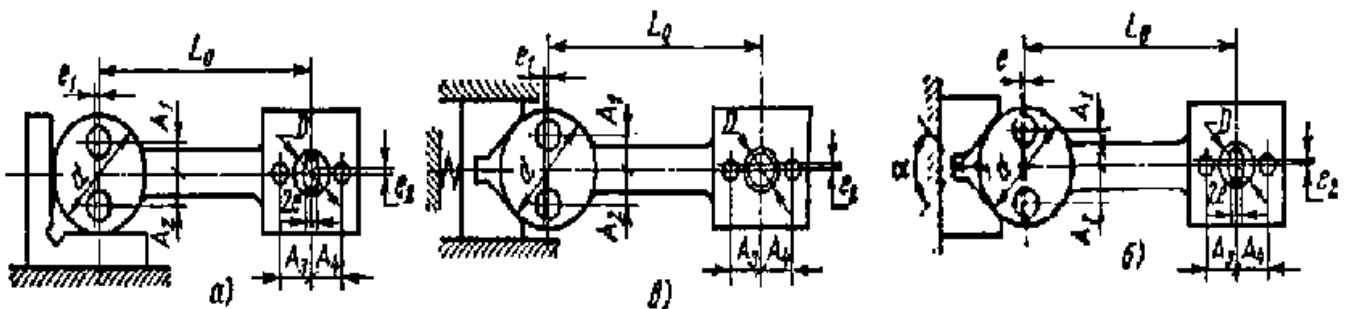


Рис. 2.9. Схемы установки шатуна при сверлении отверстий (к задаче 9)

Задача 10. При установке заготовок на плоскую поверхность и два отверстия производят обработку поверхностей *1*, *2*, *3* и паза, выдерживая размеры $A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6$ и A_7 (рис. 2.10). Требуется:

1. Определить погрешность базирования для указанных размеров, если известно, что базовые отверстия заготовок D_1, D_2 выполнены с допуском $T_{D1} = T_{D2} = 0,013$ мм, установочные пальцы d_1 и d_2 — с допуском $T_{d1} = T_{d2} = 0,009$ мм, а минимальный зазор в сопряжении базовых отверстий с установочными пальцами $S_{1\min} = S_{2\min} = 0,007$ мм. Размер между осями базовых отверстий выполнен с отклонениями $\pm 0,05$ мм.

2. Определить, возможна ли обработка поверхностей *1* и *3* одновременно набором фрез, если заданная точность для размеров A и A_5 составляет $T_A = T_{A5} = 0,15$ мм, а средняя экономическая точность принятого метода обработки $\omega = 0,1$ мм.

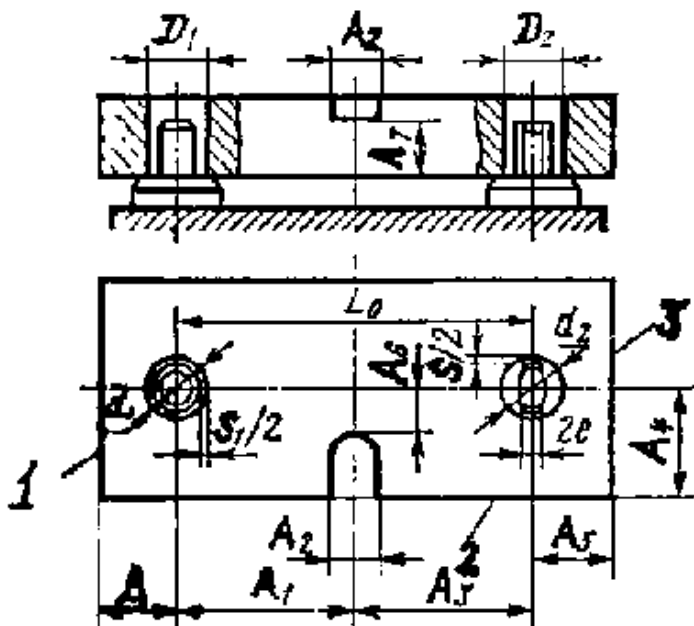


Рис. 2.10. Схема установки заготовки (к задаче 10)

Задача 11. На вертикально-фрезерном станке обрабатывают ступенчатую поверхность втулки, установленной на цилиндрический палец с буртом (рис. 2.11). Диаметр базового отверстия $D = 30^{+0.039}$ мм, диаметр установочного пальца $d = 30_{-0.016}^{0.007}$ мм. Требуется определить ожидаемую точность выполнения размеров A_1 и A_2 , если известно, что составляющие погрешности уста-

новки (погрешности закрепления и положения заготовки) равны нулю. Точность метода обработки принять равной $\omega = 0,120$ мм.

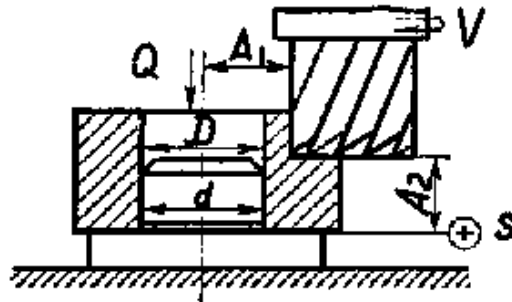


Рис. 2.11. Схема фрезерования втулки (к задаче 11)

Задача 12. На горизонтально-фрезерном станке за два установа производят обработку поверхностей головок шатуна, установленного плоскостью и двумя отверстиями на цилиндрический и срезанный пальцы. Базовые отверстия выполнены в размер $D_1 = D_2 = 50^{+0,039}$ мм. Установочные пальцы выполнены по посадке $50f7\left(-0,025\right)_{-0,050}$ мм (рис. 2.12). Определить точность выполнения размера 70 головки шатуна и возможность обработки поверхностей шатуна набором фрез при заданной точности выполнения размеров $45^{+0,4}$ мм. Допуск на размер между осями размеров $T_L = 0,1$ мм. Точность метода обработки $\omega = 0,050$ мм.

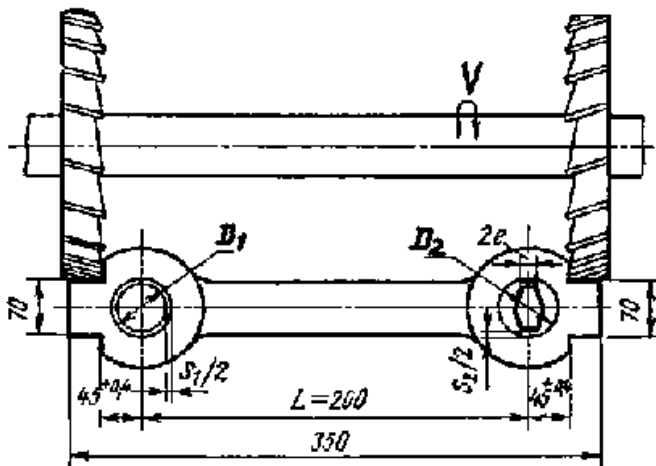


Рис. 2.12. Схема обработки шатуна (к задаче 12)

Задача 13. В торце вала диаметром $65_{-0,2}$ мм требуется просверлить отверстие диаметром 12,0 мм (рис. 2.13). Положение оси отверстия определяется размером H , заданным от образую-

щей цилиндрической поверхности вала. При проектировании приспособления возможны три варианта 1, 2, 3 расположения втулок в кондукторной плите относительно призмы. Определить, при каком положении кондукторной втулки обеспечивается наименьшая погрешность базирования для размера H . Угол призмы – 90° .

