

Министерство образования и науки Российской Федерации
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

В.П. Шишкин, В.В. Закураев

ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СТАНОЧНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

Теория и задачи

Под редакцией А.Е. Беляева

*Допущено Учебно-методическим объединением вузов
по образованию в области автоматизированного машиностроения
(УМО АМ) в качестве учебного пособия для студентов
высших учебных заведений, обучающихся по направлению
подготовки дипломированных специалистов
«Конструкторско-технологическое обеспечение
машиностроительных производств»*

Москва 2010

УДК 621.7/9(075)
ББК 34.63-5
Ш65

Шишкин В.П., Закураев В.В. **ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СТАНОЧНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ. Теория и задачи:** Учебное пособие / Под ред. А.Е. Беляева. – М.: НИЯУ МИФИ, 2010. – 288 с.

Изложены теоретические сведения по основным разделам курса «Технологическая оснастка» (схемы базирования, расчеты погрешности установки и закрепления); приведены варианты задач по перечисленным разделам.

Предназначено для студентов специальности 151001 «Технология машиностроения», а также для подготовки бакалавров техники и технологии по направлению 150900 – «Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств».

Подготовлено в рамках Программы создания и развития НИЯУ МИФИ.

Рецензент д-р техн. наук В.И. Занько

ISBN 978-5-7262-1268-5

© *Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», 2010*

Редактор Н.В. Шумакова
Оригинал-макет изготовлен М.В. Макаровой

Подписано в печать 10.12.2009. Формат 60x84 1/16
Уч.-изд.л. 18,0. Печ.л. 18,0. Тираж 100 экз.
Изд. № 3/1/54 Заказ № 11

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ».
115409, Москва, Каширское ш., 31

ООО «Полиграфический комплекс «Курчатовский».
144000, Московская область, г. Электросталь, ул. Красная, д. 42

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
ОСНОВНЫЕ УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ	7
ГЛАВА 1. БАЗИРОВАНИЕ И БАЗЫ В МАШИНОСТРОЕНИИ	8
1.1. Принципы базирования заготовок.....	8
1.1.1. Основные понятия и определения.....	8
1.1.2. Классификация баз	10
1.1.3. Правило шести точек.....	12
1.2. Типовые схемы базирования заготовок	16
1.2.1. Базирование заготовки по трем плоским поверхностям	17
1.2.2. Базирование заготовки по плоской и наружной цилиндрической поверхностям	19
1.2.3. Базирование заготовки по плоской и двум наружным цилиндрическим поверхностям	24
1.2.4. Базирование заготовки по плоской и внутренней цилиндрической поверхностям	27
1.2.5. Базирование заготовки по плоской и двум внутренним цилиндрическим поверхностям.....	31
1.2.6. Базирование заготовки по центровым отверстиям	35
1.2.7. Базирование заготовки по плоскости (плоскостям) и элементу (элементам) симметрии	39
1.3. Задачи для практических занятий.....	46
ГЛАВА 2. ЗАКРЕПЛЕНИЕ ЗАГОТОВОК	55
2.1. Основные определения и назначения зажимных устройств	55
2.2. Силы, действующие на заготовку при обработке	59
2.2.1. Силы резания	59
2.2.2. Объемные силы.....	68
2.2.3. Второстепенные и случайные силы	70
2.3. Методика расчета сил закрепления	71
2.3.1. Варианты методики расчета сил закрепления.....	71
2.3.2. Упругие характеристики зажимных устройств.....	72
2.3.3. Общие типовые схемы расчета сил закрепления	77
2.3.4. Расчет сил закрепления заготовок при наличии действующих на нее моментов	83
2.3.5. Расчетные факторы для определения сил закрепления.....	95
2.3.6. Расчет сил закрепления как многовариантная задача	101
2.4. Особенности методики расчета сил закрепления заготовки на станках с ЧПУ	107
2.5. Задачи для практических занятий.....	112
2.5.1. Расчет сил закрепления заготовки при точении.....	112
2.5.2. Расчет сил закрепления заготовки при фрезеровании.....	117
2.5.3. Расчет сил закрепления заготовки при обработке отверстий	129

ГЛАВА 3. ПОГРЕШНОСТИ УСТАНОВКИ ЗАГОТОВОК В СТАНОЧНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЯХ	137
3.1. Точность и погрешность при механической обработке. Общие понятия и определения	137
3.2. Погрешности механической обработки. Классификация погрешностей	138
3.3. Виды размеров, получаемых на технологических операциях	141
3.4. Погрешность установки	149
3.4.1. Погрешность базирования	150
3.4.2. Погрешность закрепления	155
3.4.3. Погрешность положения заготовки в приспособлении	158
3.4.4. Рекомендации по уменьшению составляющих погрешности установки	160
3.5. Задачи для практических решений	164
ГЛАВА 4. РАСЧЕТ ПОГРЕШНОСТЕЙ СТАНОЧНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ	185
4.1. Цели расчета погрешностей станочных приспособлений	185
4.2. Общая методика расчета погрешностей станочных приспособлений на точность	185
4.2.1. Последовательность расчетов	186
4.2.2. Определение параметров точности	187
4.2.3. Разработка расчетной схемы	188
4.2.4. Определение расчетного уравнения	191
4.2.5. Определение параметров, входящих в расчетные уравнения	194
4.2.6. Пример расчета погрешностей обработки	196
4.3. Расчет погрешностей сверлильных приспособлений	197
4.4. Расчет погрешностей приспособлений с делительными устройствами	200
4.5. Контроль станочных приспособлений	206
4.6. Задачи для практических решений	211
ПРИЛОЖЕНИЕ 1	237
ПРИЛОЖЕНИЕ 2	244
ПРИЛОЖЕНИЕ 3	251
ПРИЛОЖЕНИЕ 4	256
ПРИЛОЖЕНИЕ 5	263
ПРИЛОЖЕНИЕ 6	271
ПРИЛОЖЕНИЕ 7	278
ПРИЛОЖЕНИЕ 8	282
ЛИТЕРАТУРА	286

ВВЕДЕНИЕ

Все возрастающие требования к качеству машин и механизмов предопределяют и высокое качество изготовления деталей. С точки зрения технологии машиностроения одной из основных задач является обеспечение требуемой точности изготовления каждой конкретной детали.

При разработке технологического процесса изготовления деталей существенное влияние на точность обработки оказывают приспособления как составные элементы технологической системы (ТС) «станок–приспособление–инструмент–заготовка». Проектирование приспособления представляет собой комплексную и многовариантную задачу как для технолога (разработчика технологического процесса), так и для конструктора-разработчика приспособления. С первых шагов освоения дисциплины «Технологическая оснастка» формируются навыки конструкторской проработки вариантов технологического оснащения процесса механической обработки заготовок.

При изучении курса «Технологическая оснастка студенты специальности «Технология машиностроения», как правило, испытывают трудности при выборе рациональных схем базирования заготовки, при расчетах погрешности установки, зажимных устройств и определении наиболее ответственных размеров приспособления. Причины затруднений объясняются тем, что, с одной стороны, данная дисциплина по Государственному общеобразовательному стандарту высшего профессионального образования является одной из первых в цикле специальных дисциплин подготовки инженеров специальности 120100, а с другой стороны, у студентов отсутствуют опыт проектных работ и достаточная производственная инженерная практика, особенно у студентов дневной формы обучения.

При написании данного пособия проанализированы различные подходы к процессу проектирования станочных приспособлений

[10], [11], [21], [29] и ряд других. С учетом этого анализа в данной работе значительное внимание уделено следующим вопросам проектирования, а именно:

- формированию умения разработки теоретических схем базирования как многовариантной задачи;
- возможности решения траекторной задачи с учетом создания рациональной расстановки сил резания, позволяющей уменьшить силы закрепления;
- формированию умения расчета погрешности базирования при различных компоновках приспособления и расчета приспособления на точность.

В предлагаемом учебном пособии приводится значительный объем справочного материала для решения практических задач.

Пособие представляет собой сочетание расширенной теоретической части по основным разделам курса (схемы базирования, расчеты погрешности установки и сил закрепления) и сборника задач по перечисленным разделам. Таким образом, пособие позволяет закрепить полученные знания и приобрести начальные умения и навыки по базовым разделам курса. Рекомендуется использовать при проведении практических работ, при выполнении домашних заданий, курсовом и дипломном проектировании.

ОСНОВНЫЕ УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

- $\Delta_{ст.г}$ – геометрические погрешности станка;
 $\Delta_{ст.т}$ – погрешность станка при его температурной деформации;
 $\Delta_{ст.упр}$ – погрешность станка, обусловленная упругой деформацией его узлов;
 $\Delta_{ст.из}$ – погрешности износа узлов станка;
 $\Delta_{и.г}$ – геометрические погрешности инструмента;
 $\Delta_{н}$ – погрешность настройки инструмента;
 $\Delta_{и.т}$ – погрешность тепловых деформаций инструмента;
 $\Delta_{у.и}$ – погрешность инструмента, обусловленная его упругой деформацией;
 $\Delta_{и.из}$ – погрешности износа инструмента;
 $\Delta_{п.г}$ – геометрические погрешности станочных приспособлений;
 $\Delta_{п.б}$ – погрешность базирования;
 $\Delta_{п.из}$ – погрешность износа элементов приспособлений;
 $\Delta_{п.з}$ – погрешность закрепления заготовки в приспособлении;
 $\Delta_{п.уст}$ – погрешность установки;
 $\Delta_{п}$ – погрешность положения заготовки в приспособлении;
 $\Delta_{т.п}$ – погрешность, вызванная температурными деформациями приспособления;
 $\Delta_{у.п}$ – погрешность от упругих деформаций элементов приспособлений;
 $\Delta_{и.п}$ – погрешность, определяемая износом установочных элементов приспособления;
 $\Delta_{з.г}$ – геометрическая погрешность заготовки (неравномерность припуска);
 $\Delta_{з.ост}$ – погрешности заготовки, вызванные остаточными технологическими напряжениями;
 $\Delta_{з.упр}$ – погрешности упругих деформаций заготовки (при зажиме).

Глава 1

БАЗИРОВАНИЕ И БАЗЫ В МАШИНОСТРОЕНИИ

1.1. Принципы базирования заготовок

Разработка теоретической схемы базирования на каждой конкретной технологической операции является начальным и наиболее ответственным этапом при определении конструкции приспособления. Правильный выбор комплекта баз при многовариантном решении позволяет обеспечить требуемую точность обработки заготовки и заложить основы создания наиболее рациональной конструкции приспособления.

1.1.1. Основные понятия и определения

Термины и определения основных понятий базирования и баз в машиностроении устанавливает ГОСТ 21495–76, [1].

Базирование – придание заготовке или изделию требуемого положения относительно выбранной системы координат.

При механической обработке заготовок применяется прямоугольная система координат. Оси системы координат располагают параллельно направлениям перемещений исполнительных органов технологического оборудования (продольное и поперечное перемещение суппорта, вертикальное перемещение консоли фрезерного станка и т.д.). Причем названия и направления осей конкретно не оговариваются. На оборудовании с числовым программным управлением названия и направления осей конкретизированы однозначно.

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

Данный ГОСТ подчеркивает недопустимость применения вместо термина «база» термина «базирующая поверхность».

Комплект баз – совокупность баз, образующих систему координат заготовки или изделия.

На рис. 1.1 представлены примеры баз.

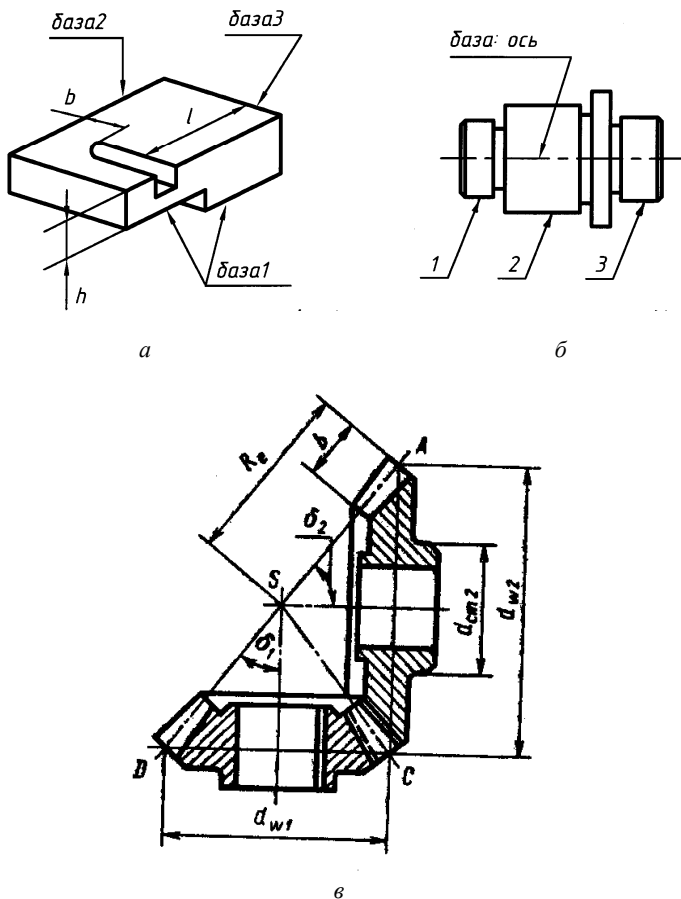


Рис. 1.1. Примеры баз

На рис. 1.1, а представлен вариант базирования призматической заготовки для обработки шпоночного паза на вертикально-фрезерном станке. Комплект баз состоит из трех баз (1, 2, 3), причем, базы 2, 3 – поверхности в виде плоскостей, а база 1 – сочета-

ние поверхностей. На рис. 1.1, б приведен пример базы в виде оси, относительно которой рабочие поверхности 1, 2, 3 ступенчатого вала должны быть выполнены соосно. Пример базы в виде точки (рис. 1.1, в) поясняет коническая передача, у которой такой базой является точка пересечения осей конических зубчатых колес.

1.1.2. Классификация баз

Приведенные выше термины и их определения охватывают основные термины общих понятий теории базирования. Вторая группа терминов характеризует классификацию баз. Схематично классификация баз представлена на рис. 1.2.

1. По назначению

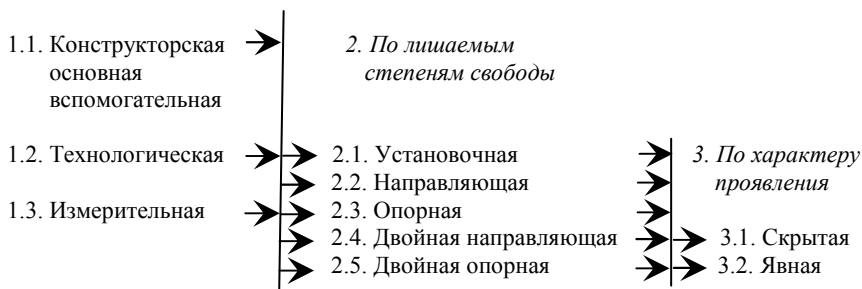


Рис. 1.2. Схема классификации баз

1.1.2.1. Классификация баз по назначению

Конструкторская база – база, используемая для определения положения детали или сборочной единицы в изделии.

Технологическая база – база, используемая для определения положения заготовки или изделия в процессе изготовления или ремонта (не допускается термин «установочная база»).

Измерительная база – база, используемая для определения относительного положения заготовки или изделия и средств измерения (не допускается термин «контрольная база»).

1.1.2.2. Классификация баз по лишаемым степеням свободы

Согласно основным понятиям теоретической механики любое твердое тело обладает шестью степенями свободы: трех перемещений вдоль осей и трех поворотов вокруг этих осей. При установке заготовки в приспособление необходимо однозначно определить ее положение в пространстве, т.е. произвести базирование путем наложения двусторонних геометрических связей, лишающих таким образом заготовку всех шести степеней свободы.

Установочная база – база, лишающая заготовку или изделие трех степеней свободы – перемещения вдоль одной координатной оси и поворотов вокруг других осей.

Направляющая база – база, лишающая заготовку или изделие двух степеней свободы – перемещения вдоль одной координатной оси и поворота вокруг другой оси.

Опорная база – база, лишающая заготовку или изделие одной степени свободы – перемещения вдоль одной координатной оси или поворота вокруг оси.

Двойная направляющая база – база, лишающая заготовку или изделие четырех степеней свободы – перемещения вдоль двух координатных осей и поворотов вокруг этих осей.

Двойная опорная база – база, лишающая заготовку или изделие двух степеней свободы – перемещений вдоль двух координатных осей.

1.1.2.3. Классификация баз по характеру проявления

Скрытая база – база заготовки или изделия в виде воображаемой плоскости, оси или точки.

Явная база – база заготовки или изделия в виде реальной поверхности, разметочной риски или точки пересечения рисок.

При полном или кратком наименовании баз по нескольким классификационным признакам необходимо пользоваться приведенной терминологией с соблюдением последовательности: назначение → лишаемые степени свободы → характер проявления. Например, при полном наименовании баз: конструкторская установочная явная база; технологическая направляющая скрытая база.

При кратком наименовании баз: измерительная явная база; технологическая направляющая база и т.д.

На рис. 1.1, *а* приведен пример базирования заготовки по плоским поверхностям. Базы 1, 2, 3 по назначению являются технологическими, так как используются при изготовлении детали (обработка шпоночного паза). Кроме того, при данной простановке размеров базы 2 и 3 являются по назначению и измерительными, так как именно от этих поверхностей, например, с помощью штангенциркуля будут контролироваться полученные размеры расположения шпоночного паза после обработки. Измерительной базой для контроля глубины паза будет являться верхняя плоскость заготовки. Все базы для этого примера по характеру проявления являются явными, так как представляют собой реальные плоские поверхности. Для всех примеров названия баз по лишаемым степеням свободы представлено ниже.

Для примеров, приведенных на рис. 1.1, *б*, *в*, базы в виде оси и точки являются по назначению конструкторскими, так как определяют положение детали (для оси) и сборочной единицы (детали конической передачи). Причем обе базы по характеру проявления являются скрытыми, т.е. представляют собой воображаемые ось и точку пересечения осей.

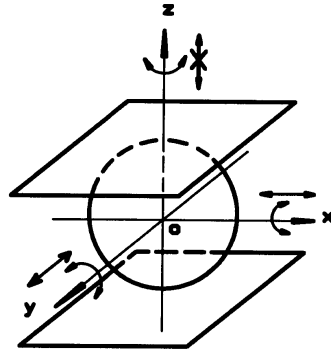
1.1.3. Правило шести точек

Как отмечалось выше, при установке заготовки в приспособление необходимо однозначно определить ее положение в пространстве, т.е. произвести базирование путем наложения на заготовку двусторонних геометрических связей, лишаящих ее всех шести степеней свободы.

Моделью одной двусторонней связи, лишаящей заготовку одной степени свободы, может служить шар, расположенный между двумя плоскими параллельными поверхностями (рис. 1.3) [2].

Как следует из представленной модели, шар (заготовка) лишается только одной степени свободы: перемещения относительно оси Z . Все остальные пять степеней свободы (перемещения относительно осей X и Y и повороты относительно осей X , Y и Z) у шара не лишены.

Рис. 1.3. Модель
двухсторонней связи



В приспособлениях такими связями являются точки контакта заготовки с элементами приспособления (установочные и зажимные элементы). Это правило в технологии машиностроения называется **правилом шести точек**.

На рис. 1.4 представлена схема базирования призматической заготовки относительно выбранной системы координат $OXYZ$.

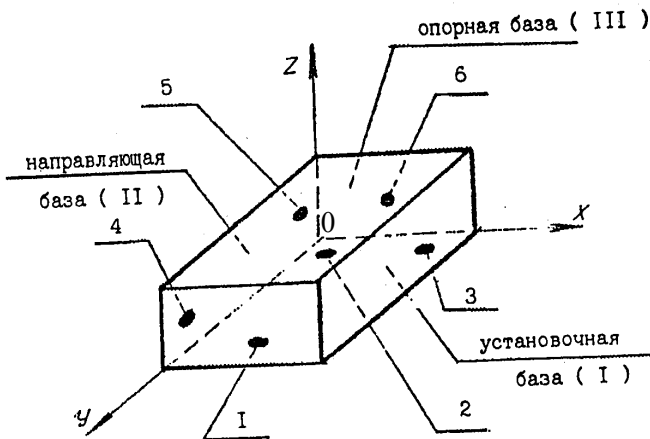


Рис. 1.4. Схема базирования призматической заготовки:
I, II, III – комплекты баз заготовки; 1...6 – двухсторонние связи (точка контакта)

Наиболее устойчивое положение заготовка такой формы занимает, если опирается на плоскость, имеющую наибольшую площадь. Плоскость в пространстве, как известно, однозначно определяется тремя точками (1, 2, 3). Тогда плоскость OXY лишает заготовку трех степеней свободы: перемещения вдоль оси Z и поворотов вокруг осей X и Y . Согласно определению база I по лишаемым степеням свободы является установочной.

Из оставшихся боковых поверхностей более высокую точность базирования обеспечит плоскость, имеющая большую длину, так как определяет в пространстве линию, которая определяется двумя точками.

Увеличение расстояния между точками контакта ведет к повышению точности установки. Тогда точки контакта 4 и 5 лишают заготовку перемещения вдоль оси X и поворота относительно оси Z . Такая база (II), согласно определению, является по лишаемым степеням свободы направляющей.

Оставшаяся база III лишает заготовку одной степени свободы (перемещения вдоль оси Y) и является опорной. Таким образом, заготовка лишена всех шести степеней свободы, т.е. ее базирование завершено.

Выбор баз для призматической заготовки проводится таким образом: установочная база (наибольшая площадь) → направляющая база (наибольшая длина) → опорная база (оставшаяся плоскость), что является правилом выбора баз для призматической заготовки. Следует иметь в виду, что поверхности баз (установочной и направляющей) могут быть ступенчатыми.

Для схематического изображения комплекта баз при базировании существуют определенные правила. Условное изображение баз на заготовке являются теоретической схемой базирования.

Схема базирования – схема расположения опорных точек на базах заготовки или изделия.