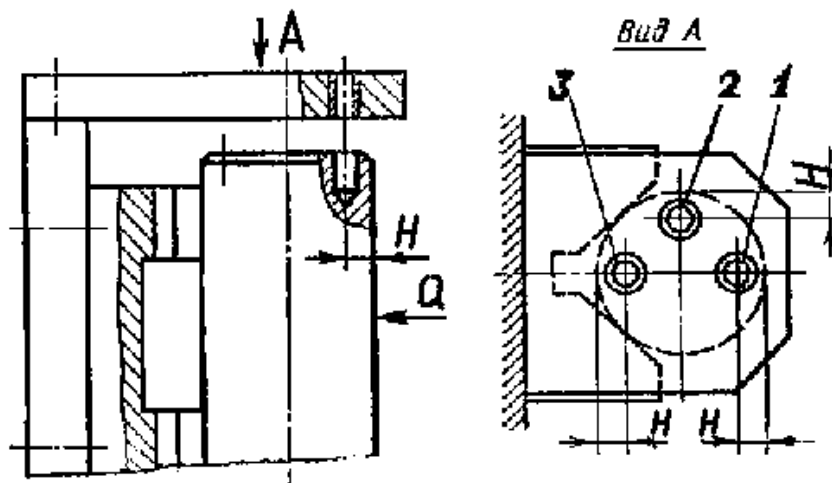


Рис. 2.13. Схема установки кондукторной втулки при сверлении отверстия в торце вала (к задаче 13)

Задача 14. У цилиндрических втулок с наружным диаметром $d = 80_{-0,2}$ мм и внутренним $D = 40^{+0,050}$ мм требуется фрезеровать шпоночный паз шириной $B = 18^{+0,1}$ мм, выдерживая размеры $H = 70_{-0,2}$ мм и $h = 90^{+0,3}$ мм. Смещение оси шпоночного паза e относительно диаметральной плоскости втулки не должно превышать 0,1 мм. Выбрать такую схему установки (из шести), для которой расчетная погрешность базирования для выполняемых размеров B , H , h и отклонение от соосности e минимально и обеспечивается достижение заданной точности обработки (рис. 2.14).

Угол призм – 90° , максимальный зазор при установке заготовки на палец или во втулку $S_{max} = 0,01$ мм. Допуск на изготовление установочного пальца и центрирующей втулки равен $0,02$ мм. Точность метода обработки $\omega = 0,060$ мм. Погрешностью закрепления заготовки и погрешностью положения заготовки в приспособлении пренебречь, т.е. принять $\varepsilon_3 = \varepsilon_{п.з.} = 0$.

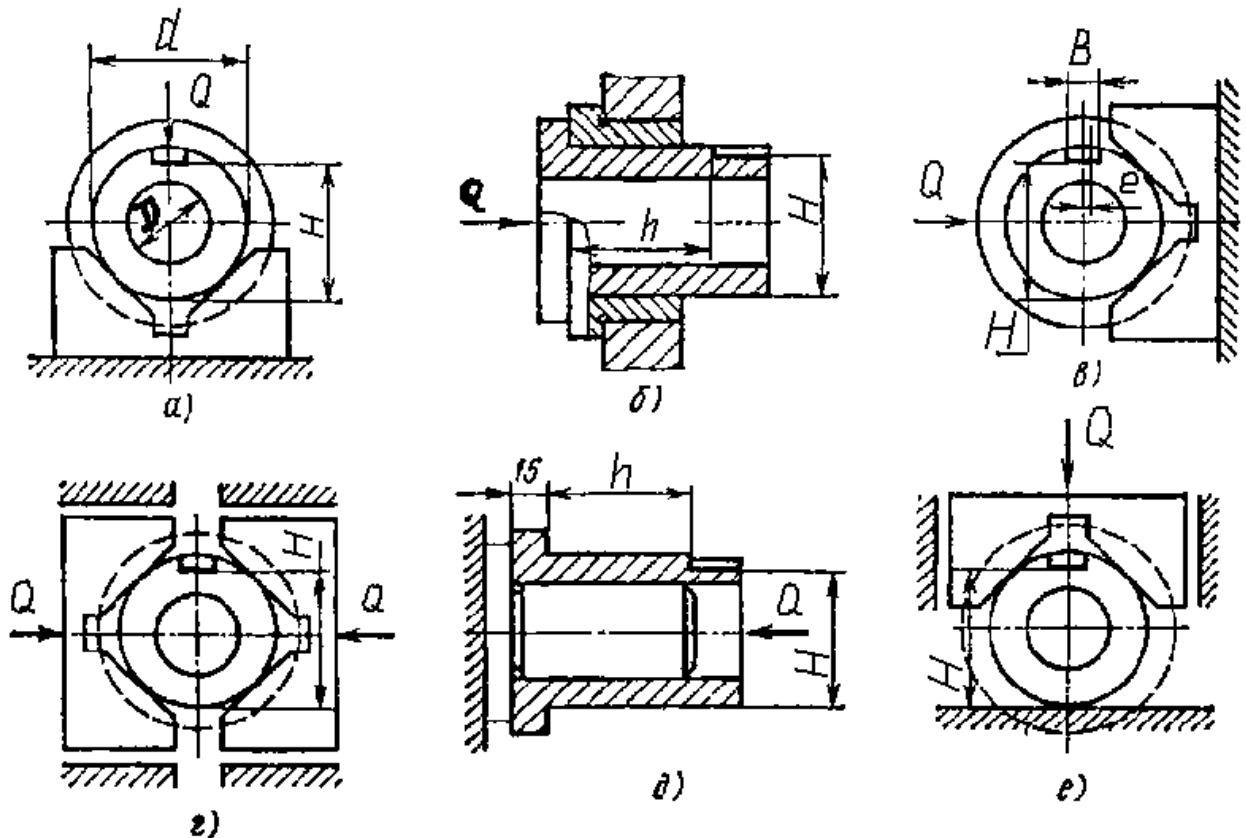


Рис. 2.14. Схемы установки заготовки при обработке шпоночного паза (к задаче 14)

Задача 15. Для фрезерования поверхностей 1 и 2 используют две схемы установки заготовки (рис. 2.15). В качестве технологических баз в обоих случаях используют наружную цилиндрическую поверхность d , торцовую поверхность и отверстие заготовки. Размеры заготовок d и D выполнены с допусками T_d и T_D , отверстие центрирующей втулки D_1 – с допуском T_{D1} . Требуется найти зависимости для определения погрешности базирования для размеров A_1, A_2, A_3 .

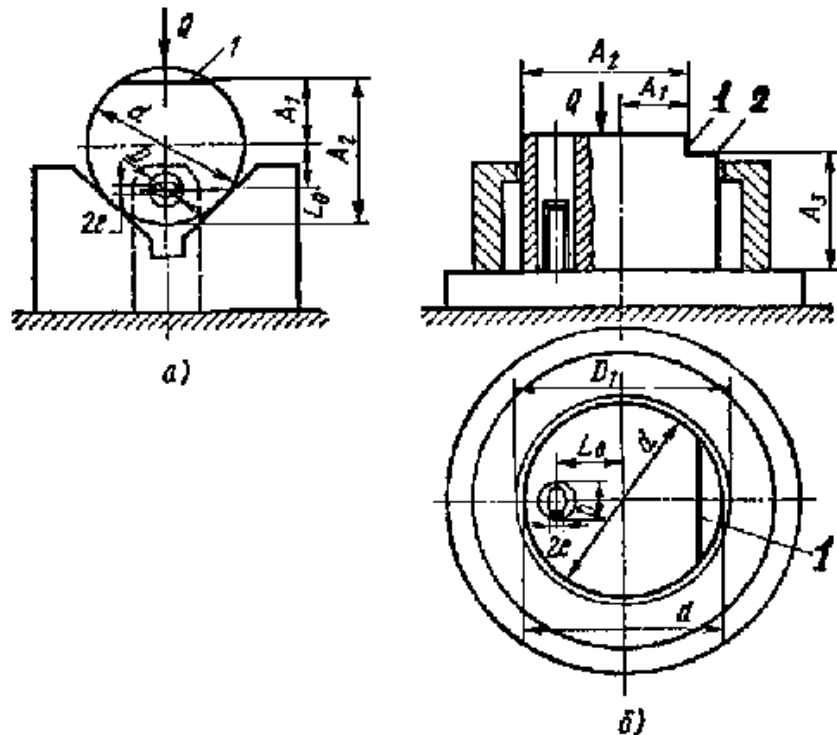


Рис. 2.15. Схемы установки заготовки (к задаче 15)

Задача 16. Для фрезерования паза заготовку устанавливают в центрирующую втулку (рис. 2.16). Найти зависимости для определения погрешности базирования для размеров A_1, A_2, A_3, A_4 и A_5 при заданной точности размеров заготовки N, A, d и центрирующей втулке D .