Опорная точка – точка, символизирующая одну из связей заготовки или изделия с избранной системой координат.

Условное изображение опорной точки приведено на рис. 1.5.

При оформлении теоретической схемы базирования следует соблюдать определенные правила.

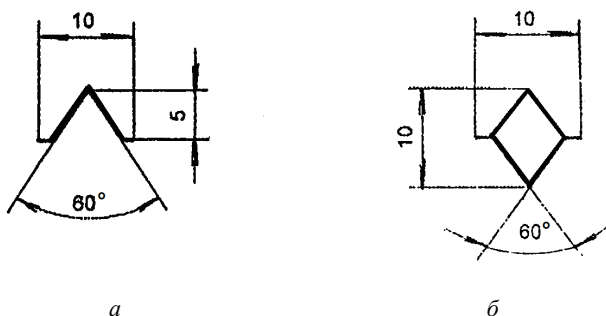


Рис. 1.5. Условное изображение опорной точки: *а* – вид спереди; *б* – вид сверху

Каждая опорная точка на теоретической схеме базирования нумеруется. Нумерация опорных точек начинается с базы, лишаящей заготовку большего количества степеней свободы.

Если в какой-либо проекции опорная точка оказывается совмещенной с другой, то изображается знак одной опорной точки с номерами совмещенных опорных точек. Допускается изображать знак опорной точки на выносных линиях. В случае расположения опорных точек на базе, которая является невидимой по отношению к плоскости чертежа, знаки опорных точек изображаются штриховой линией.

Количество видов заготовки на схеме базирования зависит от сложности заготовки и должно быть достаточным для полного понимания комплекта баз.

Пример теоретической схемы базирования для призматической заготовки представлен на рис. 1.6.

Следует помнить, что теоретическая схема базирования заготовки и операционный эскиз не являются одним и тем же и не допускают замены одного другим. Теоретическая схема базирования разрабатывается на начальной стадии проектирования приспособления на основании операционного эскиза технологической операции. Операционные эскизы являются графической частью технологической документации и оформляются по своим правилам (ГОСТ 3.1128–93).

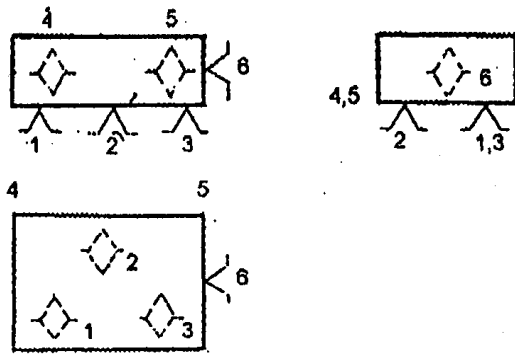


Рис. 1.6. Теоретическая схема базирования заготовки по трем поверхностям

Многообразие геометрических форм заготовок по сочетанию поверхностей, соотношениям размеров последних, обуславливает различные схемы базирования. В то же время можно выделить типовые схемы базирования заготовок, которые охватывают наиболее часто встречающиеся формы заготовок.

1.2. Типовые схемы базирования заготовок

При всем многообразии геометрических форм, размеров и выполняемых операций целесообразно выделить наиболее часто применяемые схемы базирования заготовок. Абсолютно все варианты базирования заготовок рассмотреть невозможно, но другие варианты, не являющиеся типовыми, представляют в своем большинстве сочетание элементов типовых схем базирования или их развитие.

Принципиальным различием в типовых схемах базирования заготовок является выбор поверхностей, линий, точек, используемых в качестве баз, причем при тех или иных сочетаниях их геометрических размеров и характеру проявления.

Теоретические схемы базирования заготовок представлены для максимально упрощенных, насколько возможно в каждом конкретном случае, геометрических форм. То есть реальные заготовки по конструкции содержат ступеньки, пазы, канавки, отверстия и т.д., конструктивно требуемые в заготовке. Использование принципа упрощения способствует более простому пониманию при рассмотрении сути вопроса [3].

1.2.1. Базирование заготовки по трем плоским поверхностям

К данной схеме базирования относится базирование призматических заготовок (корпусов, коробок скоростей, головок блоков, корпусов редукторов, плит и т.д.). Схема базирования заготовок данной формы представлена на рис. 1.7 и полностью соответствует правилу шести точек.

На рис. 1.7, 1.8, 1.9 [4, 5] показаны варианты реализации типовой схемы базирования в конкретных конструкциях приспособлений.

Представленные примеры конструкций приспособлений по специализации относятся к универсальным наладочным (см. рис. 1.7), универсально-сборным (точнее, комплект универсально-сборной переналаживаемой оснастки УСПО) (см. рис. 1.8) и специальное необратимое приспособление (НСП) (см. рис. 1.9).

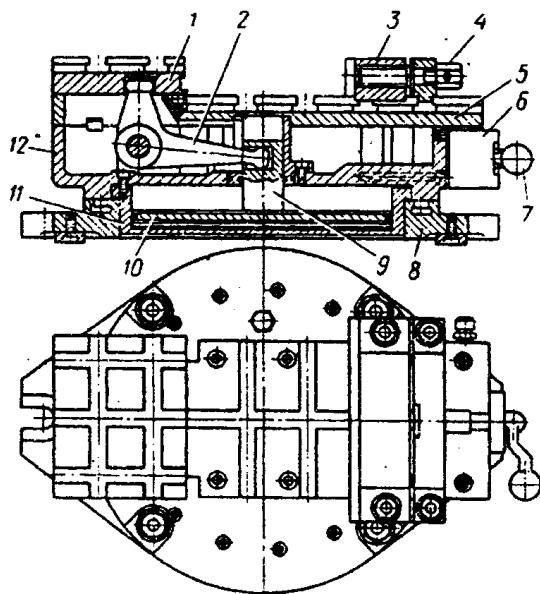


Рис. 1.7. Универсальные переналаживаемые тисы:

- 1 – губка подвижная; 2 – рычаг; 3 – губка неподвижная; 4 – винт регулировочный;
- 5 – плита; 6 – кран распределительный; 7 – рукоятка распределительная;
- 8 – основание; 9 – шток; 10 – поршень; 11 – пневмоцилиндр; 12 – корпус.

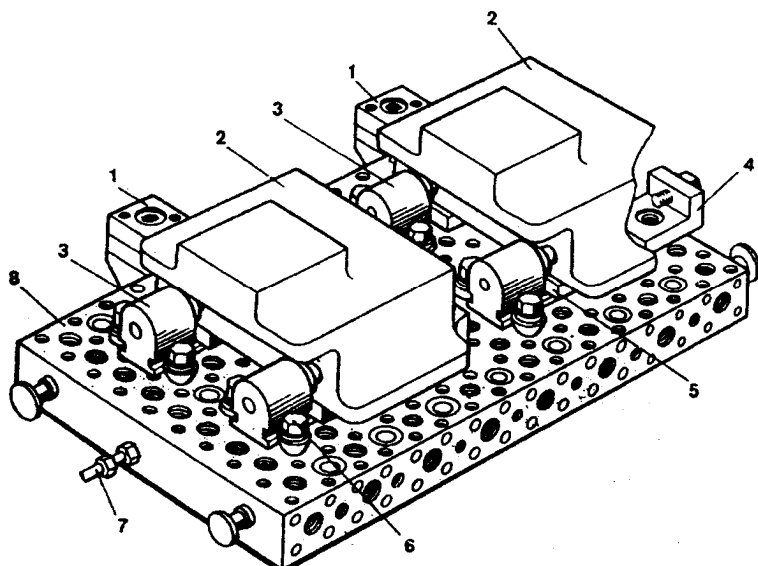


Рис. 1.8. Двухместное приспособление для установки заготовок корпусной детали:
 1 – опора; 2 – заготовка; 3 – гидроцилиндр; 4 – упор; 5 – опора; 6 – болт крепления гидроцилиндра; 7 – штуцер; 8 – гидроплита

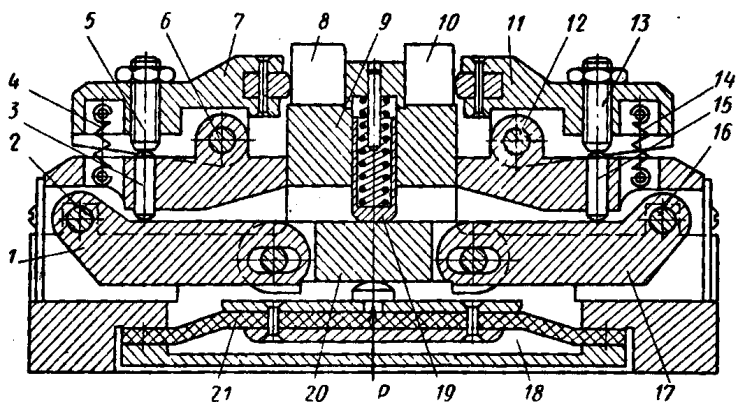


Рис. 1.9. Специальное двухместное приспособление для призматических заготовок:
 1, 17 – рычаги нижние; 2, 16 – оси; 3, 15 – толкатели; 4, 14 – пружины;
 5, 13 – винты регулировочные; 6, 12 – оси; 7, 11 – прихваты; 8, 10 – заготовки;
 9 – установочная деталь; 18 – полость пневмокамеры; 19 – плунжер; 20 – траверса

1.2.2. Базирование заготовки по плоской и наружной цилиндрической поверхностям

По плоской и наружной цилиндрической поверхностям базируют заготовки типа диска и вала. Различное соотношение диаметральных и линейных размеров оказывает существенное влияние на схемы базирования. К заготовкам типа диска относятся заготовки, у которых их высота h меньше или равна половине диаметра D ($h \leq D/2$), т.е. к дискам относятся детали в виде колец, фланцев и т.п. [6].

Валы, согласно классификатору, имеют соотношение длины и диаметра как $h \geq 2D$. К валам в общем виде относятся такие детали, как шпиндели, оси, штоки и т.п.

Промежуточное положение, т.е. отношение высоты к диаметру $0,5D < h < 2D$, занимают детали типа втулок, стаканов, пальцев. Причем все перечисленные детали могут иметь центральное отверстие, как, например, у колец, втулок и полых шпинделей. Для данной типовой схемы базирования внутренние поверхности игнорируются.

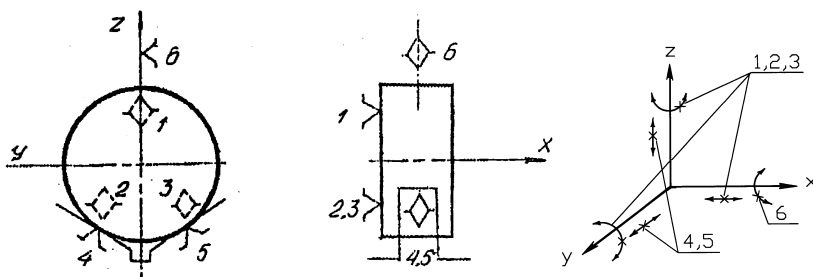


Рис. 1.10. Теоретическая схема базирования заготовки типа диска по плоской и наружной цилиндрической поверхностям

На рис. 1.10 показана теоретическая схема базирования для заготовки типа диска. Плоская поверхность торца диска является установочной базой (как поверхность, имеющая наибольшую площадь). Опорные точки 1, 2, 3 лишают заготовку трех степеней свободы – перемещения вдоль оси X и поворотов вокруг осей Y и Z . Наружная цилиндрическая поверхность диска является двойной опорной базой, так как согласно определению опорные точки 4 и 5 исключают перемещение вдоль осей Y и Z . Последней степени свободы – поворота

вокруг оси X – лишает заготовку опорная точка $б$. Установочными элементами приспособления для опорных точек $1, 2, 3$ являются цилиндрические опоры, а для точек 4 и 5 – короткая призма.

Опорная точка $б$, символизирует двустороннюю связь, налагаемую на заготовку элементом зажимного устройства (например, прихватом), который при закреплении за счет сил трения исключает поворот заготовки вокруг оси X .

По характеру проявления установочная и двойная опорные базы являются явными, как реальные поверхности. Тогда опорную базу, реализуемую прихватом и силами трения при закреплении, следует считать скрытой базой, так как силы трения возникают в предполагаемых точках контакта. Если же конструкция диска имеет шпоночный паз или другой какой-то элемент, по которому ограничивается степень свободы, лишаемая опорной точкой $б$, то опорная база является явной (рис. 1.11). Установочными элементами для таких вариантов будут являться установочный палец для шпоночного паза или цилиндрическая опора для уступа.

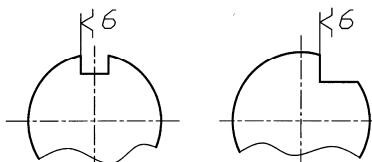


Рис. 1.11. Опорная база на заготовке типа диск

Тогда комплект баз для заготовки типа диска состоит: из технологической установочной явной, технологической двойной опорной явной и технологической опорной скрытой или явной баз.

Примеры конструкций приспособлений для базирования заготовок типа диск даны на рис. 1.12 и 1.13 [7, 8].

При базировании заготовки типа вала плоская поверхность не может являться установочной базой, так как площадь этой поверхности значительно меньше наружной цилиндрической (пусть даже ступенчатой). Теоретическая схема базирования для вала представлена на рис. 1.14.

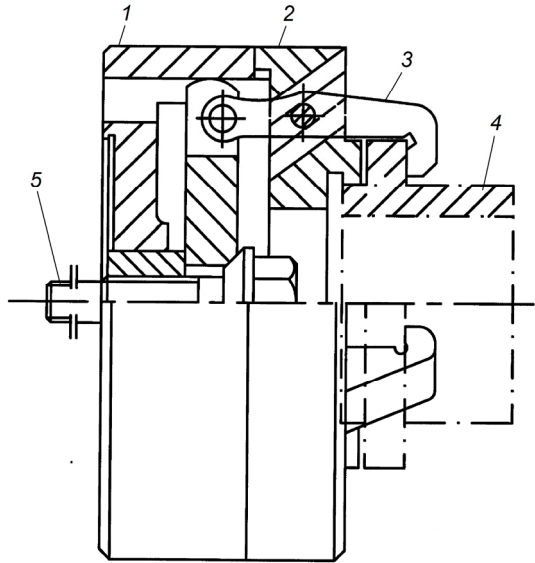


Рис. 1.12. Патрон
для растачивания втулки:
1 – корпус; 2 – крышка;
3 – прихват; 4 – заготовка;
5 – тяга

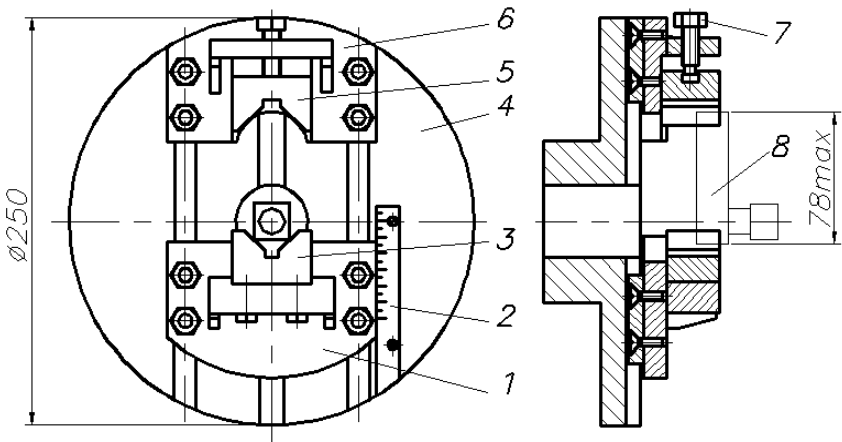


Рис. 1.13. Токарное переналаживаемое приспособление:
1 – нижний корпус; 2 – линейка; 3 – неподвижная призма; 4 – планшайба;
5 – подвижная призма; 6 – верхний корпус; 7 – винт зажима; 8 – заготовка

В этом случае наружная цилиндрическая поверхность является двойной направляющей базой. Опорные точки 1, 2, 3 и 4 лишают заготовку четырех степеней свободы – перемещений вдоль осей Y и Z и поворотов вокруг этих же осей.

Плоскость вала является опорной базой (опорная точка 5), которая лишает заготовку перемещения вдоль оси X . Опорная точка 6 выполняет аналогичную функцию, как в предыдущей схеме базирования.

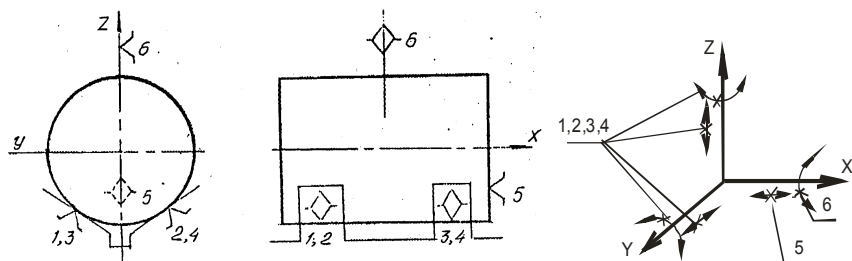


Рис. 1.14. Теоретическая схема базирования заготовки типа вала по плоскости и наружной цилиндрической поверхности

Установочными элементами приспособления для данной схемы базирования являются длинная призма и цилиндрическая опора.

По характеру проявления базы в этом случае будут двойная направляющая база, опорная база, лишаящая заготовку смещения относительно оси X , – явные базы. Опорная база, лишаящая заготовку поворота относительно оси X , аналогична базе диска.

Тогда комплект баз для данной схемы базирования представляет собой сочетание технологической двойной направляющей явной, технологической опорной явной и технологической опорной скрытой или явной баз.

Реализация рассмотренной теоретической схемы в конструкции приспособления представлена на рис. 1.15 [8].

Рекомендации по применению типовой схемы базирования заготовки по плоскости и наружной цилиндрической поверхности.

1. В качестве баз целесообразно использовать поверхности, изготовленные с более высокой точностью.
2. При необходимости длинные призмы выполняются на разных диаметры цилиндрических поверхностей заготовки.

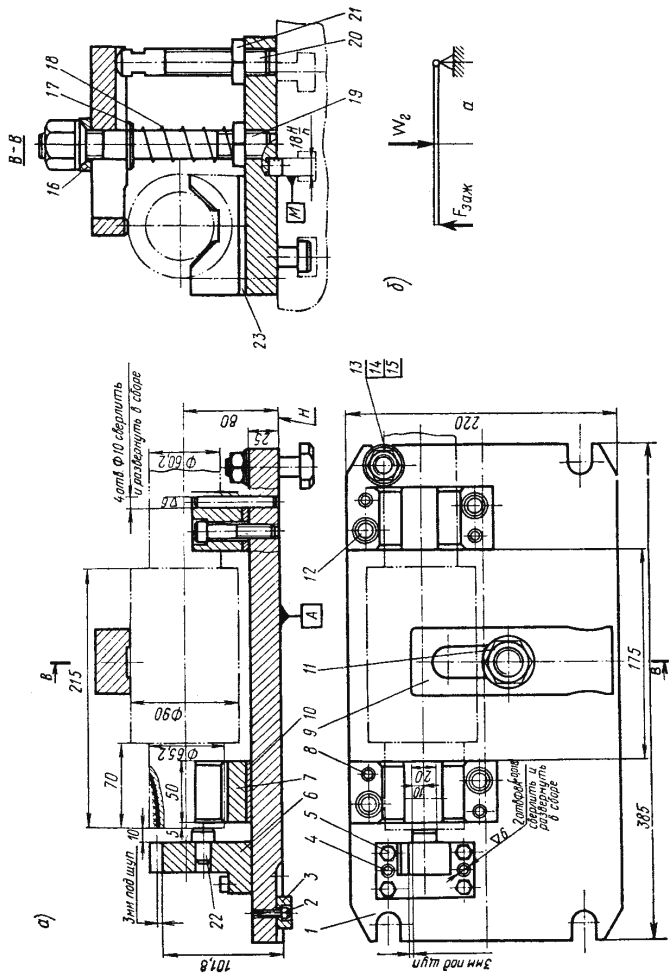


Рис. 1.15. Приспособление для фрезерования шпоночного паза ступенчатого вала.

1 – основание; 2, 3 – винт и шпонка; 4, 5, 6 – штифт, винт и угловой установ; 7 – опорная призма; 8 – штифт; 9 – прихват; 10 – заготовка; 11 – гайка; 12 – винт; 13, 14, 15 – гайка, шайба, болт стачный; 16, 17, 18 – шайбы и пружина; 19 – шпилька; 20, 21 – стойка с контргайкой; 22 – постоянная опора

3. С целью повышения точности базирования заготовки длинная призма должна иметь наибольшее, допустимое для конкретных условий, расстояние между рабочими поверхностями.

4. Расположение опорной базы по линейному размеру для ступенчатых валов зависит от места расположения измерительной базы выполняемого на данной операции линейного размера.

5. В случае если заготовка по геометрической форме представляет собой сочетание диска и вала, например, ступица, недопустимо ее базирование одновременно на установочной и двойной направляющей базам, так как заготовка лишается восьми степеней свободы, что невозможно. Выбор того или иного варианта зависит от требований, предъявляемых к конкретным поверхностям, выполняемых на технологической операции.

1.2.3. Базирование заготовки по плоской и двум наружным цилиндрическим поверхностям

Такое сочетание поверхностей, которые используются в качестве баз, присуще заготовкам типа рычагов, шатунов и т.п.

Плоская поверхность такого типа заготовок принимается за установочную базу. На рис. 1.16 представлена теоретическая схема базирования заготовки рычага. Опорные точки 1, 2, 3 установочной базы лишают заготовку перемещения вдоль оси Z и поворотов вокруг осей X и Y . Одну из наружных цилиндрических поверхностей (в данном случае левую) принимают в качестве двойной опорной базы (опорные точки 4 и 5), которые лишают заготовку перемещения вдоль осей X и Y . Оставшуюся степень свободы – вращение вокруг оси Z – лишает опорная точка 6, являющаяся опорной базой.

В качестве установочных элементов в конструкции приспособлений для установочной базы используются цилиндрические постоянные опоры, опорные шайбы или опорные пластины.

Базирование заготовки по наружным цилиндрическим поверхностям в приспособлении производится с помощью двух коротких призм (опорные точки 4, 5, 6). Левая призма, лишаящая заготовку двух степеней свободы, является неподвижной. Правая же призма выполняет двойную функцию. С одной стороны, она является установочным элементом, а с другой стороны, – элементом зажимного устройства, и поэтому призма выполнена подвижной.

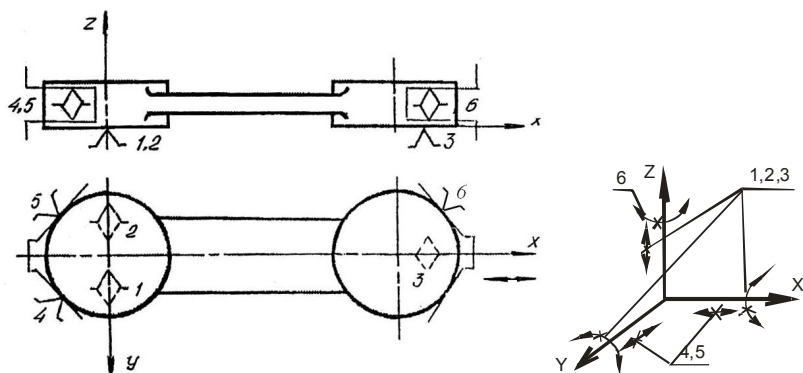


Рис. 1.16. Теоретическая схема базирования заготовки по плоскости и двум наружным цилиндрическим поверхностям

Необходимо помнить, что только неподвижный установочный элемент лишает заготовку полного количества степеней свободы, определенных его конструкцией, например, короткая призма лишает заготовку двух степеней свободы.

Если установочный элемент имеет одну или несколько степеней свободы (перемещение призмы, перемещение плунжеров в самоустанавливающейся опоре), то количество степеней свободы, которых лишается заготовка, будет меньше на количество степеней свободы установочного элемента. Согласно именно этому положению теоретической механики, короткая подвижная призма лишает заготовку одной степени свободы, что и отображено на теоретической схеме базирования.

Характер проявления баз для представленной типовой схемы базирования является явным для установочной и двойной опорной базы. Скрытый характер проявления опорной базы объясняется тем, что подвижная призма определяет положение по повороту продольной оси симметрии заготовки, т.е. воображаемой линии. Опорная база может быть явной, если правая цилиндрическая поверхность базируется в упор к цилиндрической опоре, что показано на рис. 1.17.

Тогда комплект баз для рассматриваемой типовой схемы базирования состоит из технологических установочной явной, двойной опорной явной и опорной явной или скрытой баз.

Пример конструкции приспособления, реализующего данную типовую схему, представлен на рис. 1.18 [9].

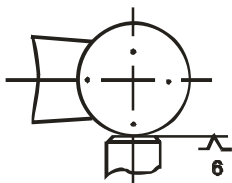


Рис. 1.17. Технологическая опорная
явная база при установке заготовки
шатуна

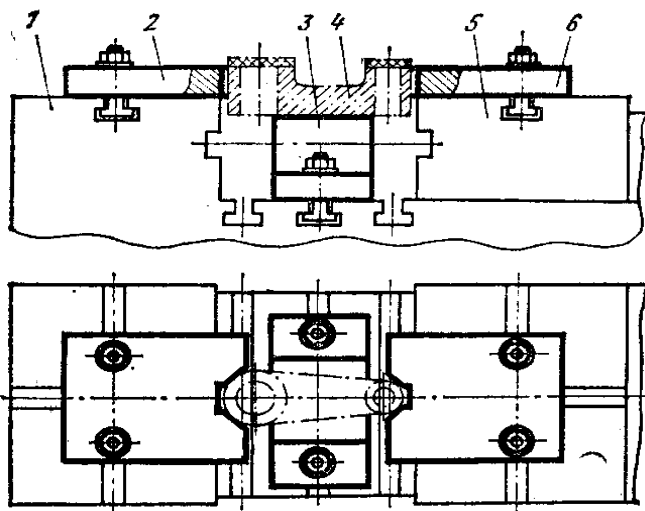


Рис. 1.18. Наладка к универсальным наладочным тискам для закрепления
деталей типа рычага:

1 – корпус; 2 – неподвижная призма; 3 – подставка; 4 – заготовка;
5 – подвижная губка; 6 – подвижная призма

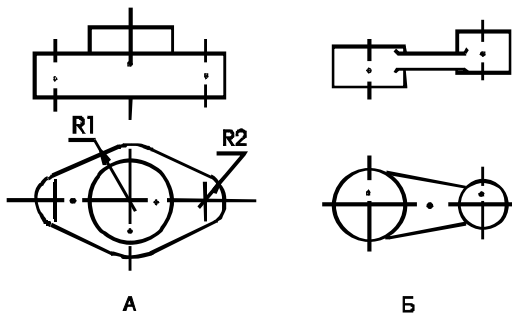


Рис. 1.19. Примеры конструктивных особенностей базирuemых заготовок

Следует иметь в виду, что конструктивные различия заготовок не оказывают влияния в целом на типовую схему базирования. На рис. 1.19 показаны примеры конструкций деталей, для которых применима рассматриваемая схема базирования.

На рис. 1.19, *а* представлен пример с базами в виде участков цилиндрических поверхностей с разными радиусами R_1 и R_2 . На рис. 1.19, *б* показан вариант конструкции заготовки, у которой установочная база является ступенчатой (т.е. представляет собой, из определения базы, «... сочетание поверхностей, выполняющих ту же функцию»), а диаметры цилиндрических поверхностей различные.

1.2.4. Базирование заготовки по плоской и внутренней цилиндрической поверхностям

По плоскости и внутренней цилиндрической поверхности базируют заготовки в виде дисков с отверстиями и втулок как тел вращения. Но эта же схема позволяет произвести базирование корпусных или плоских заготовок при наличии в них отверстий.

Для заготовок, у которых площадь плоской поверхности преобладает, например, как у диска, целесообразно плоскую поверхность выбрать в качестве установочной базы (рис. 1.20).

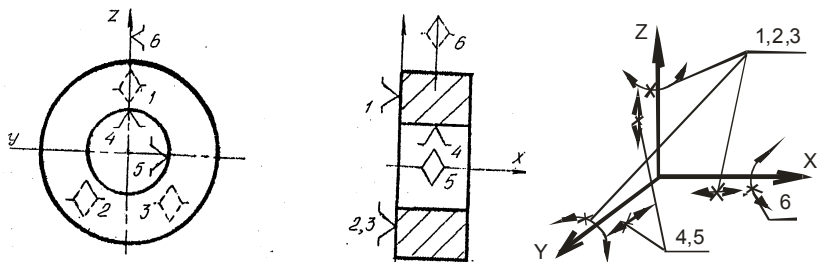


Рис. 1.20. Теоретическая схема базирования заготовки по плоскости и внутренней цилиндрической поверхности (короткое цилиндрическое отверстие)

Опорные точки 1, 2 и 3 установочной базы лишают заготовку перемещения вдоль оси X и поворотов вокруг осей Y и Z . Внутренняя цилиндрическая поверхность (опорные точки 4 и 5) является двойной опорной базой, так как лишает заготовку перемещений вдоль осей Y и Z .

Опорная точка *б* выполняет ту же функцию, что и в предыдущих схемах базирования (см. рис. 1.10, 1.11, 1.14).

В конструкции приспособления установочными элементами являются цилиндрические опоры для опорных точек *1, 2* и *3*, а для двойной опорной базы – короткий установочный цилиндрический палец.

Комплект баз для такой схемы базирования состоит из технологических установочной явной, двойной опорной явной и опорной скрытой баз.

При базировании заготовки типа втулки внутренняя цилиндрическая поверхность определяет положение ее в пространстве более точно. Поэтому внутренняя цилиндрическая поверхность принимается как двойная направляющая база (рис. 1.21). Опорные точки *1, 2, 3, 4* лишают заготовку четырех степеней свободы – перемещений вдоль осей *Y* и *Z* и поворотов вокруг этих же осей.

Опорная точка *5* приложена к плоской поверхности, которая является опорной базой, и лишает заготовку перемещения вдоль оси *X*. Оставшуюся шестую степень свободы – поворот вокруг оси *X* – исключает опорная точка *б*. Поворот заготовки относительно оси *X* исключается действием сил закрепления.

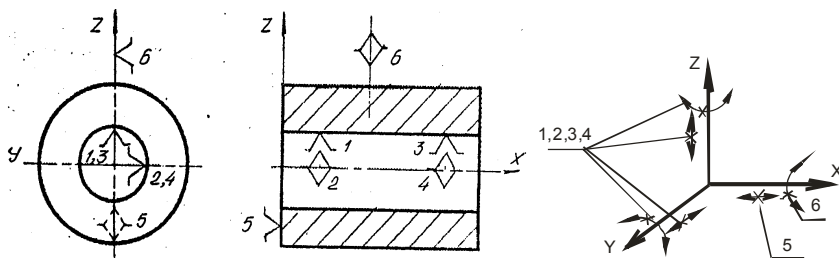


Рис. 1.21. Теоретическая схема базирования заготовки по плоскости и внутренней цилиндрической поверхности (по длинному цилиндрическому отверстию)

Основными установочными элементами для данной схемы базирования являются длинные установочные цилиндрические пальцы или цилиндрические оправки.

Комплект баз для втулки или полого вала представляет совокупность технологических двойной направляющей явной, опорной явной, лишаящей заготовку осевого перемещения, и опорной скрытой баз.

Примеры приспособлений для реализации типовой схемы базирования по плоскости и внутренней цилиндрической поверхности приведены на рис. 1.22, 1.23, 1.24.

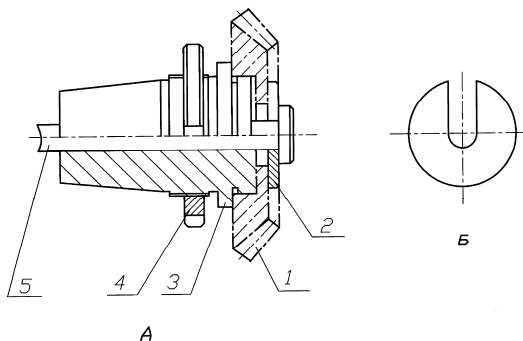


Рис. 1.22. Приспособление для нарезания конического зубчатого колеса:
1 – заготовка; 2 – шайба специальная; 3 – корпус; 4 – гайка круглая; 5 – тяга

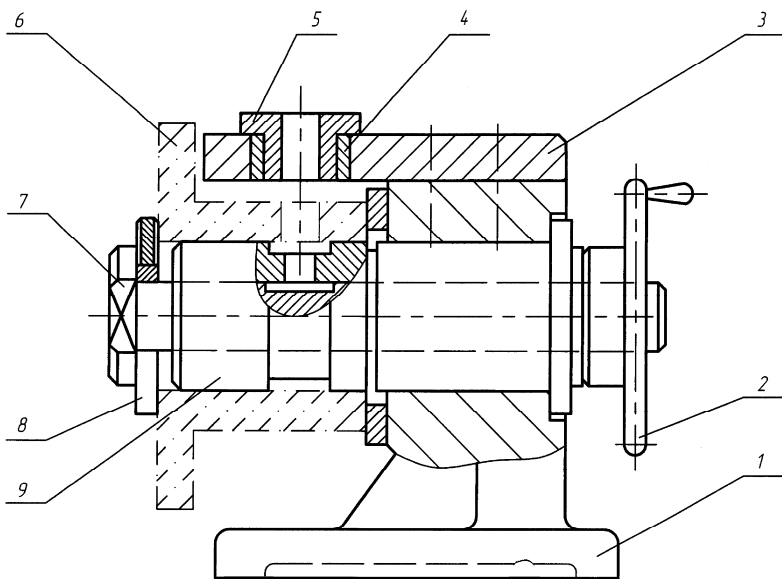


Рис. 1.23. Специальное приспособление для сверления отверстия во втулке:
1 – корпус; 2 – штурвал; 3 – плита кондукторная; 4 – втулка постоянная;
5 – кондукторная втулка сменная; 6 – заготовка; 7 – тяга; 8 – шайба специальная;
9 – оправка

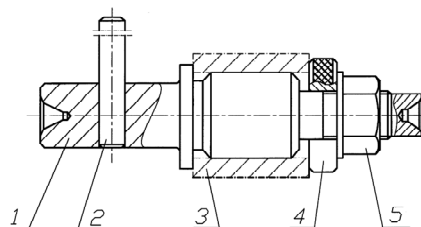


Рис. 1.24. Оправка для шлифовального станка:
 1 – оправка; 2 – поводок; 3 – заготовка; 4 – шайба специальная; 5 – гайка

Особенностью базирования заготовок по плоскости и внутренней цилиндрической поверхности является обязательное наличие зазора между поверхностями отверстия и установочного элемента (пальца или оправки). Наличие зазора позволяет производить быструю установку заготовки в приспособление, но приводит к увеличению погрешности базирования.

Конструктивными особенностями применения данной схемы базирования является оформление зажимного устройства для его быстрого действия. Специальная шайба (рис. 1.22, б) выполняется с пазом, причем диаметр гайки или головки тяги должен быть меньше, чем внутренний диаметр отверстия заготовки, по которому производится базирование. При смене заготовок коротким ходом тяги или ослаблением гайки, достаточных для снятия шайбы, заготовка освобождается от закрепления и снимается с приспособления. После установки следующей заготовкой шайба устанавливается на предназначенное место и производится закрепление заготовки.

Необходимо четко представлять, что недопустимо совмещать оба варианта базирования (аналогично базированию по плоскости и наружной цилиндрической поверхности) для заготовки, у которой присутствует и элемент диска, и элемент втулки (рис. 1.25).

Выбор варианта базирования определяется техническими требованиями к обрабатываемым поверхностям. Например, при обработке лыски целесообразно выбрать комплект баз, состоящий из установочной, двойной опорной и опорной баз, так как необходимо обеспечить перпендикулярность обрабатываемой поверхности к плоскости основания заготовки (база В). Для обработки цилиндрической поверхности диаметром D , которая должна располагаться соосно с внутренней цилиндрической поверхностью (база Б), необ-

ходимо применить комплект баз, присущий втулке, т.е. двойная направляющая и две опорные базы.

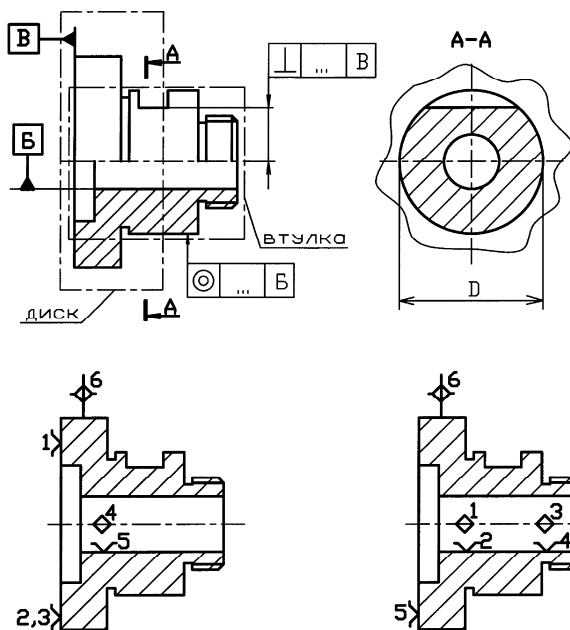


Рис. 1.25. Базирование заготовки с элементами диска и втулки

Таким образом, в каждом аналогичном случае выбор баз производится исходя из конкретных технических требований к обрабатываемым поверхностям.

1.2.5. Базирование заготовки по плоской и двум внутренним цилиндрическим поверхностям

По плоскости и двум отверстиям базируют заготовки разнообразной по геометрической форме. По такой типовой схеме базируют заготовки призматической, коробчатой форм, заготовки типов диска, крышки, плиты, рычага с несколькими отверстиями.

Обязательным условием является наличие не менее двух параллельных отверстий одинаковых или различных по диаметру и перпендикулярных к плоской поверхности.

На рис. 1.26 изображена теоретическая схема базирования заготовки типа плиты по плоскости и двум отверстиям.

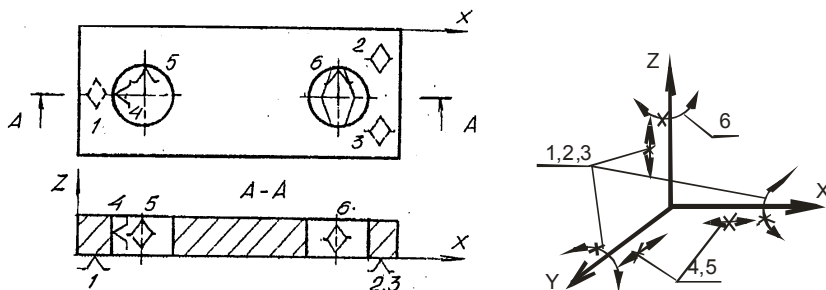


Рис. 1.26. Теоретическая схема базирования заготовки по плоской поверхности и двум отверстиям

Плоская поверхность при данной схеме базирования принимается в качестве установочной базы. Опорные точки 1, 2 и 3 лишают заготовку перемещения вдоль оси Z и поворотов вокруг осей X и Y . По поверхностям отверстий заготовка лишается оставшихся степеней свободы. Одно из отверстий (левое) лишает заготовку двух степеней свободы – перемещений вдоль осей X и Y .

Цилиндрическая поверхность отверстия является в этом случае двойной опорной базой. Оставшуюся степень свободы – поворота вокруг оси Z – лишает опорная точка 6.

Установочные элементы приспособления выбираются в зависимости от конструкции конкретной заготовки. Крупногабаритные заготовки по установочной базе базируются на опорные пластины, шайбы. Легкие заготовки по этой же базе устанавливают на цилиндрические постоянные опоры. Для двойной опорной базы установочным элементом является установочный цилиндрический палец.

По второму цилиндрическому отверстию заготовка базируется с помощью установочного срезанного (ромбического) пальца. Все базы по характеру проявления явные.

При наличии на заготовке больше двух одинаковых отверстий, подходящих для данной схемы базирования, необходимо выбирать два отверстия с максимальным расстоянием между ними. Если несколько отверстий выполнены с различной точностью, то целесообразно выбирать отверстия с более высокой точностью. Но в каждом

конкретном случае выбор отверстий для базирования необходимо обосновать расчетом угловой погрешности базирования. В одном случае определяющим может быть расстояние между отверстиями, а в другом – точность отверстий. Причем технолог имеет возможность (и право) изменить точность одного или двух отверстий в сторону повышения их точности, по сравнению с заданными конструктором, и назначить эти отверстия технологическими, но такое повышение точности отверстий, используемых в дальнейшем для базирования, должно производиться в разумных пределах.

Следует помнить, что рабочие поверхности установочного срезанного пальца должны располагаться на перпендикуляре к осевой линии, соединяющей два отверстия.

Недопустимо нагружение установочных пальцев радиальными усилиями, что приводит к их преждевременному изнашиванию и, как следствие, потере точности приспособления.

На рис. 1.27, 1.28, 1.29 приведены примеры конструкций приспособлений [8, 9, 10].

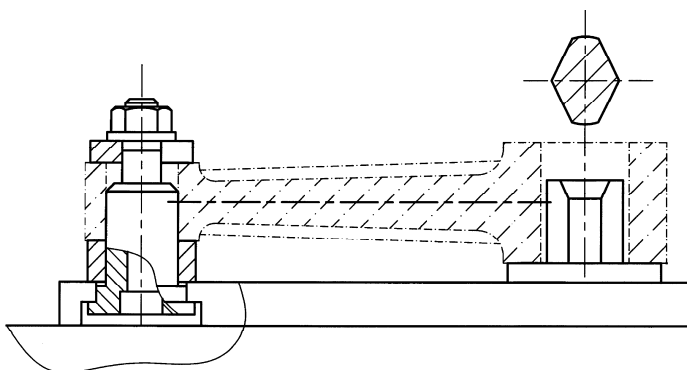


Рис. 1.27. Базирование шатуна по плоскости и двум отверстиям

Методика расчета диаметров пальцев и других исполнительных размеров для данной схемы базирования приведены, например, в [11, 12].