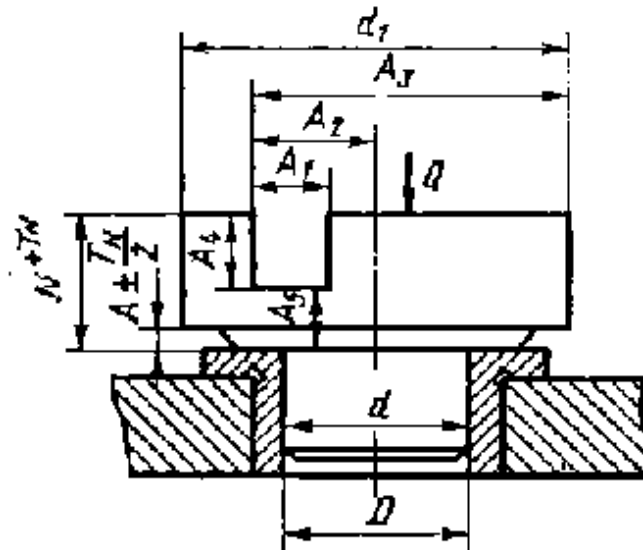


Рис. 2.16. Схема установки заготовки при фрезеровании паза
(к задаче 16)

Задача 17. Для обработки шпоночного паза концевой фрезой на вертикально-фрезерном станке возможны четыре различные схемы установки (рис. 2.17). Вывести расчетные зависимости для определения погрешности базирования для размеров A_1 , A_2 и B , а также погрешности базирования, обусловленной появлением отклонения от соосности шпоночного паза относительно плоскости симметрии заготовки. Выяснить, при каких схемах установки возникает отклонение от параллельности дна шпоночного паза относительно осей отверстий D_1 и D_2 и по какой причине (дать расчетную зависимость).

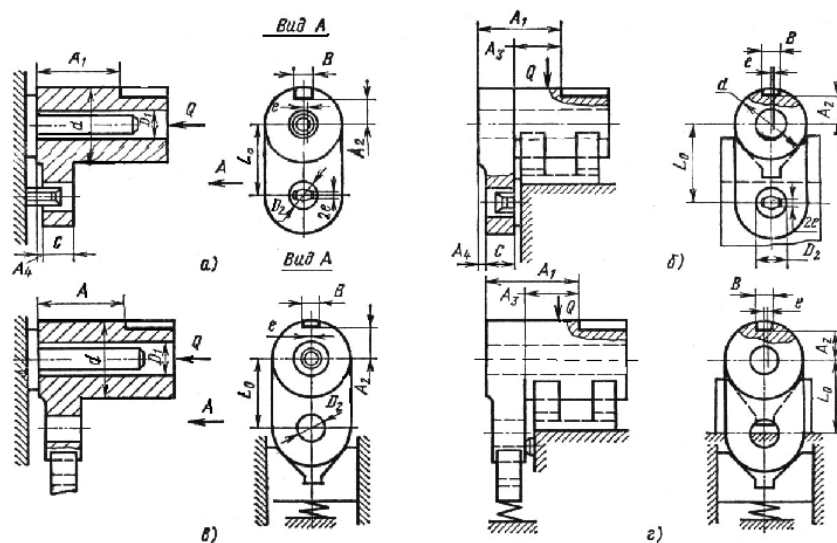


Рис. 2.17. Схемы установки для обработки шпоночного паза
(к задаче 17)

Задача 18. На вертикально-фрезерном станке концевой фрезой обрабатывают ступенчатую поверхность крышек, устанавливаемых в центрирующую втулку (рис. 2.18). Найти зависимости для определения погрешности базирования для размеров A_1 , A_2 и A_3 при заданной точности размеров заготовки d , d_1 и центрирующей втулки D .

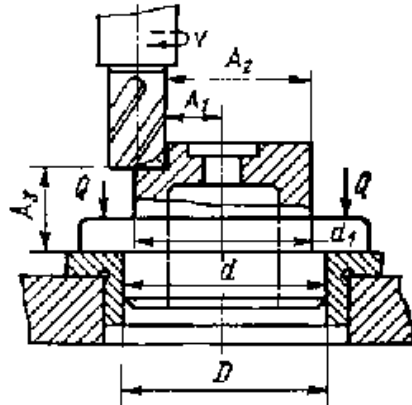


Рис. 2.18. Расчетная схема (к задаче 18)

Задача 19. На торцевой поверхности валов, устанавливаемых в призму, сверлятся два отверстия диаметром 10 мм (рис 2.19). Требуется, чтобы разность размеров H_1 и H_2 , заданных от образующей цилиндрической поверхности до оси обрабатываемого отверстия, была минимальной. Рассчитать, при каком расположении кондукторных втулок относительно призмы данное требование будет обеспечиваться. Диаметр вала $80^{+0,15}$ мм, угол призмы – 90° .

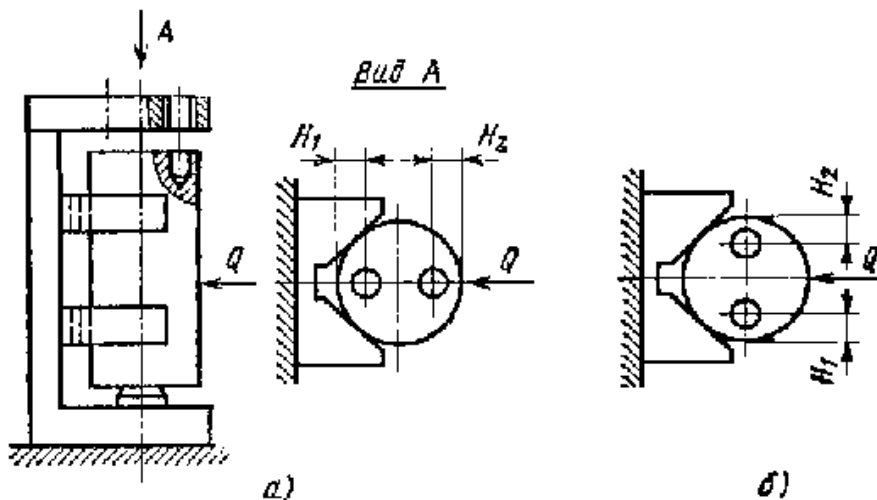


Рис. 2.19. Схемы расположения кондукторных втулок относительно призмы (к задаче 2.19)

Задача 20. На горизонтально-протяжном станке обрабатывают шпоночный паз (рис. 2.20). Требуется вывести расчетные зависимости и определить погрешность базирования при выполнении размеров A и B , а также определить возможное отклонение от перпендикулярности оси шпоночного паза относительно осей отверстий D_1 и D_2 , если известно, что диаметры базовых отверстий выполнены с допусками $T_{D1} = T_{D2} = 0,025$ мм, а установочных пальцев – с допусками $T_{d1} = T_{d2} = 0,011$ мм. Минимальный зазор в сопряжении базовых отверстий рычага с установочными пальцами приспособления $S_{1\min} = S_{2\min} = 0,009$ мм.

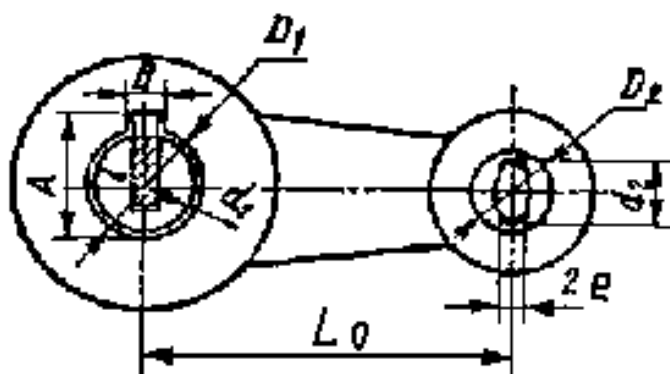


Рис. 2.20. Схема обработки шпоночного паза (к задаче 20)

2.4. Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с основными теоретическими положениями по расчету погрешности базирования заготовок при механической обработке.
2. По указанию преподавателя рассмотреть и решить 2-3 задачи из раздела 3 (задачи для самостоятельного решения).
3. Решение задач оформить в виде отчета по работе.

2.5. Контрольные вопросы

1. Поясните основные термины теории базирования.
2. Как определяется погрешность установки заготовки в приспособлении?
3. Поясните основные принципы базирования.
4. Что такое погрешность базирования?

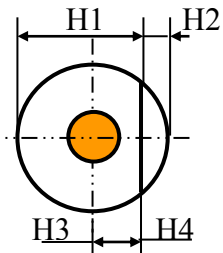
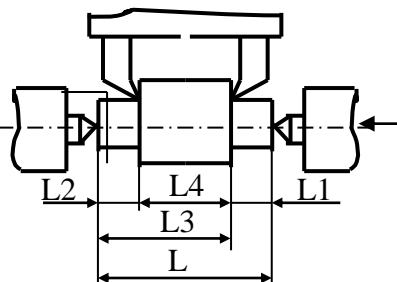
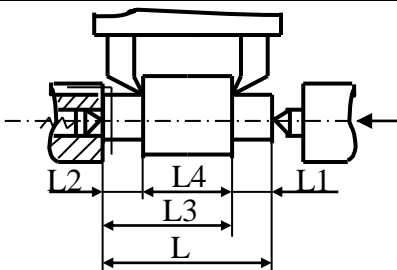
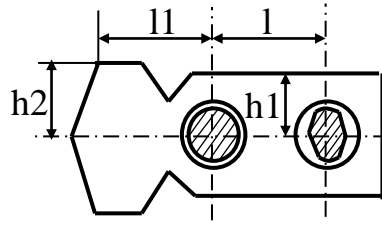
5. Как определяется погрешность базирования при посадке с гарантированным зазором?

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица П1

Погрешность базирования $\xi_{б табл}$ при обработке деталей
в приспособлениях

№ схе мы	Базирование	Схема установка	Раз мер	Погрешность базирования $\xi_{б табл}$
1	По наружной цилиндрической поверхности – размеры перпендикулярны плоскости основания призмы		H_1	$0,5TD\left(\frac{1}{\sin\alpha} - 1\right)$
			H_2	$0,5TD\left(\frac{1}{\sin\alpha} + 1\right)$
			H_3	$0,5TD\frac{1}{\sin\alpha}$
2	По наружной цилиндрической поверхности (в призме) – размеры параллельны плоскости основания призмы		H_1	$0,5TD$
			H_2	$0,5TD$
			H_3	0
3	По двум плоскостям – обработка уступа		A	0
			B	$Th \cdot \operatorname{tg}\alpha$ при $\alpha \neq 90^\circ$
				0 при $\alpha = 90^\circ$
			C	TH
4	На цилиндрический палец (оправку) с зазором при обработке плоской поверхности или паза		H_1 ; H_2	$0,5TD + 2e + \delta_1 + \delta_2 + 2\Delta$
			H_3	$2e + \delta_1 + \delta_2 + 2\Delta$
			H_4	$\delta_1 + \delta_2 + 2\Delta$

5	На цилиндрический палец (оправку) с натягом при обработке плоской поверхности или паза		$H_1;$ H_2	$0,5TD + 2e$
			H_3	$2e$
			H_4	0
6	Установка в центрах – жесткий передний центр		L_1	$\delta_L + \Delta_{Ц}$
			$L_2,$ L_3	$\Delta_{Ц} = \frac{\delta_d}{\operatorname{tg} \alpha}$
			L_4	0
7	Установка в центрах – плавающий передний центр		L_1	δ_L
			$L_2,$ $L_3,$ L_4	0
8	По двум отверстиям на пальцах при обработке верхней поверхности		h_1	$2\Delta + \delta_1 + \delta_2$
			h_2	$(2\Delta + \delta_1 + \delta_2) \left(\frac{2l_1 + l}{l} \right)$

Примечание:

1. На схемах 4, 5, 8: H_3 – размер от обрабатываемой поверхности до оси наружной поверхности; H_4 – то же, до оси отверстия; e – эксцентриситет наружной поверхности относительно отверстия; δ_1 – допуск на диаметр отверстия; δ_2 – допуск на диаметр пальца; Δ – минимальный радиальный зазор посадки заготовки на палец; δ_l – допуск на длину заготовки.

2. Погрешность базирования в схемах 4, 5 включает погрешность приспособления $\xi_{пр}$.

3. На схеме 6: δ_d – допуск на диаметр центрального гнезда; α – половина угла центрального гнезда; $\Delta_{Ц}$ – погрешность глубины

центрального гнезда (просадка центра). При угле центра $2\alpha = 60^\circ$ просадку центра $\Delta_{\text{Ц}}$ можно принимать:

наибольший диаметр

центрального гнезда, мм 1; 2; 2,5 4; 5; 6 7; 8; 10 12,5; 15 20; 30

$\Delta_{\text{Ц}}$, мм 0,11 0,14 0,18 0,21 0,25

4. В расчетах рекомендуется принимать погрешность базирования $\xi_{\text{б}} = (0,8 \dots 0,85) \xi_{\text{б табл.}}$

Лабораторная работа № 3.

РАСЧЕТНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИПУСКОВ НА МЕХАНИЧЕСКУЮ ОБРАБОТКУ

3.1. Цель работы

Цель работы – изучить расчетно-аналитический метод определения припусков и межоперационных размеров при механической обработке деталей, научиться определять составляющие элементы припуска для конкретных производственных условий.

3.2. Основные теоретические положения

Расчетно-аналитический метод определения припусков, предложенный проф. В. М. Кованом, базируется на анализе производственных погрешностей, возникающих при конкретных условиях выполнения заготовок и их обработки, определении величин элементов, составляющих припуск, и их суммировании.

Расчет припусков обуславливает: оптимальные промежуточные размеры заготовок по всем технологическим переходам (от черновой заготовки до готовой детали); минимальное число технологических переходов, обеспечивающих заданное качество обрабатываемой детали; рациональный выбор установочных баз и методов обработки.

Сравнительно с опытно-статистическими величинами припусков расчет обеспечивает экономию металла (от 6 до 15 % чистого веса детали), снижение трудоемкости процессов механической обработки, уменьшение расхода режущего инструмента.

Припуском (общим) на обработку называют слой металла, удаляемый с поверхности заготовки в процессе ее обработки, определяют разностью размеров заготовки и готовой детали.

Промежуточный припуск – слой металла, удаляемый на промежуточном технологическом переходе.

При обработке наружных и внутренних поверхностей вращения, а также при параллельной обработке противоположащих

плоских поверхностей имеют место *симметричные припуски* на обработку.

Для обеспечения требуемого качества готовой детали необходимо на каждом выполняемом переходе назначать припуск, компенсирующий погрешности предшествующей обработки.

К основным погрешностям относятся (рис. 3.1):

- R_z – высота микронеровностей поверхности (шероховатость);
- h – глубина дефектного поверхностного слоя;
- ρ – суммарное значение пространственных отклонений взаимосвязанных поверхностей;
- ε – погрешность установки на выполняемом переходе.

Ниже приведен порядок расчета припусков на обработку и операционных размеров по технологическим переходам. При выполнении расчета рекомендуется использовать расчетную таблицу (см. табл. 3.1).