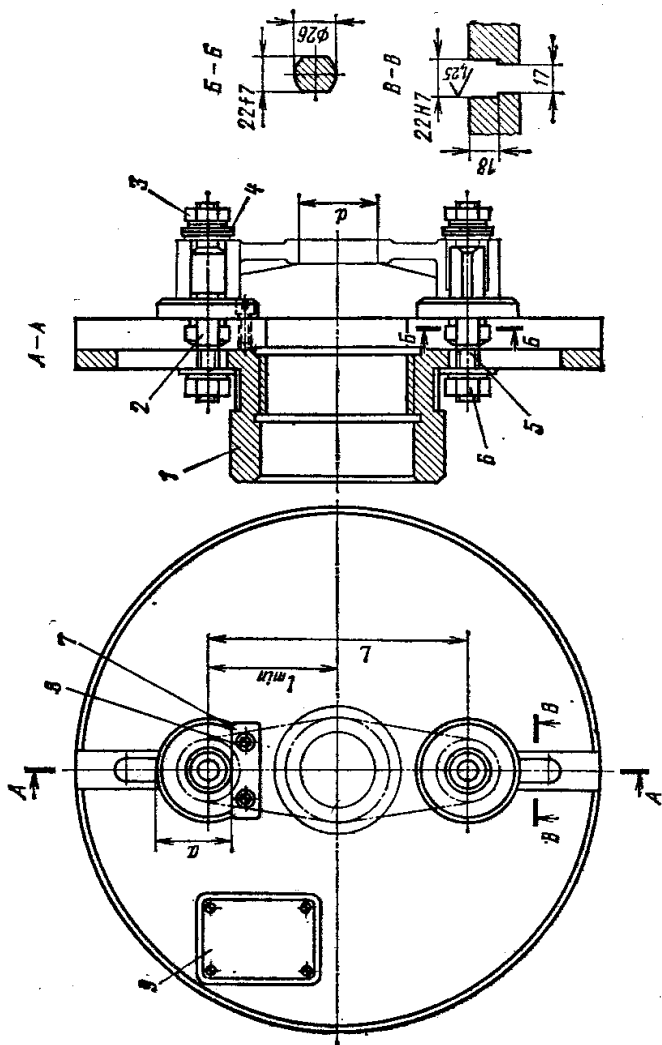


Рис. 1.28. Специализированное приспособление для растачивания отверстия в вилке:
 1 — планшайба, 2 — палец цилиндрический, 3, 4 — гайка и шайба, 5 — палец ромбический, 6 — гайка, 7 — планка;
 8 — винт, 9 — табличка

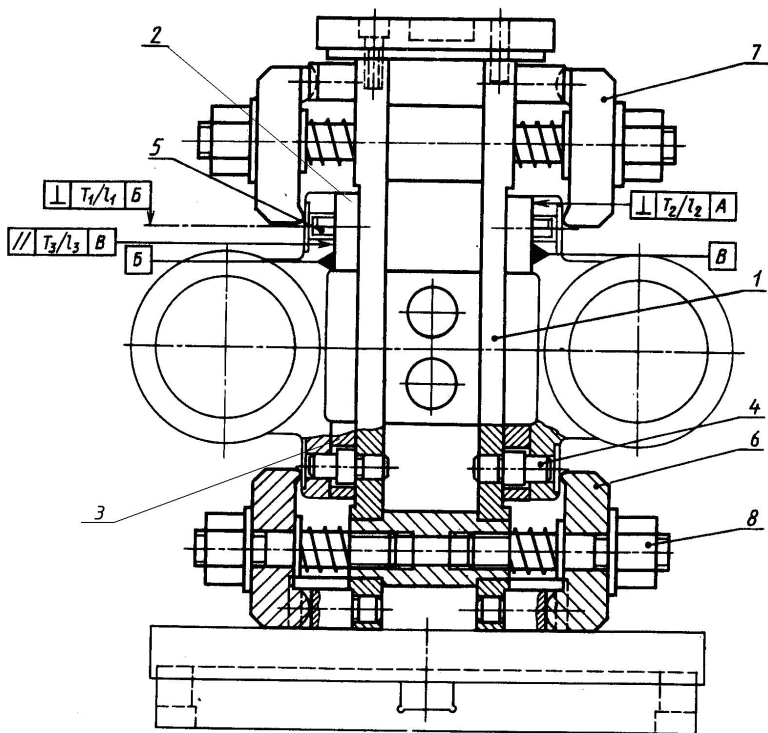


Рис. 1.29. Двухместное приспособление для установки корпуса подшипника:
 1 – корпус; 2, 3 – опорные пластины; 4 – цилиндрический палец;
 5 – срезанный (ромбический) палец; 6, 7 – прихваты; 8 – гайки

1.2.6. Базирование заготовки по центровым отверстиям

По центровым отверстиям базируют заготовки типа вала, втулки и др. Втулка должна иметь фаски соответствующего профиля и размера. Типовая схема базирования находит широкое применение при токарной обработке, обработке зубчатых колес, шлифовании и т.д.

Несмотря на широкое применение данной схемы базирования в литературе описание комплекта баз дается неоднозначно или на комплекте баз не заостряется внимание [13, 14, 15].

Теоретическая схема базирования заготовки по двум центровым отверстиям представлена на рис. 1.30.

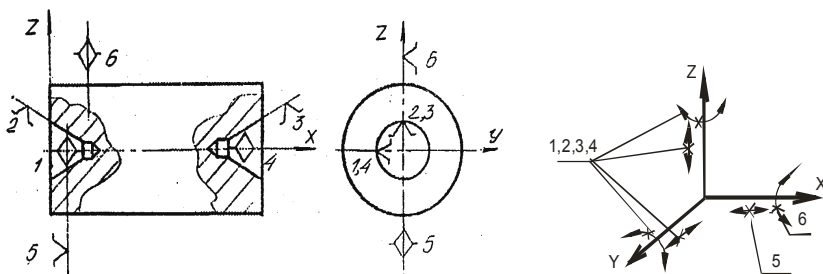


Рис. 1.30. Теоретическая схема базирования заготовки по центровым отверстиям с применением поводкового хомутика

Согласно теоретической схеме базирования левый центр (жесткий) лишает заготовку трех степеней свободы: точки 1, 2, 5 лишают заготовку перемещений относительно осей X , Y , Z . Но ГОСТ 21495–76 не предусматривает исключения у заготовки трех перемещений. Остается возможность рассматривать центровые отверстия как сочетание поверхностей, которые выполняют функцию базы. Тогда два центровые отверстия в совокупности являются двойной направляющей базой. Опорные точки 1, 2 и 3, 4 располагаются на рабочих конических поверхностях центровых отверстий и лишают заготовку четырех степеней свободы – перемещений вдоль осей Y , Z и поворотов вокруг этих осей.

Опорная точка 5 опорной базы, которой также является коническая поверхность центрального отверстия, лишает заготовку перемещения вдоль оси X . Последнюю степень свободы – вращение заготовки относительно оси X – исключает опорная точка 6.

Рассмотренная теоретическая схема базирования заготовки по центровым отверстиям предусматривает применение в качестве установочных элементов для опорных точек 1, 2, 5 и 3, 4 центров. Опорной точке 6 соответствует поводковый хомутик.

По характеру проявления двойная направляющая и опорная, лишаящая заготовку перемещения вдоль оси X , базы являются явными. Опорная база, лишаящая заготовку вращения относительно оси X и реализуемая хомутиком (по аналогии с зажимными устройствами в пп. 1.2.2 и 1.2.3), по-видимому, является скрытой.

Применение установочных элементов других конструкций изменяет и теоретическую схему базирования заготовки по центровым отверстиям.

На рис. 1.31, *а* представлена теоретическая схема с применением рифленого упорного центра. Отличием данной схемы базирования от предыдущей заключается в том, что опорная точка *б* располагается на конической поверхности центрального отверстия. Если применяется передний плавающий центр и поводок, имеющий рифления, и который контактирует с заготовкой по ее торцу, то опорные точки *5* и *б* располагаются по плоской поверхности торца заготовки (рис. 1.31, *б*).

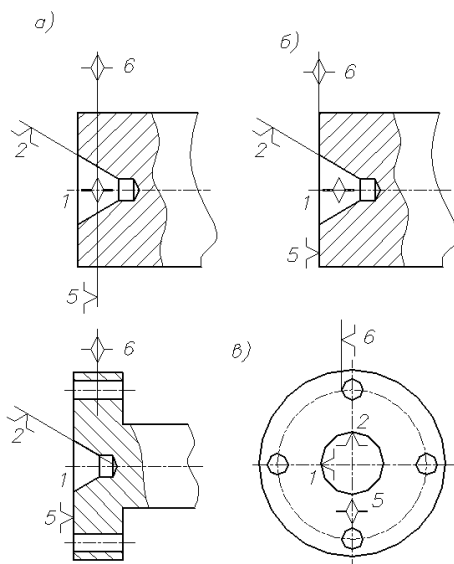


Рис. 1.31. Теоретическая схема базирования при применении рифленого упорного центра (*а*), плавающего поводкового зубчатого центра (*б*) и плавающего поводкового штырькового центра (*в*)

При применении плавающего поводкового штырькового центра (рис. 1.31, *в*) опорная точка *б* располагается по цилиндрической поверхности одного из отверстий, в которое вводится штырь поводкового патрона. Причем, опорная база (точка *б*) становится явной базой, так как отверстие является реальной поверхностью.

Один из вариантов специальной оправки для базирования втулки был приведен на рис. 1.24, но сама оправка устанавливается на станке по центровым отверстиям.

Пример применения поводкового приспособления для токарных работ показан на рис. 1.32 [4].

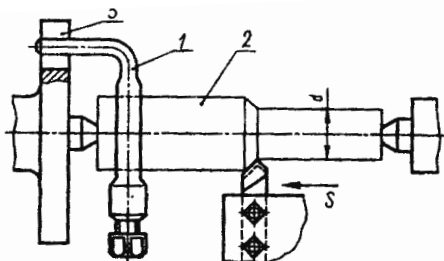


Рис. 1.32. Схема поводкового приспособления:

- 1 – хомутик;
- 2 – заготовка;
- 3 – планшайба

Пример унифицированной оправки для круглошлифовального станка представлен на рис. 1.33 [16].

Базирование заготовки на унифицированной оправке производится аналогично, как на рис. 1.24.

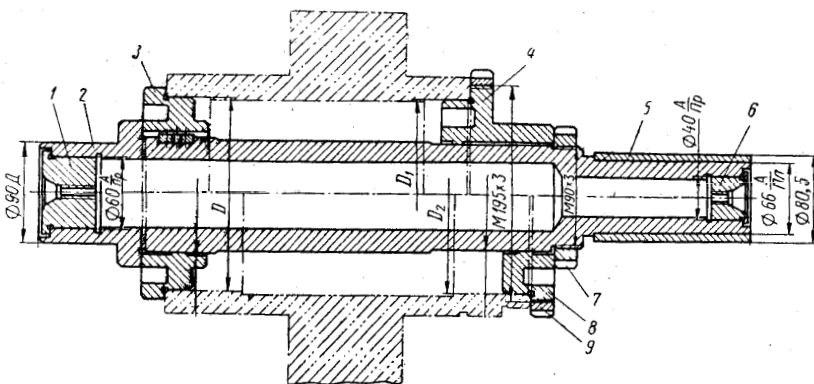


Рис. 1.33. Унифицированная оправка для круглошлифовального станка:

- 1, 6 – втулки;
- 2 – корпус оправки;
- 3, 4, 8 – заглушки;
- 5 – втулка;
- 7 – гайка;
- 9 – гайка

1.2.7. Базирование заготовки по плоскости (плоскостям) и элементу (элементам) симметрии

Отличительной особенностью рассмотренных выше типовых схем базирования заготовок является выбор в большинстве случаев в качестве баз реальных поверхностей.

На практике значительный объем работ приходится на обеспечение достаточно жестких требований по торцевому и радиальному биениям, параллельности, перпендикулярности и симметричности поверхностей. Перечисленные требования характерны как для тел вращения, так и для корпусных заготовок, заготовок типа рычага и др.

При базировании заготовки по оси цилиндрической поверхности и плоскости ось является скрытой базой, а плоскость – явной. По сочетанию поверхностей заготовки могут быть типа диска, вала, диска с отверстием и втулки. Для заготовок типа диска и вала рассматриваются в качестве баз оси наружных цилиндрических поверхностей, а для заготовки типа диска с отверстием и втулки – оси цилиндрических поверхностей отверстий.

На рис. 1.34 представлена теоретическая схема базирования заготовки типа диска. Как и при базировании заготовки данного типа по плоской и наружной цилиндрической поверхностям (см. рис. 1.10) плоскость, имеющая большую площадь, принимается технологической установочной базой (опорные точки 1, 2 и 3). Ось диска является двойной опорной скрытой базой, и, следовательно, опорные точки 4 и 5 налагаются именно на ось. Опорная точка 6 выполняет функцию, что и на рис. 1.10, и расположена на опорной скрытой базе.

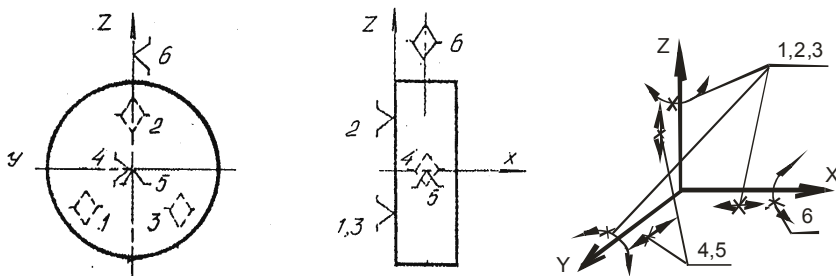


Рис. 1.34. Теоретическая схема базирования заготовки типа диска по оси цилиндрической и плоской поверхностям

Опорные точки 1, 2, 3 лишают заготовку перемещения вдоль оси X и поворотов вокруг осей Y и Z . Опорные точки 4 и 5 исключают перемещение заготовки вдоль осей Y и Z , а опорная точка 6 (при приложении сил закрепления) исключает поворот вокруг оси X .

Установочными элементами приспособления для данной схемы базирования являются кулачки только самоцентрирующихся патронов. В этом случае производится однозначное определение оси заготовки.

Для заготовки типа вала теоретическая схема базирования представлена на рис. 1.35. Ось заготовки является двойной направляющей скрытой базой (опорные точки 1, 2, 3 и 4), плоская поверхность торца – опорная явная база (точка 5), а опорная скрытая база проявляется при приложении сил закрепления и отображена опорной точкой 6. Заготовка лишается степеней свободы аналогично схеме, представленной на рис. 1.14.

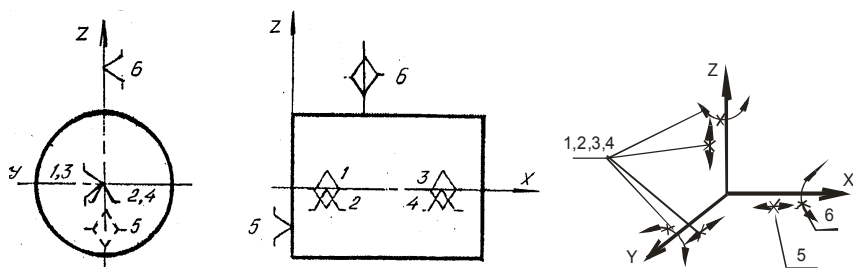


Рис. 1.35. Теоретическая схема базирования заготовки типа вала по оси цилиндрической и плоской поверхностям

Комплект баз для диска в этом случае состоит из технологических установочной явной, двойной опорной и опорной скрытых баз. Для вала комплект баз представляет собой сочетание технологических двойной направляющей скрытой, опорной явной, которая лишает заготовку перемещения вдоль оси X , и опорной скрытой баз.

Установочными элементами для заготовки типа вала с базированием по наружной цилиндрической поверхности являются длинные кулачки самоцентрирующегося патрона.

Базирование заготовок типа дисков с отверстием и втулки по осям цилиндрических отверстий и плоскостям, соответственно, представлены на рис. 1.36 и 1.37.

Эти теоретические схемы отличаются от схем базирования заготовок по плоскости и внутренней цилиндрической поверхностям (см. рис. 1.20 и 1.21) местами расположения опорных точек 4, 5 и 1, 2, 3, 4. Ось отверстия диска является двойной опорной базой, а для втулки – двойной направляющей базой. По остальным опорным точкам различий нет.

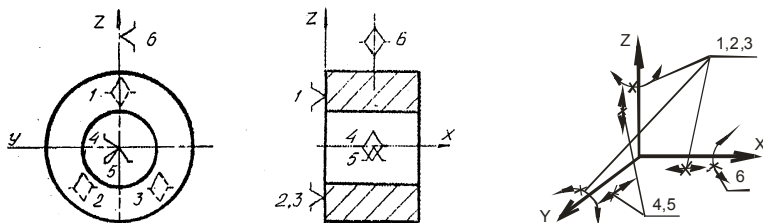


Рис. 1.36. Теоретическая схема базирования заготовки типа диска по оси цилиндрической поверхности отверстия и плоскости

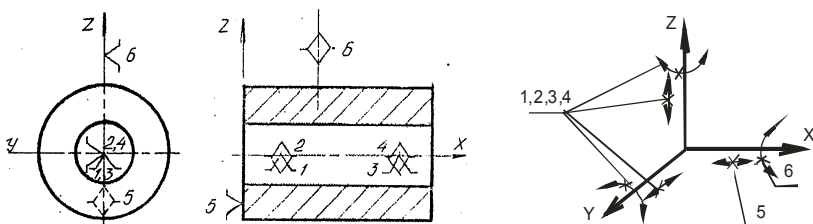


Рис. 1.37. Теоретическая схема базирования заготовки типа втулки по оси отверстия и плоскости

Для диска с отверстием и втулки комплект баз аналогичен предыдущему варианту базирования диска и вала.

Установочными элементами для заготовок типа диска с отверстием и втулки в данном случае должны быть или кулачки самоцентрирующие патроны (короткие для диска и длинные для втулки) с закреплением заготовки «на разжим», или разжимные оправки различных типов. Обязательным условием при базировании заготовки по оси отверстия является отсутствие зазора между поверхностью отверстия и рабочими поверхностями установочных элементов оправки после закрепления заготовки.

Конструкции приспособлений, реализующих рассмотренную типовую схему базирования, для тел вращения приведены на рис. 1.38, 1.39 [17], 1.40 [4].

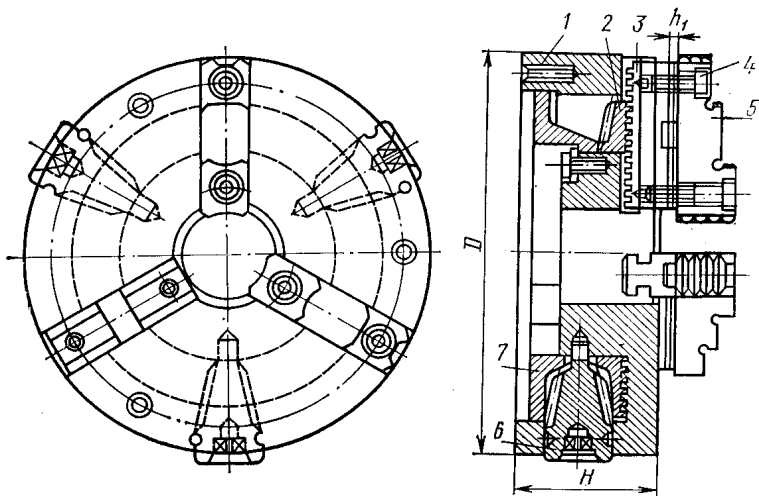


Рис. 1.38. Трехкулачковый спирально-реечный самоцентрирующий патрон:
 1 – корпус; 2 – диск (ведомое коническое колесо со спирально-речными пазами);
 3 – рейка; 4 – винт; 5 – накладной кулачок

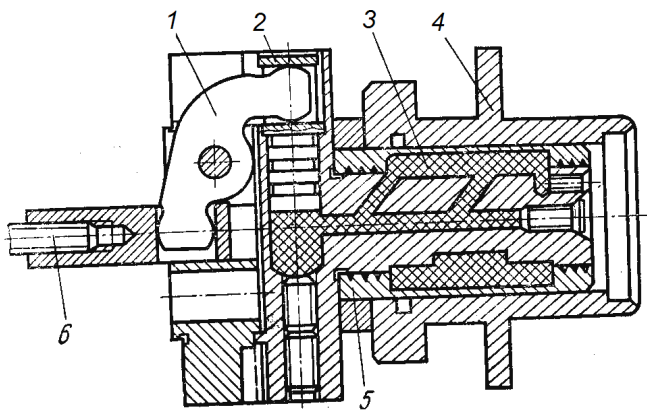


Рис. 1.39. Консольная оправка с гидропластмассой:
 1 – рычаг; 2 – плунжер; 3 – гидропластмасса; 4 – заготовка;
 5 – тонкостенная втулка

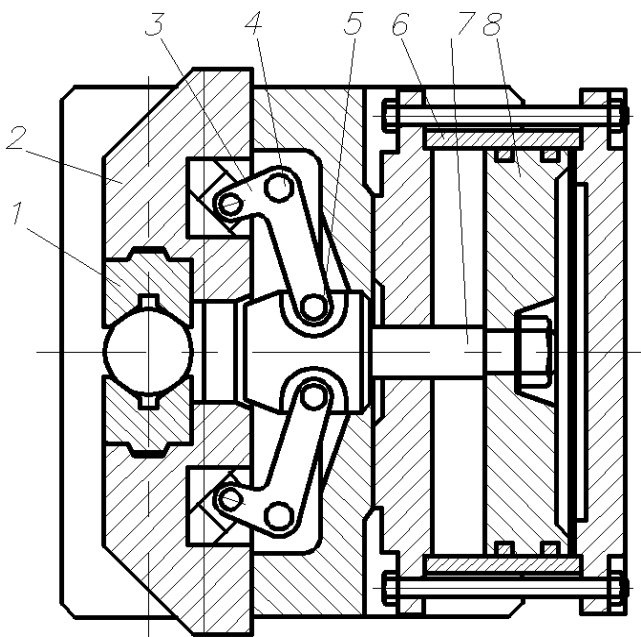


Рис. 1.40. Стационарные универсальные пневматические тисы:
 1 – сменная губка; 2 – ползун; 3 – рычаг; 4 – ось; 5 – палец; 6 – пневмоцилиндр;
 7 – поршень; 8 – шток

Для заготовок типа рычага возникает необходимость их базирования по рассматриваемой схеме, если в технических требованиях заложено выполнение симметричности не только относительно продольной оси (выполнение такого требования обеспечит типовая схема базирования по плоскости и двум наружным цилиндрическим поверхностям согласно п. 1.2.3), но и оси симметрии по длине заготовки. На рис. 1.41 представлен пример технических требований к технологической операции сверления отверстий.

Согласно техническим требованиям необходимо обработать с применением кондукторных втулок отверстия d_1 и d_2 во втулках рычага, обеспечив при этом перпендикулярность осей отверстий к плоскости A и симметричность отверстий относительно плоскостей симметрии X и Y (конструкторские базы B и B). Тогда для выполнения установленных требований необходимо изменить теоретиче-

скую схему базирования, что приводит к существенному изменению конструкции приспособления.

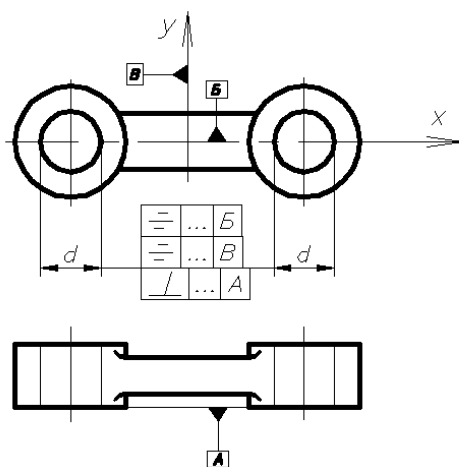


Рис. 1.41. Технические требования к обрабатываемым отверстиям

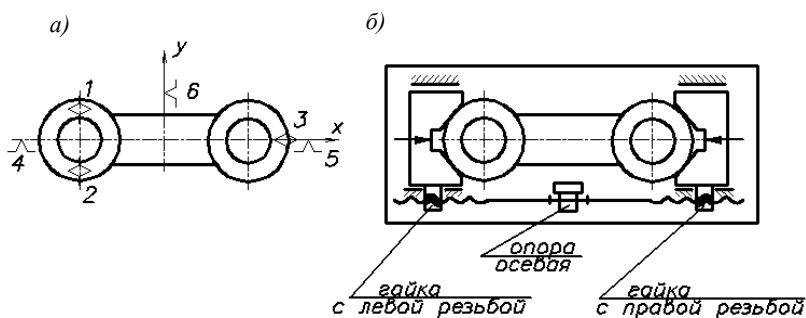


Рис. 1.42. Теоретическая схема базирования рычага и схема конструктивного исполнения приспособления

В комплект баз входят: технологическая установочная явная база (опорные точки 1, 2, 3), направляющая скрытая (точки 4 и 5) и опорная скрытая (точка б) базы (рис. 1.42, а). Особенностью конструкции приспособления (рис. 1.42, б) является самоцентрирование призм, т.е. обе призмы являются подвижными, за счет применения винта с правой и левой резьбами. Фактически осевая опора винта

обеспечивает положение поперечной плоскости симметрии (конструкторской базы *B*). Самоцентрирование призм может быть реализовано и с помощью рычажной системы (см. рис. 1.40).

На рис. 1.43 приведен пример применения схемы базирования корпуса подшипника по его плоскости симметрии. В комплекте баз установка и направляющая базы – явные, а опорная – скрытая [8].

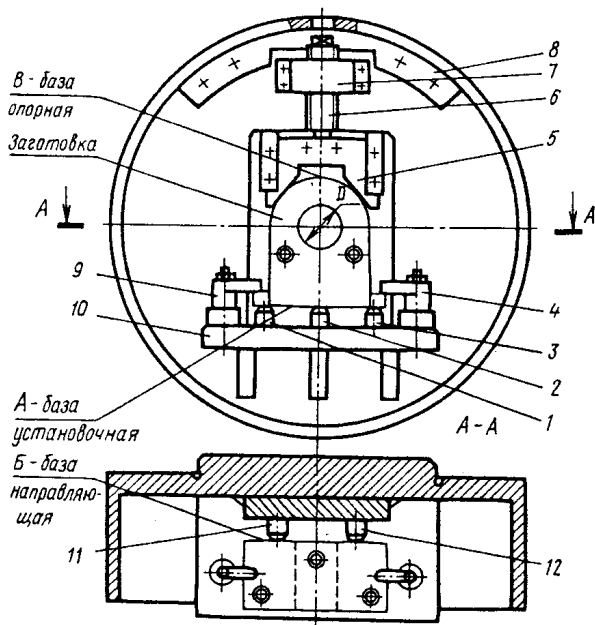


Рис. 1.43. Конструкция токарного приспособления для растачивания отверстия в корпусе:

1, 2, 3 – опоры цилиндрические; 4, 9 – прихваты; 5 – призма; 6 – винт зажимной; 7 – гайка; 8 – противовес; 10 – корпус; 11, 12 – опоры цилиндрические

При разработке теоретических схем базирования заготовок довольно часто возникает многовариантность выбора схемы. Обоснование выбора одного из вариантов схемы базирования, удовлетворяющего требованиям, производится анализом исходных данных и оценкой погрешности установки.

Рассмотренные типовые схемы не могут охватить все многообразие геометрических форм заготовок, но закладывает основу для приобретения навыков разработки теоретических схем базирования

заготовок. Наиболее полная классификация приспособлений с точки зрения комплекта баз приводится в пособии [10].

1.3. Задачи для практических занятий

Разработать теоретические схемы базирования.

Задача 1. Обеспечить при фрезеровании симметричность шпоночного паза относительно цилиндрической поверхности (рис. 1.44).

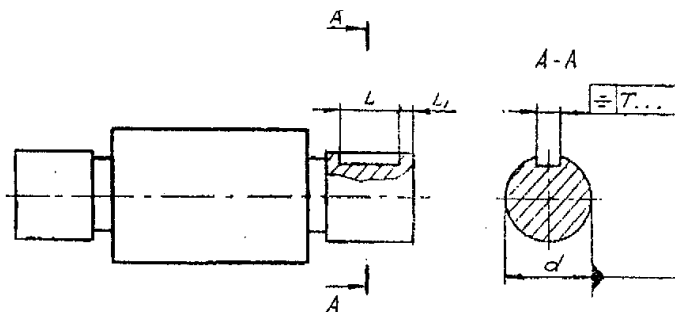


Рис. 1.44

Задача 2. Обеспечить при сверлении отверстий d_1 и d_2 перпендикулярность их осей к поверхности А, симметричность относительно продольной оси и соосность отверстия d_1 относительно втулки D (рис. 1.45).

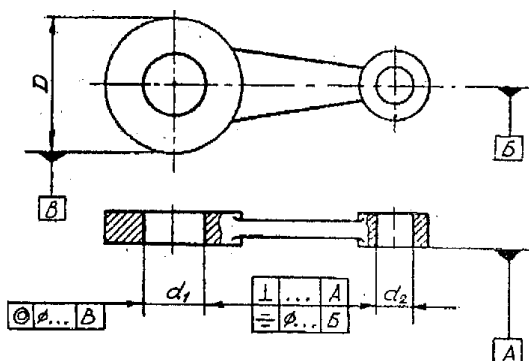


Рис. 1.45

Задача 3. Обеспечить при фрезеровании плоскостей Б и В параллельность основанию и симметричность относительно плоскости симметрии (рис. 1.46).

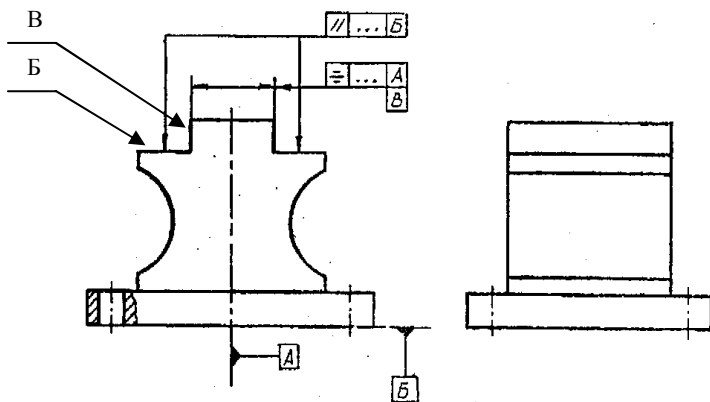


Рис. 1.46

Задача 4. Обеспечить при растачивании отверстия d размер H , параллельность оси отверстия к плоскости А, перпендикулярность к базе Б и симметричность к плоскости В (рис. 1.47).

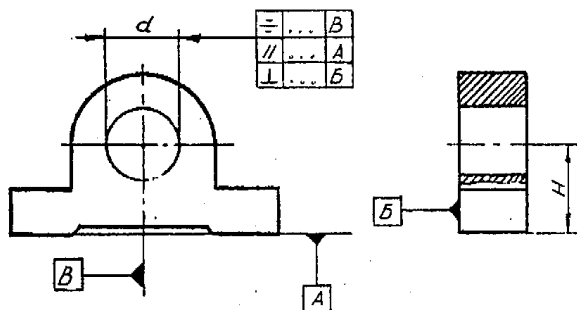


Рис. 1.47

Задача 5. Обеспечить при нарезании резьбы $M...$ ее радиальное биение относительно отверстия d (рис. 1.48).

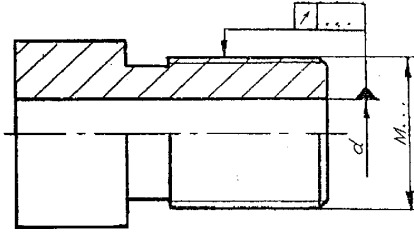


Рис. 1.48

Задача 6. Обеспечить при растачивании отверстия d симметричность его оси к продольной оси симметрии заготовки и перпендикулярность к основанию (рис. 1.49).

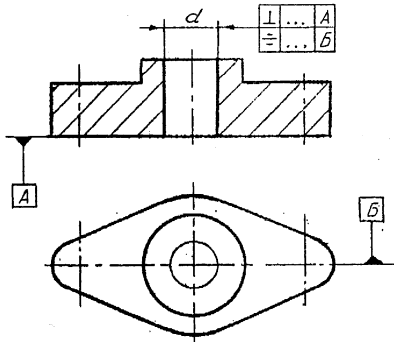


Рис. 1.49

Задача 7. Обеспечить при шлифовании поверхностей Б и В требуемые биения относительно базы А (рис. 1.50).

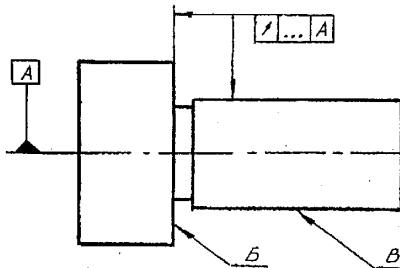


Рис. 1.50

Задача 8. Обеспечить при фрезеровании поверхности В ее перпендикулярность к базам А, Б и выдержать размер L (рис. 1.51).

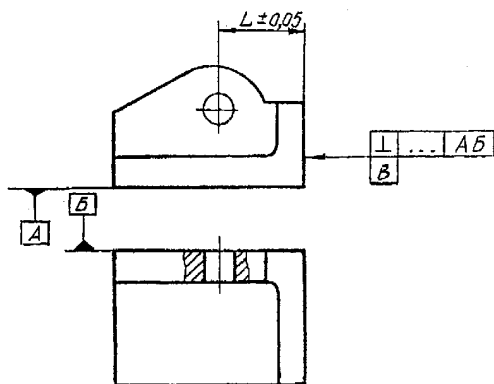


Рис. 1.51

Задача 9. Обеспечить при сверлении отверстия d угол α , размер L в требуемых допусках и перпендикулярность оси отверстия к базе Б (рис. 1.52).

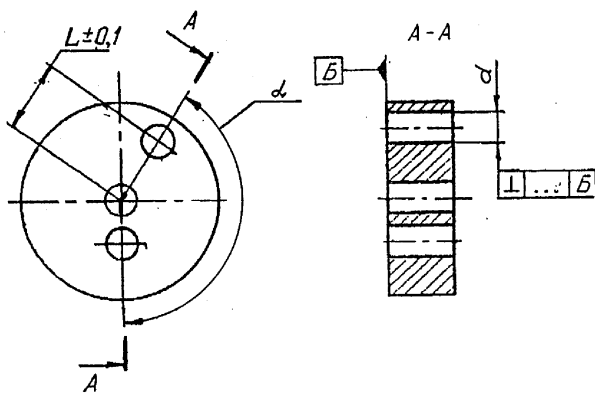


Рис. 1.52

Задача 10. Обеспечить при сверлении отверстия d требуемый размер L , симметричность оси отверстия к базе Б и параллельность к базе В (рис. 1.53).

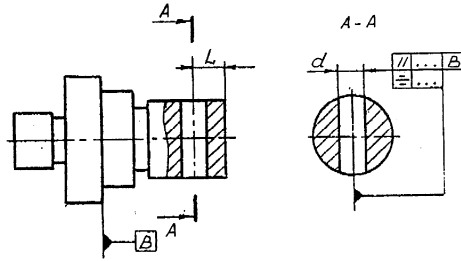


Рис. 1.53

Задача 11. Обеспечить при шлифовании поверхностей Б требуемые биения относительно базы А (рис. 1.54).

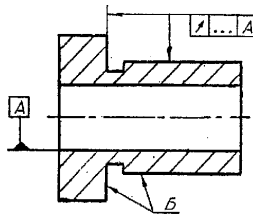


Рис. 1.54

Задача 12. Обеспечить при растачивании отверстия d симметричность оси к контуру заготовки и перпендикулярность к базе А (рис. 1.55).

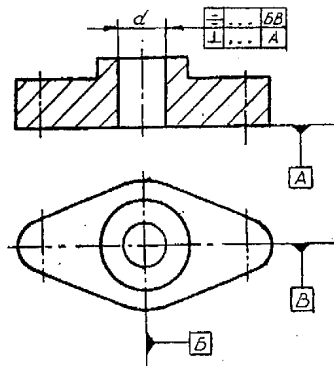


Рис. 1.55

Задача 13. Обеспечить при фрезеровании поверхностей Б требуемые отклонения размера L и допуск расположения (рис. 1.56).

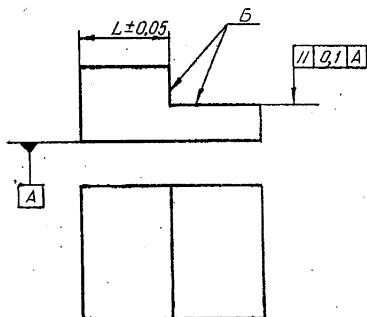


Рис. 1.56

Задача 14. Обеспечить при фрезеровании лыски требуемые отклонения (рис. 1.57).

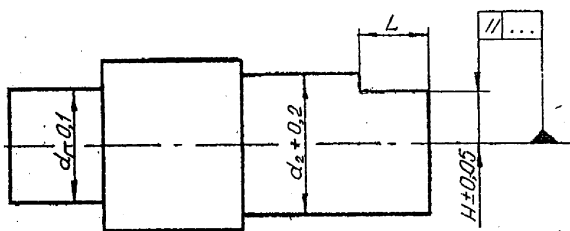


Рис. 1.57

Задача 15. Обеспечить при фрезеровании паза шириной b его симметричность относительно базы и выдержать размер H (рис. 1.58).

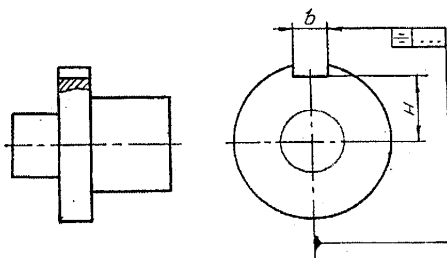


Рис. 1.58

Задача 16. Обеспечить при сверлении отверстия d перпендикулярность к базе и требуемый размер H (рис. 1.59).

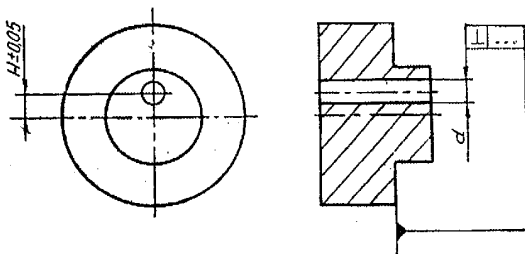


Рис. 1.59

Задача 17. Обеспечить при шлифовании поверхности А требуемое биение (рис. 1.60).

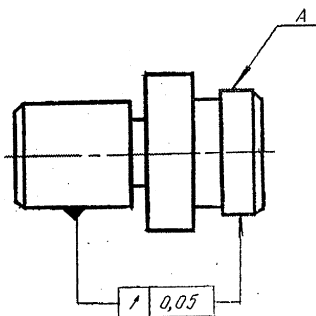


Рис. 1.60

Задача 18. Обеспечить при фрезеровании плоскости Б угол α в требуемом допуске (рис. 1.61).

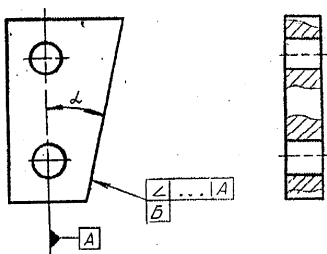
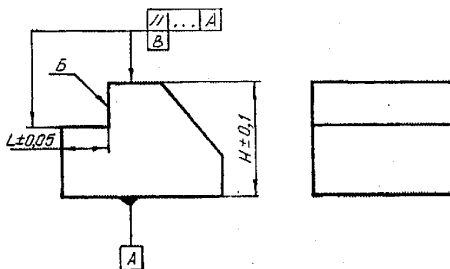


Рис. 1.61

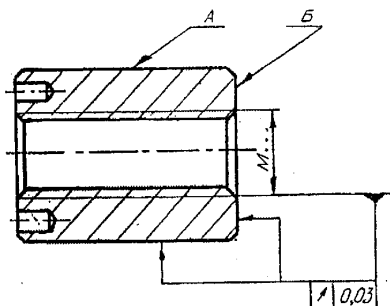
Задача 19. Обеспечить при фрезеровании плоскостей Б и В параллельность основанию и выдержать размеры L и H (рис. 1.62).

Рис. 1.62



Задача 20. Обеспечить шлифованием поверхностей А и Б биения в пределах 0,03 мм относительно нарезанной резьбы (рис. 1.63).

Рис. 1.63



Задача 21. Обеспечить требуемые отклонения боковых поверхностей вилки при обработке их точением (рис. 1.64).

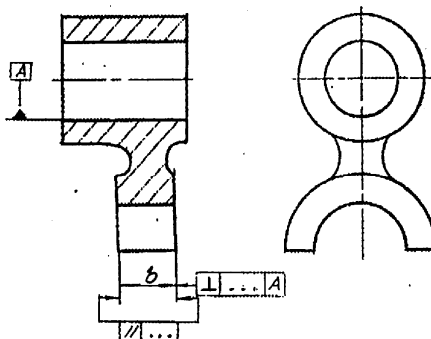


Рис. 1.64

Задача 22. Обеспечить при обработке отверстий d требуемые позиционный допуск и перпендикулярность к поверхности A (рис. 1.65).

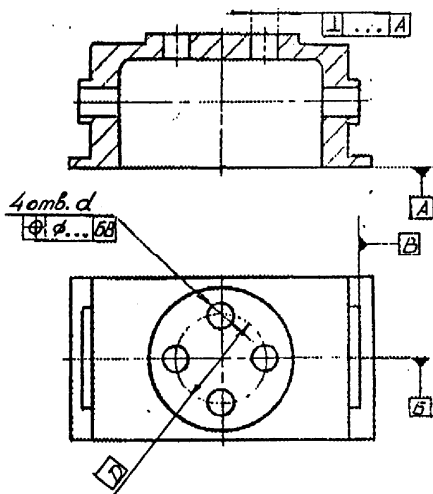


Рис. 1.65

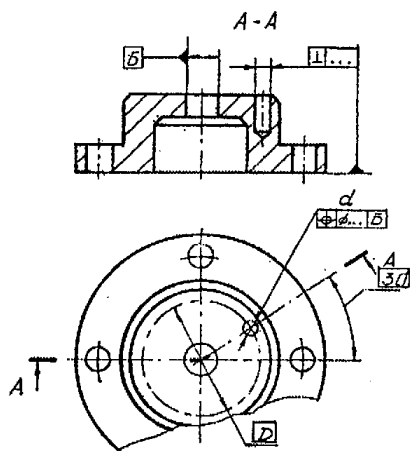


Рис. 1.66

Задача 23. Обеспечить при обработке отверстия d требуемый угол 30° и перпендикулярность оси отверстия к основанию (рис. 1.66).

Задача 24. Обеспечить при обработке трех отверстий d позиционный допуск относительно баз A , B и перпендикулярность осей отверстий относительно базы B (рис. 1.67).

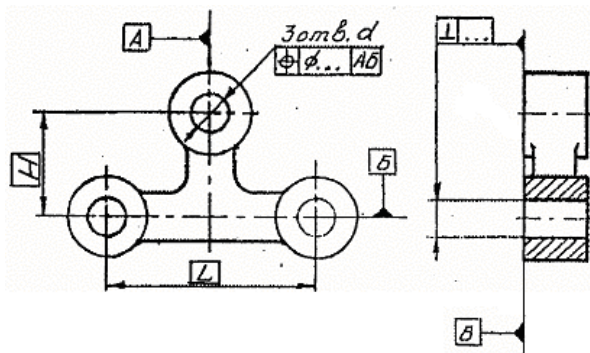


Рис. 1.67

Глава 2

ЗАКРЕПЛЕНИЕ ЗАГОТОВОК

2.1. Основные определения и назначение зажимных устройств

Закрепление заготовок в приспособлениях является одним из наиболее важных моментов эксплуатации приспособлений. Так, если допущена ошибка в схеме базирования, то она приведет к появлению брака. Если же допущена ошибка при расчете требуемых сил закрепления, то при эксплуатации возможны случаи травматизма, что недопустимо. И виноват будет конструктор, разработавший конструкцию приспособления. Поэтому данному разделу в методике проектирования необходимо уделить значительно большее внимание. Наиболее полно теоретический материал по расчету сил закрепления на настоящее время представлен в источнике [11]. В данном пособии работа профессора В.С. Корсакова является основой, которую авторы попытались расширить применительно к одному конкретному вопросу, а именно расчету сил закрепления.

Основные определения по базированию и закреплению, как отмечалось выше, изложены в ГОСТ 21495–76. Согласно данному стандарту:

установка – процесс базирования и закрепления заготовки или изделия;

закрепление – приложение сил и пар сил к заготовке или изделию для обеспечения постоянства их положения, достигнутого при базировании.

Вопросы базирования рассмотрены в данном пособии выше. В свою очередь закрепление заготовки предопределяет ряд нескольких последовательных задач. Первоочередной задачей при проектировании зажимного устройства, как этапа конструкторской проработки приспособления, является расчет требуемой силы закрепления.

Основное назначение зажимных устройств – обеспечение надежного контакта заготовки с установочными элементами, предупреждающими ее смещения и вибрации в процессе обработки [11].