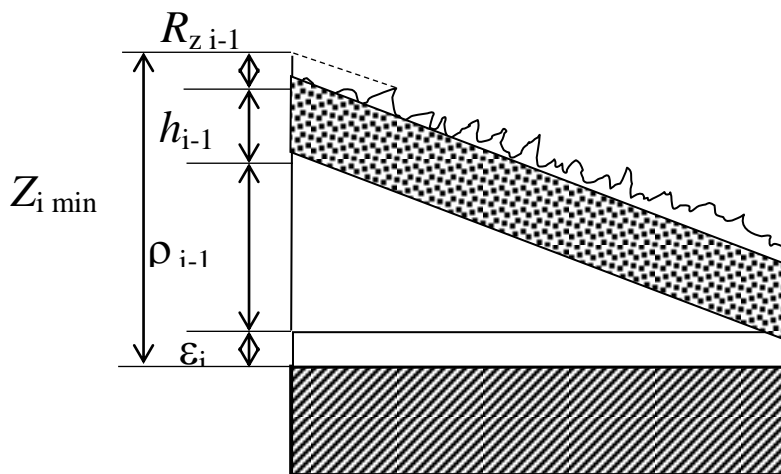


Рис. 3.1. Схема образования минимального припуска на обработку

Порядок расчета

1. Пользуясь рабочим чертежом детали и технологическим процессом ее механической обработки, записать в расчетную таблицу (графа 1) технологические переходы получения заготовки и ее обработки до получения готовой детали в порядке их выполнения для каждой элементарной поверхности.

2. Записать для каждого перехода значения составляющих припуска R_z , h , ρ , ε (графы 2–5) и допуска на выполняемые размеры T_i (графа 8).

3. Определить расчетные величины минимальных припусков (графа 6) $Z_{i \min}$ (здесь и далее i – номер технологического перехода) на обработку по всем переходам, используя формулы:

а) для асимметричного припуска при последовательной обработке противоположащих поверхностей

$$Z_{i \min} = R_{z\ i-1} + h_{i-1} + \rho_{i-1} + \varepsilon_i ; \quad (3.1)$$

б) для симметричного припуска при параллельной обработке противоположащих поверхностей, при параллельном подрезании торцов тел вращения

$$2Z_{i \min} = 2 (R_{z\ i-1} + h_{i-1} + \rho_{i-1} + \varepsilon_i) ; \quad (3.2)$$

в) для симметричного припуска при обработке наружных и внутренних поверхностей тел вращения

$$2Z_{i \min} = 2 (R_{z\ i-1} + h_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}) . \quad (3.3)$$

4. Записать для конечного перехода в графу 7 «Расчетная величина» наименьший (для внутренних поверхностей – наибольший) предельный размер детали по чертежу.

5. Для перехода, предшествующего конечному, определить расчетный размер прибавлением к наименьшему предельному размеру (для внутренних поверхностей – вычитанием из наибольшего предельного размера) по чертежу расчетного минимального припуска $Z_{i \min}$.

6. Последовательно определить расчетные размеры для каждого предшествующего перехода прибавлением к расчетному размеру, следующему за ним смежного перехода (для внутренних поверхностей – вычитанием из расчетного размера), расчетного минимального припуска $Z_{i \min}$ (продолжается заполнение графы 7).

7. Записать наименьшие (для внутренних поверхностей – наибольшие) предельные размеры по всем технологическим пе-

переходам, округляя их увеличением (уменьшением) расчетных размеров. Округление проводить до того же знака десятичной дроби, с каким дан допуск на размер для каждого перехода. Результат записать в графу 10.

8. Определить наибольшие предельные размеры прибавлением допуска к округленному наименьшему предельному размеру (для внутренних поверхностей – наименьшие предельные размеры вычитанием допуска из округленного наибольшего предельного размера). Результаты занести в графу 9.

9. Записать предельные значения припусков Z_{max} как разность наибольших предельных размеров и Z_{min} как разность наименьших предельных размеров предшествующего и выполняемого переходов (для внутренних поверхностей соответственно Z_{max} определяют как разность наименьших предельных размеров, а Z_{min} как разность наибольших предельных размеров выполняемого и предшествующего переходов). Соответственно заполняют графы 11 и 12.

10. Определить общие припуски $Z_{O\ max}$ и $Z_{O\ min}$, суммируя промежуточные припуски на обработку.

11. Проверить правильность расчетов по формулам:

$$Z_{i\ max} - Z_{i\ min} = T_{i-1} - T_i; \quad (3.4)$$

$$2Z_{i\ max} - 2Z_{i\ min} = TD_{i-1} - TD_i; \quad (3.5)$$

$$Z_{O\ max} - Z_{O\ min} = T_3 - T_D; \quad (3.6)$$

$$2Z_{O\ max} - 2Z_{O\ min} = TD_3 - TD_D, \quad (3.7)$$

где T_i (TD_i) – допуск на промежуточный размер (диаметр); T_3 (TD_3) – допуск на заготовку (диаметр заготовки); T_D (TD_D) – допуск на размер детали (диаметр).

12. Определить общий номинальный припуск $Z_{O\ ном}$ по формулам (он служит для сопоставления с табличными или производственными данными):

а) для наружных поверхностей:

$$Z_{O\ ном} = Z_{O\ min} + H_3 - H_D, \quad (3.8)$$

$$2Z_{O\ ном} = 2Z_{O\ min} + HD_3 - HD_D, \quad (3.9)$$

где H , (HD) – нижнее отклонение соответствующего размера (диаметра);

б) для внутренних поверхностей:

$$Z_{O \text{ ном}} = Z_{O \text{ min}} + B_3 - B_{\text{д}}, \quad (3.10)$$

$$2Z_{O \text{ ном}} = 2Z_{O \text{ min}} + BD_3 - BD_{\text{д}}, \quad (3.11)$$

где B , (BD) – верхнее отклонение соответствующего размера (диаметра).

В связи с разнохарактерностью расчетов для наружных и внутренних поверхностей рекомендуется предварительно соответственно сгруппировать поверхности детали. При обработке взаимосвязанных плоских поверхностей от переменных баз рекомендуется строить размерные цепи, определяющие взаимосвязь обрабатываемой поверхности с измерительной базой.

Для определения составляющих припуска по переходам используют справочные таблицы. Так, в табл. П1–П2 приложения приведены значения R_z и h для основных видов заготовок, различных методов механической обработки заготовок из проката, штамповок и отливок.

Расчет значений суммарных пространственных отклонений ρ для различных видов заготовок при их обработке на первой операции приведен в приложении (таблица П6). Для расчета остаточных пространственных отклонений на последующих переходах удобно пользоваться формулой

$$\rho_i = K_y \rho_{i-1}, \quad (3.12)$$

где K_y – коэффициент уточнения (табл. П5 приложения).

Погрешность установки определяют по формуле

$$\varepsilon = \sqrt{\varepsilon_0^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{np}^2}, \quad (3.13)$$

где ε_0 – погрешность базирования; ε_3 – погрешность закрепления; ε_{np} – погрешность положения заготовки в приспособлении.

По результатам расчета строят графическую схему расположения припусков и допусков (см. например рис. 3.3).

3.3. Пример расчета припусков на обработку

Задача. Трехступенчатый вал (сталь 45) изготавливают из штампованной заготовки II класса точности (рис. 3.2). Масса заготовки 2 кг. Токарной операции предшествовала операция фрезерно-центровальная, на которой деталь базировалась по шейкам D1 и D3 ($D1 = D3 = 25$ мм). Шейка вала D2 имеет диаметр 55h6_{-0,02}. Рассчитать промежуточные припуски для обработки шейки D2 аналитическим методом. Рассчитать промежуточные размеры для выполнения каждого перехода.