На рис. 2.1 представлены варианты поведения заготовки при ее смещении и нарушении контакта с установочными элементами приспособления и комплексное поведение заготовки при неправильно рассчитанных силах закрепления.

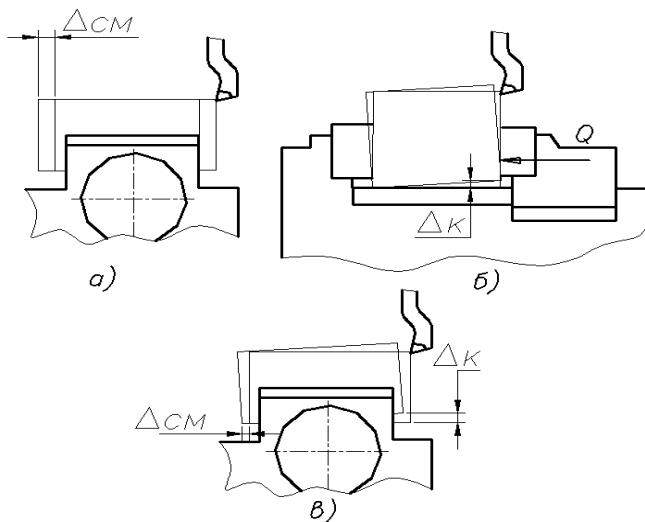


Рис. 2.1. Схемы поведения заготовки при неправильном закреплении

Рассматриваемый пример характерен для операции строгания с закреплением заготовки в машинных тисках. На рис. 2.1, а представлен вариант поведения заготовки при недостаточной силе закрепления, в результате чего заготовка смещается относительно губок без нарушения ее контакта с рабочей поверхностью приспособления по основанию заготовки, которая может быть установочной базой или направляющей, что определяется комплектом баз. В результате возникает смещение заготовки на величину Δ см.

На рис. 2.1, б представлено нарушение контакта заготовки (Δk) с установочной поверхностью приспособления. Причиной такого поведения заготовки без нарушения схемы базирования является

наличие зазоров в направляющих элементах подвижной губки, низкая жесткость крепления губок к корпусу и подвижному элементу тисов.

На практике в большей степени встречаются случаи, когда проявляется комплексное смещение и нарушение контакта заготовки с установочными элементами приспособления, естественно, при недостаточных силах закрепления заготовки. На рис. 2.1, в показано смещение заготовки при нарушении контакта на величину Δk по одной базе и ее смещение по другой на величину Δ см.

В качестве дополнительных назначений зажимных устройств следует выделить устройства для повышения жесткости технологической системы (для исключения вибрации заготовки). Наиболее простыми примерами проявления вибрации при механической обработке заготовок является обтачивание или шлифование заготовок малого диаметра при достаточно большой ее длине. В результате чего возникает автоколебательные процессы, приводящие к «дроблению» при обработке. При такой обработке появляется огранка на поверхности обрабатываемой заготовки или увеличение шероховатости поверхности, что в том и другом случаях является недопустимым.

В качестве приспособлений для повышения жесткости технологической системы возникает необходимость применения люнетов (подвижных и неподвижных) или применение дополнительных регулируемых опор. Применение люнетов на операции точения и дополнительной опоры при фрезеровании показано на рис. 2.2.

Кроме этого, само приспособление может являться источником автоколебательных процессов в технологической системе (так же, как и инструмент, заготовка и станок). Поэтому при проектировании приспособления необходимо стремиться к повышению его жесткости [11].

Следующим дополнительным назначением зажимных устройств в отдельных случаях является синтез их функциональных назначений с установочными элементами приспособлений. На рис. 2.3 показан пример применения призмы (установочный элемент приспособления по опорной базе для короткого корпуса подшипника) в качестве зажимного устройства.

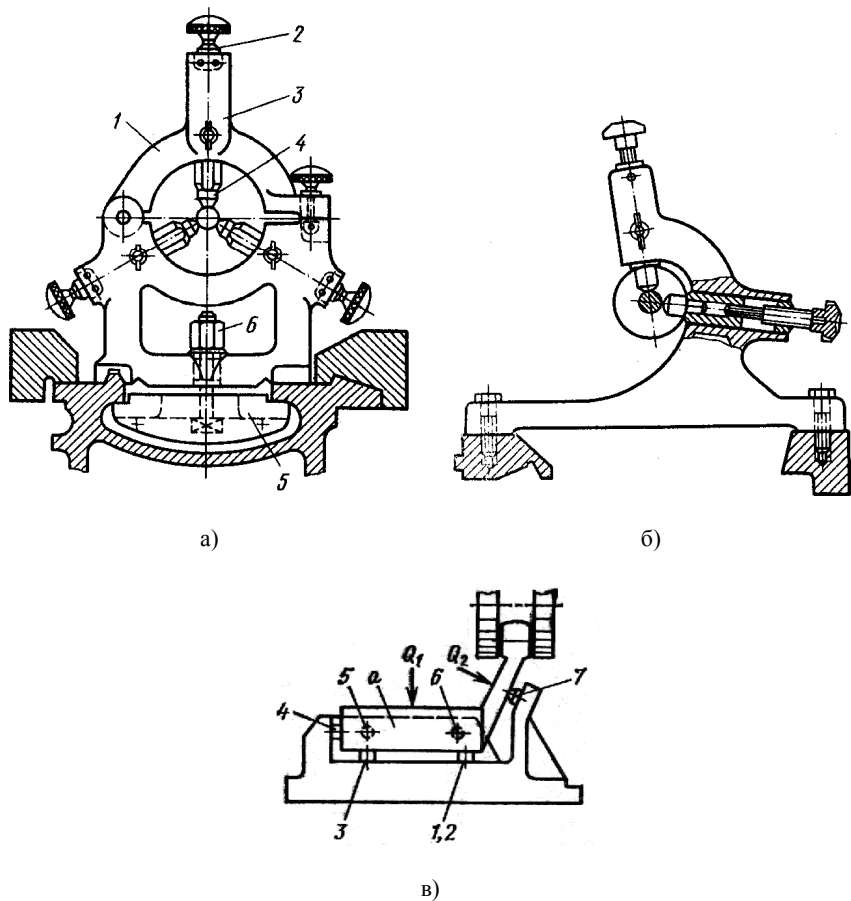


Рис. 2.2. Повышение жесткости технологической системы за счет приспособлений: *a* – применение неподвижного люнета; *б* – применение подвижного люнета; *в* – применение дополнительной регулируемой опоры

Таким образом, назначение зажимных устройств в приспособлениях является достаточно ответственным как по закреплению заготовок, так и по определению в отдельных случаях их положения в пространстве, т.е. базированию, а в целом – установке заготовки.

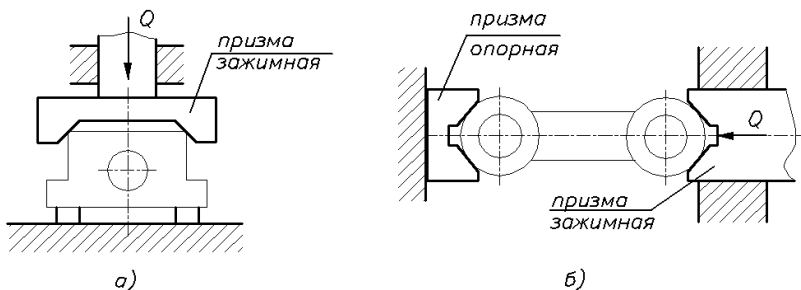


Рис. 2.3. Установочный элемент (призма), выполняющая функцию зажимного устройства

2.2. Силы, действующие на заготовку при обработке

При расчете требуемой силы закрепления первоочередной задачей является выявление всех действующих на заготовку сил, их изменение как по величине, так и по направлению и месту приложения в каждый момент времени. Только в таком случае появляется возможность определить максимальную силу закрепления заготовки и избежать нарушения контакта ее с установочными элементами или смещения.

По своей природе силы, действующие на заготовку, различны, поэтому выделяют несколько групп сил, которые необходимо учитывать при расчете требуемой силы закрепления заготовки.

2.2.1. Силы резания

Для большинства случаев основной силой, по которой рассчитывают силу закрепления, является сила резания. Но данное условие не всегда является обязательным. Сила резания как вектор может менять как величину, так и направление. Для отдельных методов обработки необходимо рассматривать только изменение величины силы (работа осевого инструмента), для других – изменение только направления, например, растачивание отверстия резцом, но достаточно часто возникает необходимость учитывать изменение силы и по величине и по направлению.

На рис. 2.4 показаны эпюры осевой силы P_0 и момента от сил сопротивления резанию M_p при сверлении сквозного отверстия.

Величина осевой силы увеличивается при врезании, причем, не линейно, так как сила сопротивления, возникающая на поперечной кромке, составляет до 57 % общей осевой силы, а длина кромки по сравнению с главными режущими кромками достаточно мала [18]. При выходе инструмента на полную глубину резания (т.е. на диаметр обрабатываемого отверстия) осевая сила достигает максимума и при увеличении глубины сверления практически не меняет своего значения. На выходе сверла из отверстия происходит изменение осевой силы по величине, так как уменьшается глубина резания. Но при работе сверла на самом последнем участке обрабатываемого отверстия резание производится переходом главных режущих кромок во вспомогательные. При правильной заточке сверла на второй половине оборота резание производится вспомогательными режущими кромками. В результате происходит кратковременное изменение осевой силы на противоположное, что объясняется наличием угла наклона канавок сверла (на практике говорят, что заготовку «подхватывает»).

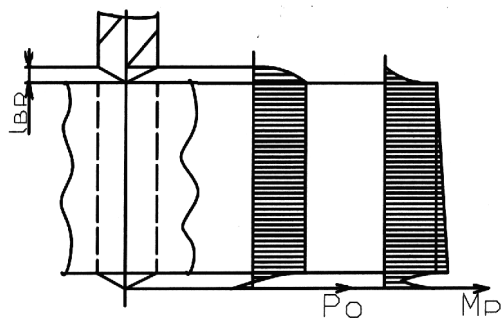


Рис. 2.4. Эпюры осевой силы и момента от сил сопротивления резанию при сверлении

Момент от сил сопротивления резанию изменяется практически в течение всей продолжительности сверления отверстия. При врезании увеличение момента резания происходит из-за увеличения глубины резания. При увеличении глубины отверстия некоторое повышение момента от сил сопротивления резанию (до 12 %) наблюдается за счет увеличения сил трения по вспомогательным режущим кромкам сверла и, в отдельных случаях, трения стружки о

стенку обрабатываемого отверстия. На выходе сверла первоначально происходит снижение момента за счет уменьшения глубины резания, а затем момент вновь возрастает, особенно при обработке вязких материалов. Увеличение момента происходит из-за среза металла вспомогательными режущими кромками (именно в этот момент времени осевая сила P_o меняет свое направление). По длительности увеличение момента соответствует времени поворота сверла на последнюю половину оборота.

При точении или растачивании на токарных операциях наблюдается изменение величины сил резания (рис. 2.5) за счет неравномерного распределения припуска как по длине, так и по сечению. Причем неравномерный припуск по сечению образуется или за счет погрешности формы (овальность), или при отсутствии соосности заготовки и обрабатываемой поверхности. Колебания сил резания при неравномерном припуске по сечению приводит к изменению величины силы резания дважды за один оборот овальной заготовки или один раз за оборот при отсутствии её соосности с обрабатываемой поверхностью.

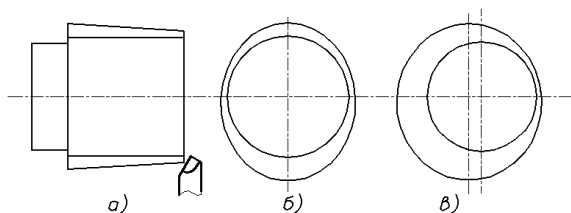


Рис. 2.5. Источники изменения величины силы резания при точении

К изменению величины силы резания при механической обработке может привести различная по поверхности твердость обрабатываемого материала.

Изменение направления действия сил резания характерно для многих операций механической обработки. На рис. 2.6 показаны примеры изменения направления силы резания при растачивании отверстия в корпусе подшипника и при обработке контура плиты концевой фрезой с прямым зубом.

При растачивании отверстия (рис. 2.6, а) в каждый момент времени за один оборот расточной оправки происходит изменение на-

правления силы резания. Для положения резца в точке 1 характерно смещение заготовки под действием составляющих силы резания P'_y и P'_x , действующих на заготовку. Под действием составляющей P'_z возможно нарушение контакта заготовки с установочными элементами. В точках $2, 3$ и 4 меняют направление составляющие P'_y и P'_z при неизменном направлении составляющей силы резания P'_x , которая в сумме с другими (P'_y или P'_z), действует на смещение заготовки. Величина силы резания при равномерном припуске остается постоянной.

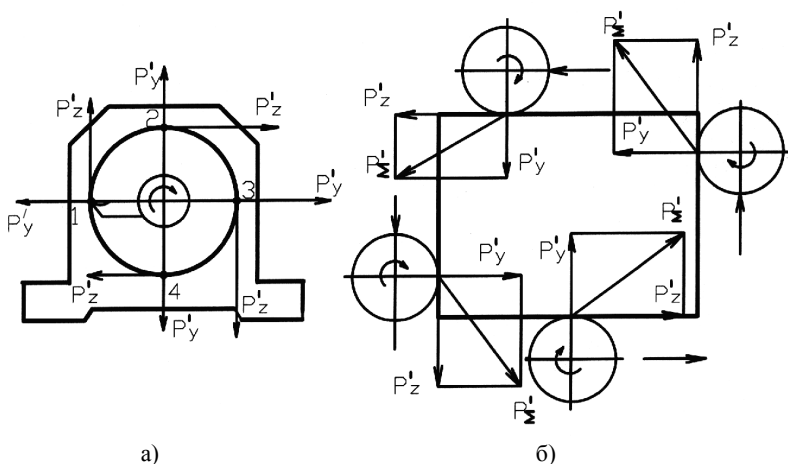


Рис. 2.6. Изменение направления сил резания при растачивании отверстия (а) и при обработке контура заготовки фрезерованием (б)

При фрезеровании контура результат воздействия инструмента на заготовку 1 – возможно её смещение относительно плоскости основания. Для расчета сил закрепления определяющим является именно смещение заготовки, а не направление смещения.

Значительно более сложные явления происходят, если силы резания меняют как свою величину, так и направление при врезании инструмента и на его выходе. Существенное влияние при этом оказывает глубина резания. Наиболее характерными примерами явля-

ются операции фрезерования дисковой фрезой паза или цилиндрической плоскости.

На рис. 2.7 представлено изменение величины и направления силы резания при глубине резания $t < 2,5$ мм. Как следует из схем, составляющие силы резания, действующие на заготовку при врезании инструмента, стремятся ее сместить и нарушить контакт. Тогда как после врезания преобладает действие сил резания на смещение и прижим заготовки. Необходимо отметить, что и при работе каждого зуба фрезы наблюдается изменение величины и направления действующих сил (положения 1, 2).

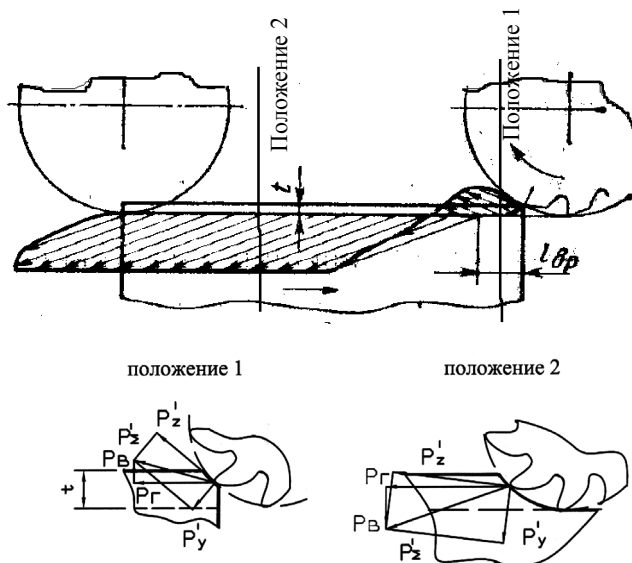


Рис. 2.7. Изменение величины и направления силы резания при фрезеровании с малой глубиной резания

Фрезерование плоскости цилиндрической фрезой с большой глубиной резания принципиально отличается от предыдущей схемы действия силы тем, что одновременно в резании участвуют несколько режущих кромок. На рис. 2.8 показаны схемы действия сил и их эпюра.

Следует иметь в виду, что силы резания на каждом зубе по величине неодинаковы, так как сечение срезаемой стружки изменяется. Так, сила резания на зубе 1 несколько большая по сравнению с силой резания на зубе 2, так как сечение стружки зуба 1 большее.

Аналогично предыдущей схеме фрезерования в зависимости от положения зубьев, участвующих в резании, по углу поворота фрезы вектор суммарной силы $P\Sigma'$ совершает колебания в пределах некоторого угла. То есть процесс резания носит динамический характер, и так же работает приспособление.

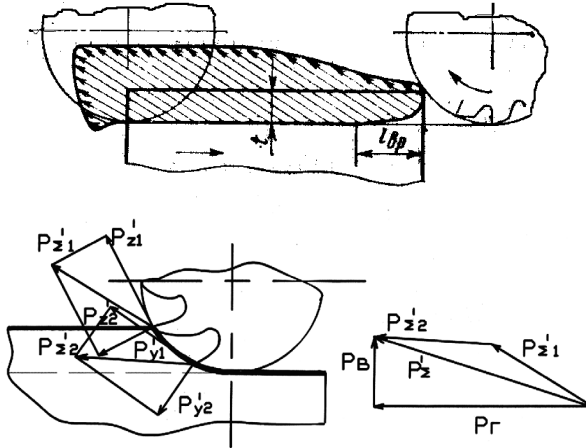


Рис. 2.8. Фрезерование плоскости цилиндрической фрезой с большой глубиной резания

Динамику процесса резания возможно уменьшить увеличением количества зубьев фрезы, одновременно участвующих в резании. Причем увеличение количества зубьев приводит и к изменению направления действующих сил, а именно, уменьшается вертикальная составляющая суммарной силы резания. Сказанное выше полностью относится к дисковым или цилиндрическим фрезам с прямыми зубьями. На рис. 2.9 представлены графики изменения составляющих $P_{\text{в}}$ и P_{Γ} суммарной силы резания в зависимости от количества зубьев на фрезе.

Несколько иной характер изменения силы резания проявляется при работе цилиндрических фрез с косыми или винтовыми зубьями. Увеличение угла наклона зубьев фрезы приводит к некоторому снижению касательной составляющей силы P_{z_2} , с одной стороны, а с другой стороны, появляется возможность обеспечить более равномерное фрезерование по колебанию сил резания. Условие

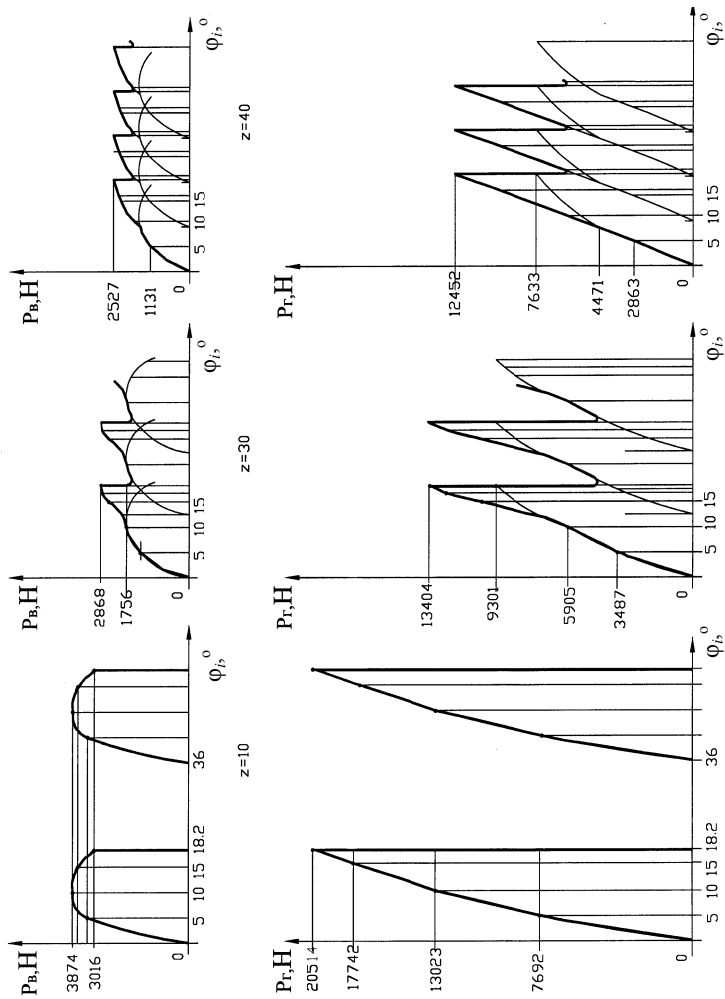


Рис. 2.9. Графики изменения сил резания при фрезеровании цилиндрической фрезой с прямыми зубьями для разного их количества: P_b , P_r – соответственно, вертикальная и горизонтальная составляющие суммарной силы резания; φ^0 – угол поворота фрезы; z – количество зубьев фрезы при одинаковых диаметрах

равномерности (постоянства суммарной ширины и площади сечения слоя, срезаемого одним или несколькими зубьями фрезы) определяется коэффициентом кратности [19], и при увеличении этого коэффициента неравномерность фрезерования снижается. Таким образом, применение цилиндрических фрез с косыми или винтовыми зубьями приведет к меньшим требуемым силам закрепления заготовки в приспособлении.

Изменение направления силы резания в некоторых случаях приводит к тому, что возникает необходимость составлять разные схемы расчета требуемой силы закрепления и выбирать большую из рассчитанных. Например, при фрезеровании шпоночной фрезой заготовки, закрепленной в призме (рис. 2.10), режущие кромки фрезы дважды за один оборот стремятся сдвинуть заготовку вдоль оси и повернуть её относительно той же оси. То есть, в первом случае проверяется условие равновесия всех действующих сил, а во втором случае условие равновесия определяется моментами сил. Причем сила резания при работе таким инструментом меняет и свою величину.

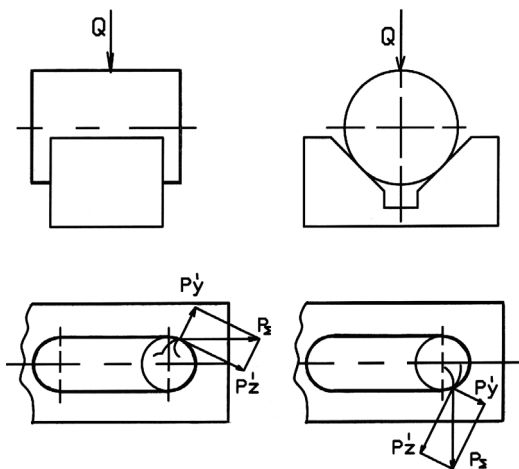


Рис. 2.10. Действие сил резания на заготовку при фрезеровании шпоночной фрезой

Рассмотренные схемы обработки и изменения сил резания как по величине, так и по направлению, показывают насколько важно

выявить под действием каких именно составляющих силы резания находится заготовка в приспособлении, и в каких направлениях они действуют на заготовку.

2.2.2. Объемные силы

Если при проектировании станочных приспособлений в большинстве случаев для расчета силы закрепления определяющими являются силы резания, то для некоторых технологических операций этого недостаточно. Объясняется тем, что проявляются силы, оказывающие на заготовку большее воздействие, чем силы резания. Таковыми силами являются: центробежная, инерции и тяжести, которые объединены в группу объемных сил. Название объемных сил возникло из-за того, что все перечисленные силы по величине зависят от массы заготовки или элементов приспособления и ускорения.

Действие центробежных сил проявляется в приспособлениях, которые находятся во вращательном движении. Причем элементы технологической системы заготовка – приспособление могут быть как не уравновешены, так и сбалансированы.

На рис. 2.11 представлен пример растачивания отверстия под червячный вал в корпусе редуктора в условиях единичного и мелкосерийного производства. Обработка производится на токарном станке с применением универсального четырехкулачкового патрона. Комплекс заготовка – приспособление в этом случае неуравновешен, так как центр тяжести корпуса и двух взаимно противоположных кулачков смещены по радиусу от оси вращения патрона.

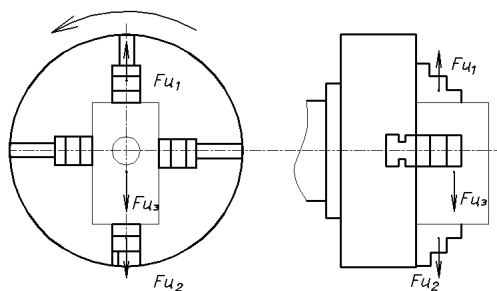


Рис. 2.11. Действие центробежной силы при растачивании корпуса редуктора

В результате действия центробежной силы возникает вибрация всей технологической системы, вследствие чего необходимо уменьшить скорость резания (частоты вращения шпинделя). Инструмент позволяет работать с нормальной для данных материалов обрабатываемой заготовки и режущей части инструмента с большими скоростями резания, но при наличии вибрации, т.е. действия центробежных сил, не позволяют такой процесс реализовать.

Для специальных приспособлений, работающих по аналогичной схеме базирования, необходимо в его конструкцию вводить дополнительные балансирующие массы, которые уравнивают систему заготовка – приспособление в целом.

Проявляется действие центробежных сил, которое необходимо учитывать при расчете требуемых сил закрепления заготовки, и при наличии уравновешенной системы расположения заготовки по отношению к оси её вращения. На рис. 2.12 дана схема действия центробежных сил для уравновешенной системы заготовка–приспособление на примере закрепления в трехкулачковом самоцентрирующем патроне на операции высокоскоростного точения.

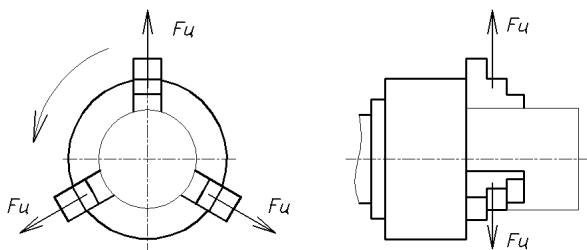


Рис. 2.12. Действие центробежных сил на кулачки патрона при точении

Данные литературы свидетельствуют, что при определенных частотах вращения шпинделя центробежные силы достигают такого значения, при которых заготовка становится незакрепленной [20]. Конкретные значения частот вращения шпинделя, при которых наблюдается данное действие центробежных сил, составляет $3500 \dots 4000 \text{ мин}^{-1}$.

Таким образом, действие центробежных сил необходимо учитывать при расчете сил закрепления как при неуравновешенности масс, так и при высоких частотах вращения заготовки и приспособления.

Инерционные силы проявляются при обработке крупногабаритных заготовок, что характерно для станкостроения и тяжелого машиностроения. В первую очередь, действие сил инерции проявляется для технологических операций, у которых заготовка совершает возвратно-поступательное движение, причем со значительным ускорением. Такими операциями могут быть продольное строгание, шлифование и т.п. При реверсировании движения стола с заготовкой с её значительной массой и при высоких ускорениях при реверсировании сила инерции может составить величину большую, чем сила резания. Например, при шлифовании плоских поверхностей. Следовательно, в данном случае определяющей становится не сила резания, а сила инерции для расчета требуемой силы закрепления.

Проявление силы тяжести характерно для крупногабаритных заготовок. Так, например, при сверлении отверстия диаметром 5 мм в заготовке, масса которой составляет несколько сот килограммов, сила закрепления, прикладываемая к заготовке, вообще не требуется. Но определение граничного условия, соотношения действия силы тяжести и сил резания, требует расчета.

Таким образом, не во всех случаях расчета требуемых сил закрепления определяющими являются силы резания; в отдельных случаях необходимо учитывать объемные силы. В меньшей степени проявляются силы, которые выделены в группу второстепенных и случайных.

2.2.3. Второстепенные и случайные силы

К второстепенным силам относят силы, возникающие при выводе инструмента от или из обработанной поверхности. Примером, который подчеркивает наличие таких сил, является нарезание резьбы в несквозном отверстии ручным метчиком. При выводе метчика из нарезанной резьбы возникает увеличение момента сил сопротивления выводу метчика. Источниками увеличения момента сил сопротивления резанию при выводе метчика из резьбового отверстия являются: необходимость дорезать материал, оставленный предыдущими режущими кромками метчика, и преодолеть силы трения стружки в отверстии с затылованными поверхностями метчика. В результате возникают условия, при которых могут возник-

нуть силы, приводящие к поломке инструмента не при нарезание резьбы, а при его выводе из резьбового отверстия.

Следовательно, при расчете требуемой силы закрепления необходимо учитывать не только принципиальную схему технологической операции, но и её содержание с физической точки зрения. Абсолютное большинство других методов к таким последствиям привести не могут.

Случайные силы, которые воздействуют на заготовку, возникают, как следствие, в результате «случайного» изменения сил резания. Источниками изменения сил резания, в том числе случайного, может служить изменение твердости поверхностного слоя заготовки, которая образовалась в результате предшествующих методов обработки (литейная «корка», разность твердости поверхности послековки или штамповки).

Следовательно, при проектировании приспособления необходимо учитывать и наличие сил как второстепенных, так и случайных, которые учитываются коэффициентом запаса.

В целом можно сделать вывод, что на заготовку воздействует комплекс сил, который необходимо выявить, найти наихудшие условия, и по правильной расчетной схеме рассчитать требуемую силу закрепления.

2.3. Методика расчета сил закрепления

2.3.1. Варианты методики расчета сил закрепления

Расчет сил закрепления производят при конструировании новых приспособлений и при использовании имеющихся универсальных и переналаживаемых приспособлений. Для расчета сил закрепления в первом (наиболее общем) случае необходимо знать условия проектируемой обработки – величину, направление и место приложения сил, сдвигающих заготовку, а также схему её установки и закрепления. Расчет сил закрепления в первом приближении может быть сведен к задаче статики на равновесие заготовки под действием приложенных к ней внешних сил.

К обрабатываемой заготовке приложены силы, возникающие в процессе обработки, искомые силы закрепления и реакции опор. Под действием этих сил заготовка находится в равновесии. Сила

закрепления Q должна быть достаточной для предупреждения смещения установленной в приспособлении заготовки. Если величина Q оказывается больше Q' , найденной из условий точности выполнения операции, то необходимо внести коррективы в её построение (изменение схемы установки и закрепления заготовки, режима резания, условий выполнения операции), вследствие чего возможно уменьшение первоначальных погрешностей закрепления ε_3 и формы Δ_{ϕ} . При повторной проверке должно соблюдаться условие $Q \leq Q'$.

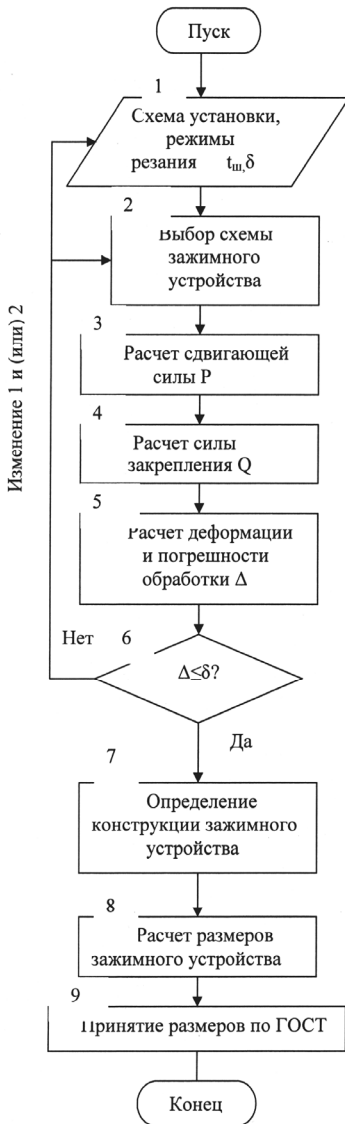
Во втором (более частом) случае расчет сил закрепления носит поверочный характер. Найденная из условий обработки необходимая сила закрепления должна быть меньше силы, которую развивает зажимное устройство используемого приспособления, или равна ей. Если этого нет, то изменяют условия обработки в целях уменьшения необходимой силы закрепления с последующим поверочным расчетом. Может решаться и обратная задача – по силе закрепления находят режимы резания, число рабочих ходов (проходов) и другие условия обработки.

Укрупненные алгоритмы расчета силы закрепления и зажимного устройства показаны на рис. 2.13 (алгоритм для первого случая расчета дан на рис. 2.13, а, для второго случая на рис. 2.13, б).

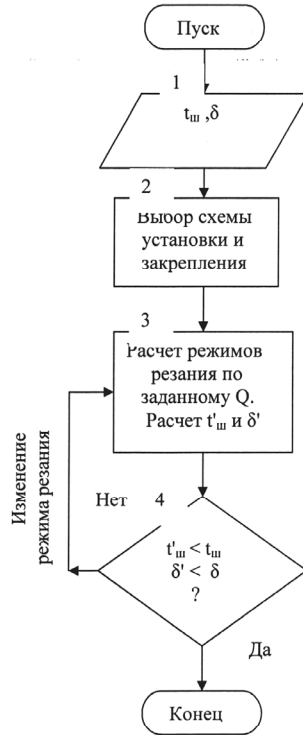
2.3.2. Упругие характеристики зажимных устройств

Рассчитывая силы закрепления, необходимо учитывать характеристику зажимного устройства. В приспособлениях применяют зажимные устройства двух типов. У устройств первого типа величины упругого отжима прямо пропорциональны приложенным силам. К этим устройствам относятся самотормозящие зажимные механизмы (винтовые, клиновые, эксцентриковые и др.) независимо от вида привода (ручной, пневматический, гидравлический). Если к зажимному элементу этих механизмов приложить дополнительную силу, то величина упругого отжима элемента в направлении приложенной силы будет изменяться по линейному (или близкому к нему) закону в зависимости от величины этой силы.

На рис. 2.14 представлены упругие характеристики зажимных устройств первого типа.



а)



б)

Рис. 2.13. Укрупненные алгоритмы расчета зажимных устройств

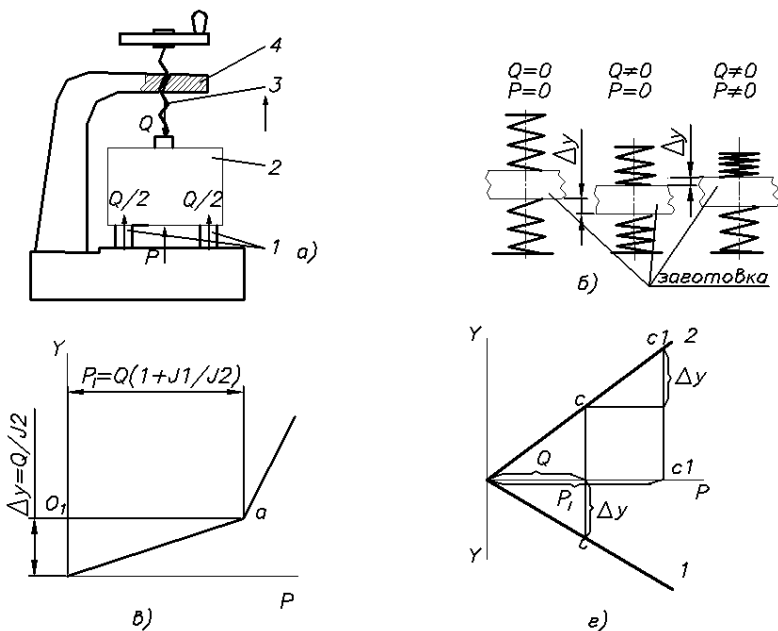


Рис. 2.14. Упругие характеристики зажимного устройства первого типа

Рассматривая закрепленную в приспособлении заготовку (рис. 2.14, а), можно установить, что сила закрепления Q воспринимается всеми звеньями системы, состоящей из установочных элементов 1, заготовки 2, зажимного устройства 3 и корпуса 4 приспособления. Корпус является звеном, через которое происходит силовое замыкание системы. Сила закрепления и реакции установочных элементов показаны стрелками. Если сила P , возникающая при обработке, направлена против силы закрепления, то зависимость смещения заготовки y от силы P будет определяться упругой характеристикой этого устройства.

Если звенья имеют характеристику первого типа, то под влиянием силы P их упругие деформации перераспределяются. Соответствующее перемещение заготовки, которая располагается между своеобразными «пружинами» с жесткостью J_1 и J_2 , характеризующие жесткость зажимного устройства и установочных элементов показано на рис. 2.14, б, в. Отрезок Δy соответствует полному упругому восстановлению предварительно деформированных звеньев

системы, связанных с установочными элементами. Дальнейшее увеличение силы приводит к отрыву заготовки от установочных элементов.

Силу P_1 , соответствующую моменту отрыва заготовки от опор приспособления с зажимным устройством первого типа, можно найти из схем, показанных на рис. 2.14, *з*, где по оси абсцисс отложены силы, а по оси ординат перемещения. Линия *1* выражает зависимость между этими величинами для системы установочных элементов, а линия *2* – для зажимного устройства. Тангенс угла наклона этих прямых к оси абсцисс равен соответственно $1/J_2$ и $1/J_1$, где J_2, J_1 – жесткости установочных и зажимных элементов.

Состояние системы при наличии силы закрепления Q характеризуется вертикальной линией *c-c*, а состояние в момент отрыва заготовки от опор – линией c_1-c_1 . Смещение заготовки, соответствующее полному упругому восстановлению системы установочных элементов,

$$\Delta y = Q \frac{1}{J_2}. \quad (2.1)$$

На эту же величину возрастает упругая деформация зажимного устройства. Из рисунка следует, что $P_1 = Q + \Delta y J_1$, а из условия (2.1)

$$P_1 = Q(1 + J_1/J_2). \quad (2.2)$$

Значение силы P_1 характеризуется отрезком O_1a (рис. 2.14, *в*).

К устройствам второго типа относятся пневматические, гидравлические и пневмогидравлические механизмы прямого воздействия, т.е. непосредственно воздействующие на заготовку (рис. 2.15, *а*).

Если к зажимному элементу этих устройств (например, штоку пневмоцилиндра) приложить возрастающую по величине силу, то перемещения элемента штока не произойдет до тех пор, пока приложенная сила P не превысит противодействующую силу (от давления сжатого воздуха на поршень). У устройств этого типа с промежуточными звеньями без самоторможения величина отжима зажимного элемента сначала изменяется по линейному закону из-за упругих деформаций звеньев, а затем, при определенном значении прилагаемой силы, элемент перемещается на большую величину. Уменьшение объема бесштоковой полости цилиндра при минимальных перемещениях поршня не повышает давления сжатого

воздуха всей пневматической системы, что и приводит к меньшему значению сила P_{II} , при которой происходит отрыв заготовки от опор. При зажимном устройстве второго типа сила P_{II} , при которой заготовка отрывается от опор приспособления, равна силе закрепления Q . На рис. 2.15, в сила P_{II} характеризуется отрезком O_1b . Из выражения (2.2) следует, что

$$P_I/P_{II} = 1 + J_1/J_2. \quad (2.3)$$

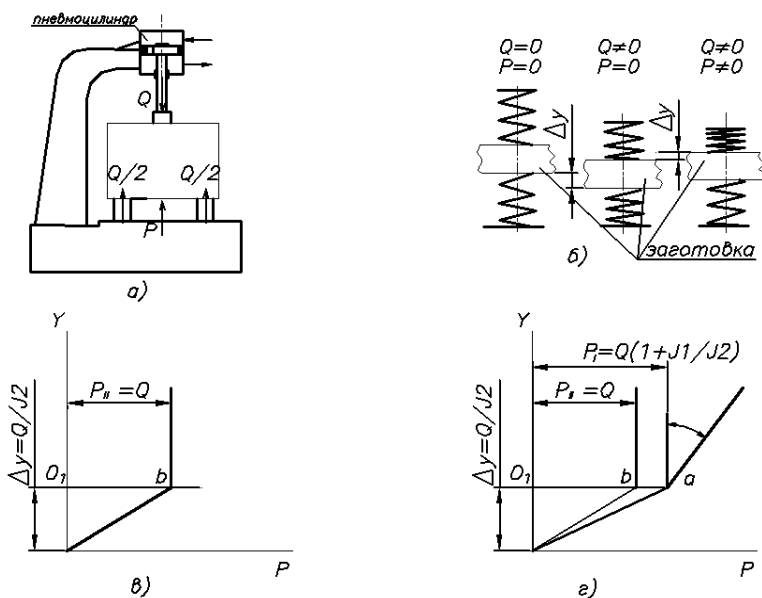


Рис. 2.15. Упругие характеристики зажимного устройства второго типа и их сопоставление для обоих типов

На рис. 2.15, *г* приведено соотношение сил закрепления заготовки Q и сил, действующих на заготовку при обработке для зажимных устройств обоих типов. Отношение J_1/J_2 составляет $0,4 \dots 0,6$, о чем более подробно изложено ниже при рассмотрении расчетных факторов для определения сил закрепления. Данное соотношение жесткостей зажимного устройства и установочных элементов позволяет сделать следующие выводы:

- для зажимного устройства первого типа при одинаковой силе закрепления Q для нарушения контакта заготовки с установочными элементами приспособления потребуется большая на 40...60 % сила P , возникающая при обработке;
- при определении требуемой силы закрепления по известной действующей силе P зажимное устройство первого типа потребует на 40...60 % меньшее значение силы закрепления Q , что уменьшает металлоемкость приспособления.

2.3.3. Общие типовые схемы расчета сил закрепления

Расчеты требуемых сил закрепления выполнены с учетом исключения как нарушения контакта заготовки с установочными элементами приспособления, так и смещения её вдоль установочных элементов.

1. Сила P , возникающая при обработке заготовки, и сила закрепления Q действуют однонаправлено и прижимают заготовки к опорам приспособления (рис. 2.16, а).

Такое действие сил характерно для протягивания отверстий (гладких и зубчатых). При постоянстве значения силы P требуемая сила закрепления Q может быть принята равной нулю. При нестабильной силе P должно быть $Q > 0$ для предупреждения вибраций, зазоров в системе и для повышения её жесткости.