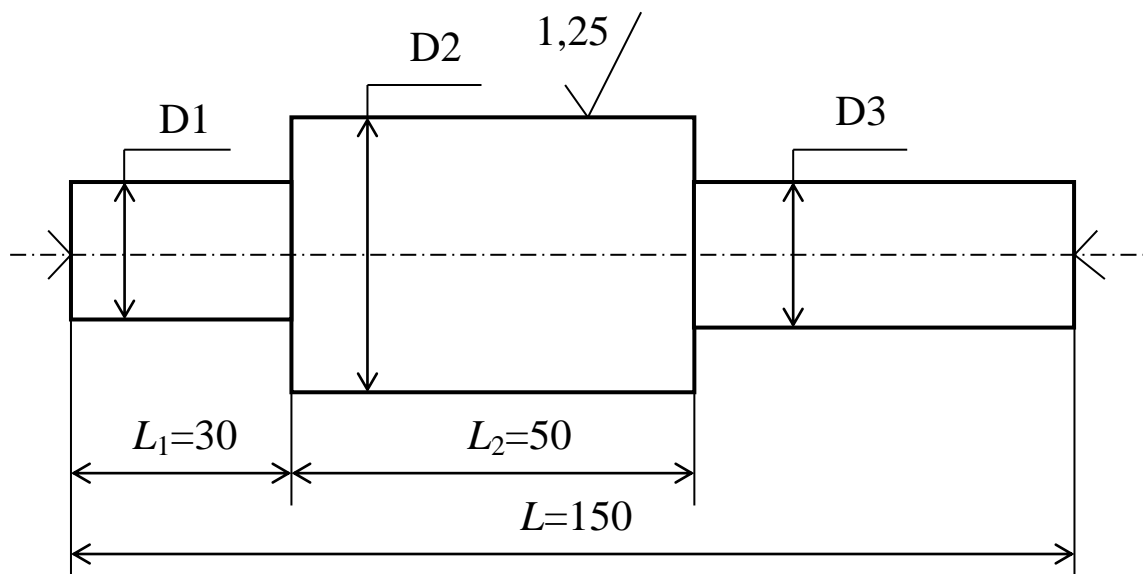


Рис. 3.2. Эскиз заготовки ступенчатого вала

Решение. Соответственно заданным условиям устанавливаем маршрут обработки ступени:

- черновое обтачивание;
- чистовое обтачивание;
- предварительное шлифование;
- окончательное шлифование.

Вся указанная обработка выполняется с установкой заготовки в центрах. Заносим маршрут обработки в графу 1 (см. табл. 3.1). Данные для заполнения граф 2, 3 для штампованной заготовки возьмем из приложения (таблица П1), для механической обработки – из таблицы П2. Данные графы 8 для обработки реза-

нием – взяты в соответствии с предполагаемым качеством обработки (таблицы П3 и П4).

Расчет отклонений расположения поверхностей.

Величину отклонений ρ (в мкм) для штампованной заготовки при обработке в центрах определим по формуле (приложение, табл. П6):

$$\rho = \sqrt{\rho_{кор}^2 + \rho_{см}^2} = \sqrt{24^2 + 500^2} \approx 500, \quad (3.14)$$

где $\rho_{кор}$ – общее отклонение оси от прямолинейности, мкм; $\rho_{см}$ – смещение оси заготовки в результате погрешности центрования, мкм.

В свою очередь:

$$\rho_{кор} = 2\Delta_K l_K = 2 \cdot 0,15 \cdot 80 = 24, \quad (3.15)$$

где l_K – размер от сечения, для которого определяется кривизна до торца заготовки, равный ($l_K = L_1 + L_2$) для рассматриваемого случая 80 мм; Δ_K – удельная кривизна, мкм на 1 мм длины (в маршруте предусмотрена правка заготовки на прессе, после которой $\Delta_K = 0,15$ мкм/мм) (табл. П7); средний диаметр, который необходим для определения Δ_K , найдем как:

$$D_{cp} = \frac{D_1 L_1 + D_2 L_2 + \dots + D_n L_n}{L} = \frac{25 \cdot 30 + 55 \cdot 50 + 25 \cdot 70}{150} = 35. \quad (3.16)$$

Смещение оси заготовки $\rho_{см}$ рассчитаем по формуле

$$\rho_{см} = 0,25\sqrt{T^2 + 1000^2} = 0,25\sqrt{1800^2 + 1000^2} = 500, \quad (3.17)$$

где T – допуск на диаметральный размер базы заготовки, использованной при центровании, $T = 1800$ мкм.

Черновое обтачивание. Величину остаточных пространственных отклонений ρ определим по формуле (3.12):

$$\rho_{черноточ} = K_y \rho = 0,06 \cdot 500 = 30.$$

Чистовое обтачивание. Величина остаточных пространственных отклонений $\rho_{\text{чист.точ.}} = 0,04 \cdot 30 = 1,2$. Рассчитанные величины пространственных отклонений заносим в графу 4.

Расчет минимальных припусков на диаметральные размеры для каждого перехода выполним по формуле (3.2):

- черновое обтачивание $Z_{i \min} = 2(150 + 200 + 500) = 1700$;
- чистовое обтачивание $2Z_{i \min} = 2(50 + 50 + 30) = 260$;
- предварительное шлифование $2Z_{i \min} = 2(30 + 30 + 1,2) = 122$;
- окончательное шлифование $2Z_{i \min} = 2(10 + 20) = 60$.

Расчетные значения припусков заносим в графу 6.

Наименьшие расчетные размеры (графа 7) по технологическим переходам определим, складывая значения наименьших предельных размеров, соответствующих предшествующему технологическому переходу, с величиной припуска на выполняемый переход:

$$\begin{aligned} 54,98 + 0,06 &= 55,04; \\ 55,04 + 0,122 &= 55,162; \\ 55,162 + 0,26 &= 55,422; \\ 55,402 + 1,70 &= 57,122. \end{aligned}$$

Округленные наименьшие предельные размеры заносим в графу 10. Затем определяем наибольшие предельные размеры по переходам:

$$\begin{aligned} 54,980 + 0,020 &= 55; \\ 55,040 + 0,046 &= 55,086; \\ 55,162 + 0,074 &= 55,236; \\ 55,42 + 0,190 &= 55,61; \\ 57 + 2 &= 59. \end{aligned}$$

Результаты расчета вносим в графу 9.

Расчет фактических максимальных и минимальных припусков по переходам проводим, вычитая соответственно значения наибольших и наименьших предельных размеров, соответствующих выполняемому и предшествующему технологическим переходам:

Максимальные размеры:

$$55,086 - 55 = 0,086;$$

$$55,236 - 55,086 = 0,15;$$

$$55,62 - 55,236 = 0,374;$$

$$59 - 55,61 = 3,39.$$

Минимальные размеры:

$$55,04 - 54,98 = 0,06;$$

$$55,162 - 55,04 = 0,122;$$

$$55,42 - 55,162 = 0,258;$$

$$57 - 55,42 = 1,58.$$

Результаты расчета заносим в графы 11 и 12.

Расчет общих припусков проводим по уравнениям:

$$Z_{0\max} = \sum Z_{\max} = 0,086 + 0,15 + 0,374 + 3,39 = 4;$$

$$Z_{0\min} = \sum Z_{\min} = 0,06 + 0,122 + 0,258 + 1,58 = 2,02.$$

Проверку правильности расчетов проведем по уравнению (3.6):

$$Z_{0\max} - Z_{0\min} = 4 - 2,02 = T_3 - T_Д = 2,0 - 0,02 = 1,98.$$

Таблица 3.1

Расчет припусков и допусков ступени $\varnothing 55h6_{-0,02}$

Маршрут обработки поверхности $\varnothing 55h6_{-0,02}$	Элементы припуска, мкм				Расчетные величины		Допуски T_i , мкм	Операционные размеры, мм		Предельный припуск, мкм	
	R_z	h	ρ	ε	припуска Z_{imin} , мкм	минимального \varnothing , мм		наибольшие	наименьшие	Z_{\max}	Z_{\min}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Штамповка.....	150	200	500	-	-	57,122	2000	59,0	57,0	-	-
Точение:											
черновое.....	50	50	30	0	1700	55,422	190	55,61	55,42	3,39	1,58
чистовое.....	30	30	1,2	0	260	55,162	74	55,236	55,162	0,374	0,258
Шлифование											
предварительное	10	20	0	0	122	55,040	46	55,086	55,04	0,15	0,122
окончательное..	-	-	-	0	60	54,980	20	55,00	54,98	0,086	0,06

На рис. 3.3 приведена схема расположения припусков и допусков на обработку ступени $\varnothing 55h6_{-0,02}$.



Рис. 3.3. Схема расположения припусков и допусков на обработку ступени $\varnothing 55h6_{-0,02}$

3.4. Задачи для самостоятельного решения

Задача 1. Четырехступенчатый вал (рис. 3.4) изготавливают из штампованной заготовки II класса точности. Данные к задаче по вариантам приведены в табл. 3.2. Условия выполнения операций и маршрут обработки для вариантов 1–10 принять по табл. 1 (графа 1). Для вариантов 11–20 маршрут обработки тот же, но перед предварительным шлифованием предусмотреть термообработку заготовки в печах. Рассчитать припуски и операционные размеры по переходам. Построить схему расположения припусков и допусков.

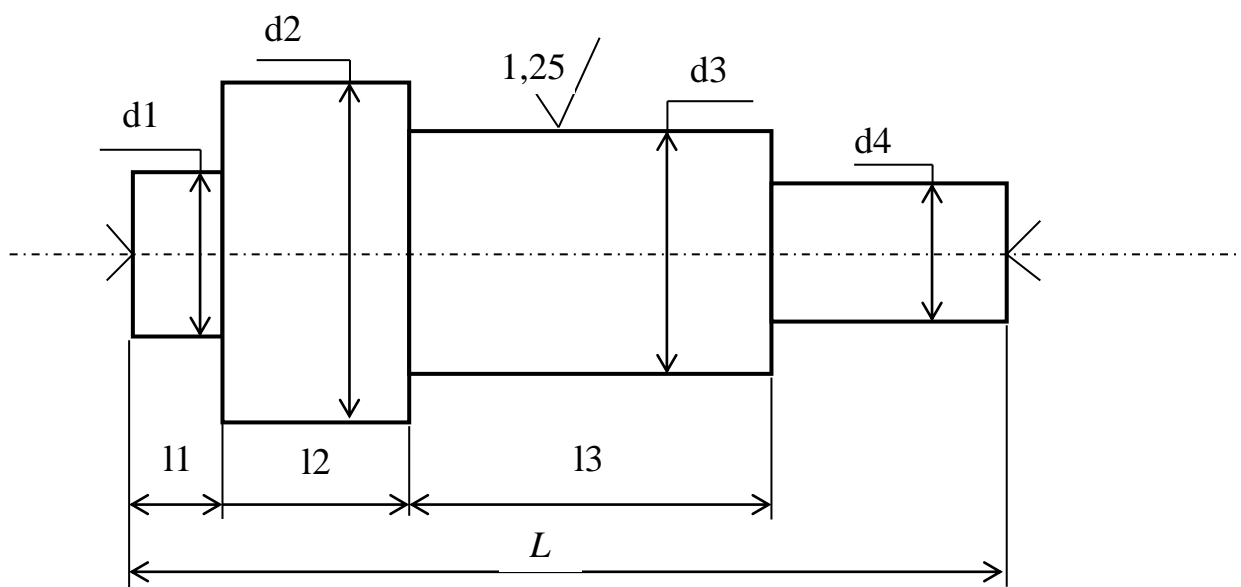


Рис. 3.4. Эскиз вала

Задача 2. Четырехступенчатый вал (рис. 3.4) изготовлен из стальной штампованной на молотах заготовки II класса точности (нормального). Параметр шероховатости шейки диаметром d_3 принять $Ra = 2,5$ мкм. Условия выполнения операций те же, что и в задаче 1. Определить припуски на заготовку по таблицам и расчетно-аналитическим методом. Рассчитать экономию материала за счет применения расчетно-аналитического метода определения припусков при годовом объеме выпуска деталей 20 тыс. шт.

Таблица 3.2

Исходные данные к задачам 1, 2

Варианты	Диаметр шеек, мм			Длина L , мм	Длина ступеней, мм			Масса заготовки, кг
	d1, d4	d2	d3		11	12	13	
1; 11	30	50	$40n6_{-0,050}$	220	45	55	85	2,0
2; 12	45	65	$55g6_{-0,010}^{-0,029}$	260	55	65	95	4,7
3; 13	20	40	$30h6_{-0,013}$	180	40	50	60	1,0
4; 14	50	75	$60f7_{-0,060}^{-0,030}$	350	70	120	80	8,2
5; 15	25	45	$35k6_{0,002}^{0,018}$	200	40	50	70	1,5
6; 16	60	80	$70m6_{0,011}^{0,030}$	300	80	120	50	9,1
7; 17	40	60	$50d8_{-0,119}^{-0,080}$	280	50	70	90	4,1
8; 18	70	90	$80u7_{0,102}^{0,132}$	350	75	125	90	13,8
9; 19	35	55	$45j6_{-0,005}^{0,011}$	240	50	60	90	2,9
10; 20	55	75	$65s6_{0,053}^{0,072}$	300	65	85	85	7,5

3.5. Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с основными теоретическими положениями (п. 3.2) и примером расчета припусков на механическую обработку (п. 3.3).

2. В связи с большим объемом расчетных и графических работ целесообразно выполнять задание подгруппами из двух студентов.

3. Получить у преподавателя задание на практическое занятие. Допускается по согласованию с преподавателем выполнять расчеты на наиболее точную и сложную в обработке поверхность детали, по которой студент выполняет курсовой проект по курсу «Проектирование автоматизированных технологических процессов».

4. Кроме поставленных в задаче заданий, необходимо выполнить графическую часть работы – схему распределения припусков и допусков (см. рис. 3.3).

5. Выполнить необходимые расчеты, сделать выводы по решению, оформить и защитить отчет по работе.

6. Ответить на контрольные вопросы.

3.6. Контрольные вопросы

1. Чем объясняется актуальность использования расчетно-аналитического метода расчета припусков?

2. Поясните структуру припуска, принятую в расчетно-аналитическом методе.

3. Как рассчитать значение Z_{min} для различных случаев?

4. Как определить значения величин, входящих в графы 6 и 7 табл. 3.1?

5. Как определить значения величин, входящих в графы 9 и 10 табл. 3.1?

6. Как определить значения величин, входящих в графы 11 и 12 табл. 3.1?

7. Как и для чего строится схема распределения припусков и допусков?

ПРИЛОЖЕНИЕ

СПРАВОЧНЫЕ ТАБЛИЦЫ

Таблица П1

Качество поверхности различных видов заготовок

Вид заготовки	R_z	h
	МКМ	
Отливки в земляные формы		
I класса		
наибольший габаритный размер отливки, мм:		
< 1250.....	600	
1250–3150.....	800	
то же II класса		
наибольший габаритный размер отливки, мм:		
< 1250.....	700	
1250–3150.....	900	
Отливки в кокиль.....	200	300
Литье в оболочковые формы.....	40	260
Литье под давлением.....	20	140
Литье по выплавляемым моделям.....	30	170
Штампованные заготовки массой, кг:		
< 0,25.....	150	150
0,25–2,5.....	150	200
2,5–25.....	150	250
25–100.....	200	300
100–200.....	300	300
Прокат горячекатаный диаметром, мм:		
5–25.....	150	150
26–75.....	150	250
80–150.....	200	300
160–250.....	300	400
Прокат калиброванный гладкотянутый.....	60	60
Прокат калиброванный шлифованный.....	10	20

Примечание: Для отливок в земляные формы указано суммарное значение $R_z + h$.

Таблица П2

Механическая обработка наружных поверхностей

Вид обработки	Квалитет	R_z	h
		мкм	
Обдирочная обработка лезвийным инструментом отливок II класса, горячего проката обычной точности, нежестких валов, поковок с большим припуском и т. д.....	12–14	100	100
Черновая обработка лезвийным инструментом заготовок всех видов.....	11–12	50	50
Чистовая обработка лезвийным инструментом и однократная обработка заготовок с малыми припусками.....	10–11	30	30
Чистовое торцовое фрезерование.....	8–9	10	15
Протягивание наружное.....	7–8	5	10
Тонкая обработка лезвийным инструментом..	6–7	3	-
Шлифование:			
предварительное.....	8–9	10	20
чистовое.....	7–8	5	15

Таблица П3

Экономическая точность обработки основных методов
(фрагмент)

Метод обработки	Квалитет размера	Шероховатость R_a , мкм
Обтачивание		
предварительное	12...14	25...50
получистовое или однократное	11...13	6,3...25
чистовое	8...10	2,5...12,5
Растачивание отверстий		
предварительное	11...13	12,5...25
чистовое	8...10	2,5...6,3
Шлифование круглое наружное с продольной подачей:		
предварительное	8...9	2,5...6,3
чистовое	6...7	0,2...1,2
тонкое	5...6	0,05...0,3

Таблица П4

Значения допусков по квалитетам, мкм

Квали- тет	Интервалы размеров, мм												
	До 1	3–6	6– 10	10– 18	18– 30	30– 50	50– 80	80– 120	120 – 180	180 – 250	250 – 315	315 – 400	400 – 500
2	1,2	1,5	1,5	2	2,5	2,5	3	4	5	7	8	9	10
3	2	2,5	2,5	3	4	4	5	6	8	10	12	13	15
4	3	4	4	5	6	7	8	10	12	14	16	18	20
5	4	5	6	8	9	11	13	15	18	20	23	25	27
6	6	8	9	11	13	16	19	22	25	29	32	36	40
7	10	12	15	18	21	25	30	35	40	46	52	57	63
8	14	18	22	27	33	39	46	54	63	72	81	89	97
9	25	30	36	43	52	62	74	87	100	115	130	140	155
10	40	48	58	70	84	100	120	140	160	185	210	230	250
11	60	75	90	110	130	160	190	220	250	290	320	360	400
12	100	120	150	180	210	250	300	350	400	460	520	570	630
13	140	180	220	270	330	390	460	540	630	720	810	890	970
14	250	300	360	430	520	620	740	870	100 0	115 0	130 0	140 0	155 0
15	400	480	580	700	840	100 0	120 0	140 0	160 0	185 0	210 0	230 0	250 0
16	600	750	900	110 0	130 0	160 0	190 0	220 0	250 0	290 0	320 0	360 0	400 0
17	100 0	120 0	150 0	180 0	210 0	250 0	300 0	350 0	400 0	460 0	520 0	570 0	630 0

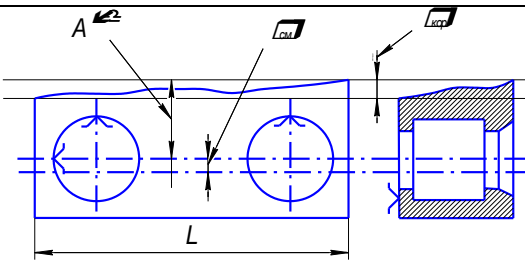
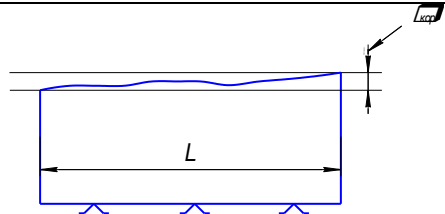
Таблица П5

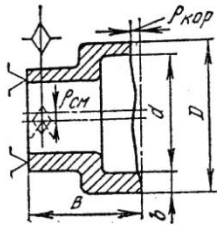
Рекомендуемые значения коэффициента уточнения K_y

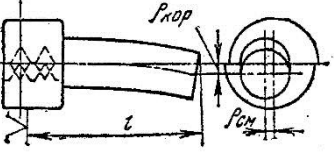
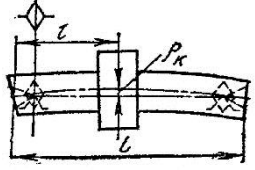
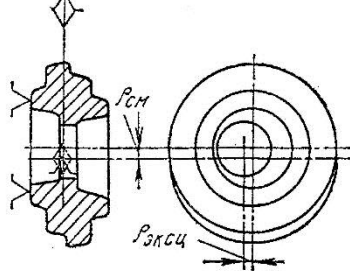
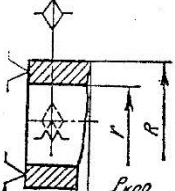
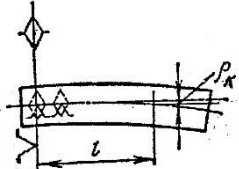
Вид обработки	K_y
Однократное и черновое точение штампованных заготовок, заготовок из горячекатаного проката, предварительное шлифование проката.....	0,06
Получистовая обработка заготовок из проката, штампованных заготовок, рассверливание отверстий, смещение оси отверстия после черновой обработки.....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

Таблица П6

Суммарные значения пространственных отклонений

Тип детали и метод базирования	Эскиз	Расчетные формулы
Литые заготовки		
Корпусные детали по плоскости и двум отверстиям		$\rho = \sqrt{\rho_{кор}^2 + \rho_{см}^2}$ $\rho_{см} = \delta$ $\rho_{кор} = \Delta_k L$
То же, по плоскости, противоположной обрабатываемой		$\rho = \rho_{кор}$

<p>Детали – тела вращения, в самоцентрирующих патронах по наружному диаметру с прижимом к торцу</p>		$\rho_d = \sqrt{\rho_{kop}^2 + \rho_{cm}^2}$ $\rho_D = \rho_{kop} = \Delta_K D$ $\rho_{cm} = \delta_B$ $\rho_B = \Delta_K B$
---	---	--

Штампованные заготовки		
<p>Стержневые детали (валы ступенчатые, рычаги и т. д.) с базированием по крайней ступени</p>		$\rho = \sqrt{\rho_{kop}^2 + \rho_{cm}^2}$ $\rho_{kop} = \Delta_K l$
<p>Стержневые детали при обработке в центрах</p>		$\rho = \sqrt{\rho_{cm}^2 + \rho_{kop}^2 + \rho_{ц}^2}$ $\rho_{kop} = \Delta_K l$ <p>при $l \leq \frac{\Delta}{2}$</p>
<p>Детали типа дисков с прошиваемым центральным отверстием (шестерни, диски и пр.) с установкой по наружному диаметру и торцу</p>		$\rho = \sqrt{\rho_{cm}^2 + \rho_{эксц}^2}$
<p>То же, при обработке торцовых поверхностей</p>		$\rho = \rho_{kop}$ $\rho = \Delta_K D = \Delta_K 2R$
Заготовки из сортового проката		
<p>При консольном закреплении в самоцентрирующих патронах</p>		$\rho_K = \Delta_K l$


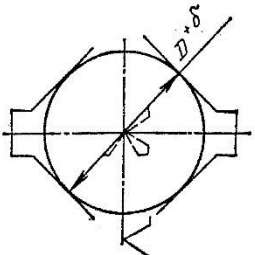
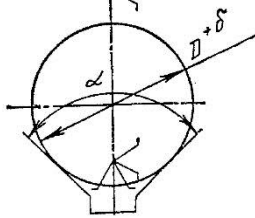
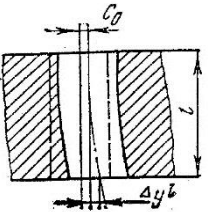
При обработке в центрах		$\rho = \sqrt{\rho_k^2 + \rho_y^2}$ $\rho_k = \Delta_k l$ при $l < \frac{L}{2}$
Зацентровка заготовок		
При установке в самоцентрирующих зажимных устройствах		$\rho_k = 0,25 \text{ мм}$
При установке ан призмах с односторонним прижимом		$\rho_y = \sqrt{\frac{\delta^2}{2} + 0,25^2}$ (при $\alpha = 90^\circ$) $\rho_y = \sqrt{\frac{\delta^2}{3} + 0,25^2}$ (при $\alpha = 120^\circ$)
Сверление отверстий		
Детали всех типов при обработке отверстий в неподвижной детали		$\rho = \sqrt{C_0^2 + (\Delta_y l)^2}$
<i>В формулах приняты следующие обозначения: $\rho_{кор}$ – составляющая пространственных отклонений, вызванная короблением детали; $\rho_{см}$ – смещение оси заготовки; $\rho_{эксц}$ – составляющая погрешности, вызванная эксцентриситетом верхней и нижней половинок штампа.</i>		

Таблица П7

Удельная кривизна заготовок Δ_k (мкм) на 1 мм длины

[illegible]

4. Для ступенчатых валов средний диаметр

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

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

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