2. Сила P направлена против зажимного устройства (рис. 2.16, б). Силу Q при наличии зажимного устройства первого типа найдем по формуле (2.2), но с учетом коэффициента запаса k :

$$Q = kP J_2 / (J_1 + J_2). \quad (2.4)$$

Для зажимного устройства второго типа:

$$Q = kP. \quad (2.5)$$

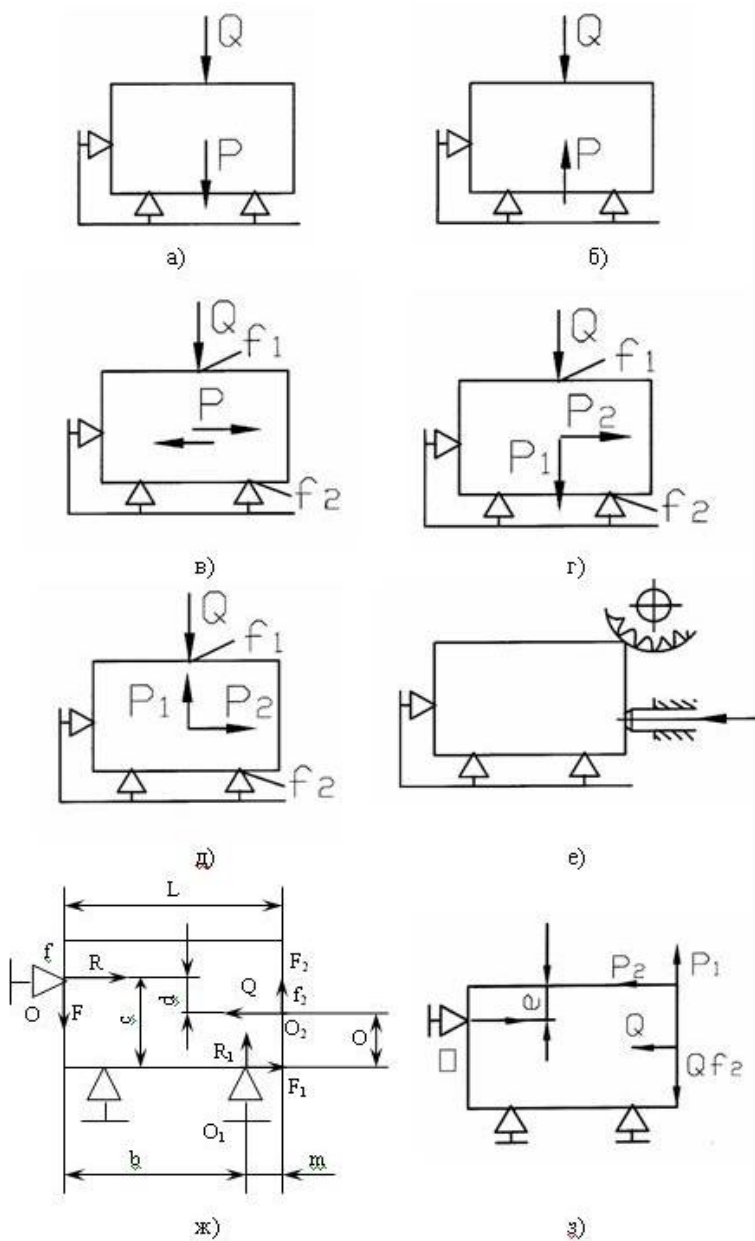


Рис. 2.16. Схемы для расчета сил закрепления заготовки

3. Силы, возникающие при обработке, стремятся сместить заготовку по опорам (рис. 2.16, в). Эта схема характерна для случаев, когда направление подачи инструмента меняется (фрезерование замкнутого контура плиты концевой фрезой с прямыми зубьями). Смещение заготовки предупреждается силами трения, возникающими в местах контакта заготовки с опорами и зажимными элементами. Условием равновесия системы является:

$$\Sigma F_{\text{тр}} = P, \quad (2.6)$$

где $\Sigma F_{\text{тр}}$ – суммарная сила трения по зажимному устройству и опорам. Согласно этому условию должно соблюдаться неравенство

$$P < Qf_1 + Qf_2, \quad (2.7)$$

где f_1 и f_2 – коэффициенты трения заготовки с установочными и зажимными элементами.

Вводя коэффициент запаса $k > 1$, получим окончательно

$$Q = kP/(f_1 + f_2). \quad (2.8)$$

Эта расчетная схема применима в отдельных случаях для установки на два пальца и перпендикулярную к ним плоскость.

Из условий точности обработки и предохранения базового отверстия от вмятин ромбического пальца сила резания должна восприниматься только силой трения на базовой плоскости заготовки, т.е. пальцы должны быть полностью разгружены.

4. Силы, возникающие при обработке (рис. 2.16, г), направлены против опор (сила P_1) и одновременно стремятся сдвинуть заготовку в боковом направлении (сила P_2). Приведенное на расчетной схеме действие сил наблюдается при плоском шлифовании как периферией, так и торцем круга, при фрезеровании цилиндрическими и дисковыми фрезами при малой глубине резания, при протягивании по незамкнутому контуру и некоторых других (строгание, долбление и т.д.). Как видно из представленного перечня данный типовой случай является одним из часто применяемых при расчете силы закрепления заготовки в приспособлении. Причем наиболее важным моментом при расчете силы Q является обоснование именно такой схемы действующих сил.

В приспособлениях с зажимами первого типа действие силы P_1 может вызвать изменение установившихся реакций опорных и зажимных элементов. По аналогии с п.3

$$R_2 = Q + P_1 \frac{J_2}{J_1 + J_2}, \quad R_1 = Q - P_1 \frac{J_1}{J_1 + J_2}. \quad (2.9)$$

Силы трения, препятствующие сдвигу заготовки,

$$\Sigma F_{\text{тр}} = f_1 R_1 + f_2 R. \quad (2.10)$$

Из условий закрепления $\Sigma F_{\text{тр}} = kP_2$; подставляя вместо $\Sigma F_{\text{тр}}$ его значение из формулы (2.10), а вместо R_1 и R_2 их значения из уравнения (2.9) получим:

$$Q = \frac{kP_2 + f_1 P_1 \frac{J_1}{J_1 + J_2} - f_2 P_1 \frac{J_2}{J_1 + J_2}}{f_1 + f_2}. \quad (2.11)$$

При достаточной жесткости опор и наличии зажимного устройства второго типа силу Q находим по аналогии с предыдущим случаем:

$$P_2 < (Q + P_1)f_2 + Qf_1 \quad (2.12)$$

или

$$Q = \frac{kP_2 - P_1 f_2}{f_1 + f_2}. \quad (2.13)$$

Если $kP_2 < P_1 f_2$ и вибраций при обработке нет, то $Q = 0$.

5. Сила P_1 направлена навстречу силе закрепления (рис. 2.16, д). Сила закрепления Q должна быть достаточной для обеспечения контакта заготовки с опорами приспособления и предупреждения ее сдвига в направлении действия силы P_2 .

Рассматриваемая схема действия сил на заготовку является другой наиболее распространенной схемой, к которой относятся фрезерование цилиндрической фрезой при большой глубине резания, обработка дисковой фрезой при отрезке, концевой фрезой с винтовыми зубьями при обработке контура и т.д. Особенностью применения данной типовой схемы, как и для предыдущей, является её обоснование. Необходимо учитывать, что при одинаковых схемах

могут возникнуть действия сил как при рассматриваемой схеме, так и по предыдущей типовой схеме. В конечном случае рассматриваемая схема действия сил P_1 и P_2 приведет к большему значению требуемой силы закрепления.

При использовании зажимного устройства первого типа первому условию удовлетворяет равенство

$$Q' = k_1 P_1 \frac{J_2}{J_1 + J_2}. \quad (2.14)$$

Второму условию должно отвечать равенство

$$k_2 P_2 = f_1 \left(Q'' + P_1 \frac{J_1}{J_1 + J_2} \right) + f_2 \left(Q'' - P_1 \frac{J_2}{J_1 + J_2} \right), \quad (2.15)$$

откуда

$$Q'' = \frac{k_2 P_2 - f_1 P_1 \frac{J_1}{J_1 + J_2} + f_2 P_1 \frac{J_2}{J_1 + J_2}}{f_1 + f_2}. \quad (2.16)$$

Для зажимного устройства второго типа первому условию отвечает равенство

$$Q' = k_1 P_1. \quad (2.17)$$

А второму – равенство

$$k_2 P_2 = Q'' f_1 + (Q'' - P_1) f_2 \quad (2.18)$$

Из найденных значений Q' и Q'' выбирают большее для обоих типов зажимных устройств.

При выборе схем установки нужно обеспечить три условия: заготовка должна занимать устойчивое положение до приложения сил закрепления; в процессе закрепления заготовки не должно быть нарушено приданное ей при установке положение; силы, возникающие при обработке, не должны смещать заготовку. Первое условие обеспечивают правильной расстановкой элементов относительно центра тяжести заготовки, второе – выбором направления и места приложения силы закрепления, выполнение третьего условия рассмотрено в приведенных выше примерах расчета.

На рис. 2.16, *e* показана схема обработки заготовки, закрепленной горизонтально приложением силы Q . Рассмотрим на примере этой схемы два последних условия расчета сил силы закрепления. Плечо a силы Q (рис. 2.16, *ж*) должно быть выбрано таким, чтобы заготовка была плотно прижата к установочным элементам приспособления. До начала обработки на заготовку кроме силы закрепления Q действуют реакции опор R и R_1 , а также силы трения F , F_1 и F_2 (массу заготовки не учитываем). Последние четыре силы препятствуют повороту заготовки по часовой стрелке от действия силы Q . Приравняв сумму моментов сил относительно точки O нулю, получим

$$Q = \frac{R_1(b + f_1c)}{a - f_2l}. \quad (2.19)$$

Из суммы моментов сил относительно точки O_1 , равной нулю, находим

$$Q(n + f_2m) = R(c - fb), \quad (2.20)$$

где f_1, f_2, f_3 – коэффициенты трения в местах касания заготовки опор приспособления и зажимных элементов.

Подставляя в последнюю формулу значение силы Q из выражения (2.19) получим:

$$\frac{R_1(b + f_1c)(n + f_2m)}{a - f_2l} = R(c - fb), \quad (2.21)$$

$$R_1 = Rf - Qf_2. \quad (2.22)$$

Отсюда

$$R = R_1 \left[1 + \frac{(b + f_1c)f_2}{a + f_2l} \right] \frac{1}{f}. \quad (2.23)$$

Подставляя выражение (2.21) в формулу (2.23), после преобразований получим, что при любом значении силы Q

$$a \leq \frac{(b + f_1c)(n + f_2m)f}{c - fb} - (b + f_1c) + f_2l. \quad (2.24)$$

При установившемся процессе на заготовку действуют силы P_1 и P_2 (рис. 2.16, з). Из условия равновесия

$$Qa + Qf_2l - kP_2e - kPl = 0, \quad (2.25)$$

тогда

$$Q = \frac{k(P_2e + Pl)}{a + f_2l}. \quad (2.26)$$

Рассмотренные типовые схемы расчета силы закрепления заготовки относятся в абсолютном большинстве к их базированию по трём плоским поверхностям или по плоскости и двум внутренним цилиндрическим поверхностям. Но значительное место в металлообработке занимают и другие схемы базирования заготовок и методы обработки, при которых необходимо рассматривать условия равновесия по действующим в системе моментам.

2.3.4. Расчет сил закрепления заготовок при наличии действующих на неё моментов

Источником возникновения моментов сил могут являться не только моменты резания (при точении и сверлении), но и моменты, сдвигающие заготовку относительно установочных элементов под действием, например, осевой силы при сверлении и т.п.

На рис. 2.17 представлены некоторые упрощенные схемы действующих сил и моментов для точения и фрезерования.

Заготовка, установленная в трехкулачковом патроне, находится под действием момента M и осевой силы P (рис. 2.17, а). Силу закрепления можно найти из равенства

$$Q = \frac{kM}{3fR}, \quad (2.27)$$

где R – радиус заготовки; f – коэффициент трения её поверхности в кулачках.

Равенство (2.27) получено из условия

$$M = M_{тр}.$$

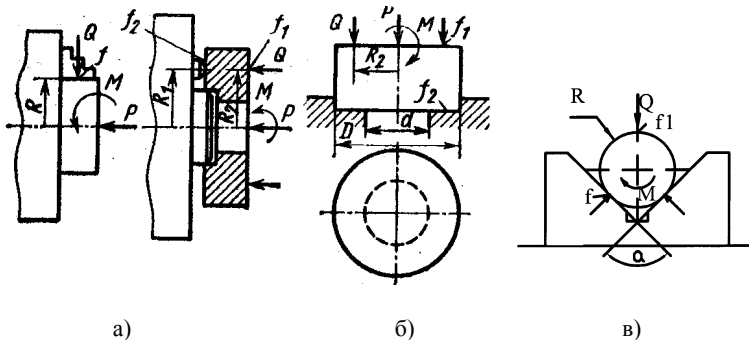


Рис. 2.17. Схемы для расчета сил закрепления заготовки при наличии действующих на неё моментов

Момент резания M определяется касательной составляющей силы резания P_z , действующей на заготовку, и её плечом – радиусом обрабатываемой поверхности (более точно – средним радиусом между обрабатываемой и обработанной поверхностью). Момент трения $M_{тр}$ возникает на поверхности заготовки, по которой производится её закрепление кулачками. Для ступенчатых заготовок радиус обрабатываемой поверхности и радиус поверхности закрепления заготовки кулачками неодинаковы, что необходимо учитывать.

При больших значениях P могут возникнуть дополнительные силы трения между торцом заготовки и уступами кулачков. Если $\frac{P}{3} > f_1 Q$ (где f_1 – коэффициент трения при сдвиге заготовки вдоль кулачков), то расчет Q следует вести из условия

$$kM = 3fRQ + 3f_2R_1\left(\frac{P}{3} - f_1Q\right), \quad (2.28)$$

где f_2 – коэффициент трения заготовки с уступами кулачков; откуда

$$Q = \frac{kM - f_2R_1P}{3fR - 3f_1f_2R_1}, \quad (2.29)$$

где R_1 – средний радиус расположения площадки контакта.

При противоположном направлении силы P или при установке заготовки не в упор следует пользоваться формулой (2.27). Значе-

ние Q проверяют на невозможность осевого сдвига заготовки по формуле

$$kP = 3f_1Q. \quad (2.30)$$

В качестве силы P в расчетной формуле (2.30) фигурирует осевая составляющая силы резания P_x' .

Второй вариант закрепления заготовки, например, при точении предусматривает осевое приложение сил закрепления заготовки в приспособлении. Заготовка, центрируемая по выточке (см. рис. 2.17), прижимается к трем опорам прихватами. В процессе обработки возникают сдвигающий момент M и осевая сила P . При равных реакциях опор возможны следующие схемы расчета. При жесткой установке, зажимном устройстве второго типа и достаточной жесткости закрепления в тангенциальном направлении сила Q находится из равенства

$$kM = f_1QR_2 + f_2QR_1 + f_2PR_1, \quad (2.31)$$

откуда

$$Q = \frac{kM - f_2PR_1}{f_1R_2 + f_2R_1}. \quad (2.32)$$

Величины R_1 и R_2 и места, где учитываются коэффициенты трения f_1 и f_2 показаны на рис. 2.17, б. При тех же условиях, но при малой тангенциальной жесткости зажима, трение между заготовкой и прихватами не учитывают:

$$kM = f_2QR_1 + f_2PR_1 \quad (2.33)$$

или

$$Q = \frac{kM - f_2PR_1}{f_2R_1}. \quad (2.34)$$

При условиях, приведенных в п.1, и зажиме первого типа сила P вызывает изменение реакций опор и зажимного устройства:

$$T_2 = Q + P \frac{J_2}{J_1 + J_2}; \quad T_1 = Q - P \frac{J_1}{J_1 + J_2}, \quad (2.35)$$

отсюда

$$kM = f_1 T_1 R_2 + f_2 T_2 R_1. \quad (2.36)$$

После преобразования получим

$$Q = \frac{kM - f_2 R_1 P \frac{J_2}{J_1 + J_2} + f_1 R_2 P \frac{J_1}{J_1 + J_2}}{f_1 R_2 + f_2 R_1}. \quad (2.37)$$

Если в предыдущем случае тангенциальная жесткость невелика, то формула (2.37) примет вид

$$Q = \frac{kM - f_2 R_1 P \frac{J_2}{J_1 + J_2}}{f_2 R_1}. \quad (2.38)$$

В отличие от схемы, показанной на рис. 2.17, б, заготовка устанавливается на кольцевую поверхность (рис. 2.17, в). Подобная схема действующих сил и моментов возникает при установке втулки на оправку. При равномерном давлении на поверхность имеем аналогичные четыре случая расчета:

$$Q = \frac{kM - \frac{1}{3} f_2 P \frac{D^3 - d^3}{D^2 - d^2}}{\frac{1}{3} f_2 \frac{D^3 - d^3}{D^2 - d^2} + f_1 R_1}; \quad (2.39)$$

$$Q = \frac{kM - \frac{1}{3} f_2 P \frac{D^3 - d^3}{D^2 - d^2}}{\frac{1}{3} f_2 \frac{D^3 - d^3}{D^2 - d^2}}; \quad (2.40)$$

$$Q = \frac{kM - \frac{1}{3} f_2 P \frac{D^3 - d^3}{D^2 - d^2} \frac{J_2}{J_1 + J_2}}{\frac{1}{3} f_2 \frac{D^3 - d^3}{D^2 - d^2}}; \quad (2.41)$$

$$Q = \frac{kM - \frac{1}{3}f_2P \frac{D^3 - d^3}{D^2 - d^2} \frac{J_2}{J_1 + J_2} + f_1R_2P \frac{J_1}{J_1 + J_2}}{\frac{1}{3}f_2 \frac{D^3 - d^3}{D^2 - d^2} + f_1R_2}. \quad (2.42)$$

Фрезерование шпоночных пазов на валах чаще всего производится в призмах при различных их расположениях. В этом случае возникает необходимость расчета силы закрепления Q по условию поворота заготовки относительно её оси и осевого смещения вдоль оси (рис. 2.17, з).

Без учета трения на торце имеем

$$kM = f_1RQ + f_2RQ \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}}, \quad (2.43)$$

тогда

$$Q = \frac{kM}{f_1R + \frac{f_2R}{\sin \frac{\alpha}{2}}}. \quad (2.44)$$

Если заготовка сдвигается под действием осевой силы P вдоль призмы, то

$$Q = \frac{kP}{f'_1 + f'_2 \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}}}. \quad (2.45)$$

В качестве силы P , от действия которой возникает крутящий момент и осевое смещение заготовки, необходимо принимать сумму составляющих сил резания, действующих на заготовку, P_y и P_z .

При обтачивании длинной заготовки, консольно зажатой в трех-кулачковом патроне, сила закрепления должна надежно удерживать её в кулачках. Для коротких кулачков (рис. 2.18, а) условие равновесия для наименее выгодного приложения силы P_z (выворачивание заготовки вокруг линии $O-O$) будет

$$kP_2L = 1,5Qfr, \quad (2.46)$$

тогда

$$Q = \frac{kP_z L}{1,5rf} \quad (2.47)$$

Значения Q можно найти по кривым на рис. 2.18, а при $k = 1.0$; $P_z = 100$ кН и $f = 0.3$. Найденную величину Q умножают на коэффициент запаса и на поправку $P_z/10$, где P_z – сила резания при одном резце или равнодействующая составляющих силы резания при нескольких одновременно работающих резцах. Величина L характеризует расстояние от места закрепления заготовки до равнодействующей.

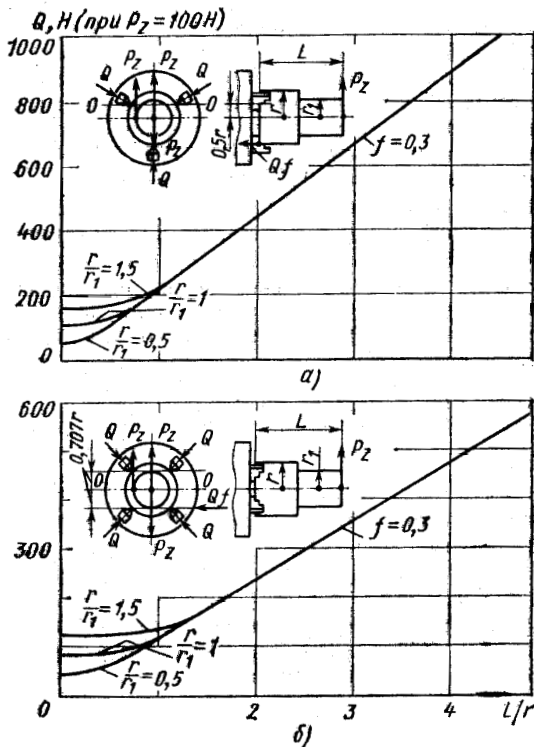


Рис. 2.18. Графики для определения сил закрепления заготовок в трех- и четырехкулачковых патронах

Левая разветвляющаяся часть кривой соответствует условиям закрепления короткой заготовки, для которой момент от силы P_z мал. Для этого случая расчет произведен по моменту трения заготовки в кулачках патрона $Q = kP_z/3f$. Если $f = 0,45$, то полученное значение Q делят на 1,5, а при $f = 0,6$ – на 2. Рекомендуемое значение f_1 на гладких губках 0,16-0,18, при губках с кольцевыми канавками 0,3-0,4, при губках с взаимно перпендикулярными канавками 0,4-0,5, при губках с острыми рифлениями 0,7-1,0.

При закреплении заготовки в четырехкулачковом патроне (рис. 2.18, б) силу на одном кулачке можно определить из условия равновесия моментов относительно одного из кулачков:

$$kP_zL = Q(2rf + 2rf), \quad (2.48)$$

откуда

$$Q = \frac{kP_zL}{4rf}. \quad (2.49)$$

Аналогичная кривая для определения Q показана на рис. 2.18, б. Сила Q определяется при тех же условиях, что и в предыдущем случае.

Действие моментов резания проявляется и при обработке отверстий как мерным многолезвийным инструментом (сверла, зенкеры, развертки, цековки), так и однолезвийным инструментом при растачивании отверстий. Достаточно часто отверстия обрабатываются одновременно по схеме многоинструментальной обработки.

Если в заготовке одновременно обрабатывают n отверстий мерными инструментами (зенкерами, развертками, цековками) с параллельно расположенными осями, то при малой радиальной жесткости инструментов (закрепление их на удлиненных оправках и работа без кондукторных втулок) на заготовку действует суммарный момент $\sum_{i=1}^n M_i$ от инструментов. Силу закрепления и место её приложения выбирают так, чтобы момент трения, удерживающий заготовку соответствовал условию $M_{тр} = k \sum_{i=1}^n M_i$. Если заготовка крепится в призме (рис. 2.19, а), то для расчета силы закрепления применима формула схемы, показанной на рис. 2.16, з.

При большой радиальной жесткости инструментов (обработка по кондукторным втулкам, растачивании многолезцовыми головками) силу закрепления можно уменьшить, так как проворачиванию заготовки от препятствуют сами инструменты. Этот случай, однако, характерен суммарного момента для обработки отверстий по широким допускам ввиду большого бокового давления стенки отверстия на инструмент. Силу закрепления можно уменьшить, применяя упоры, штыри и другие элементы восприятия суммарного момента. Последний можно привести к нулю или значительно снизить, если половину обрабатывающих инструментов выполнить левого вращения.

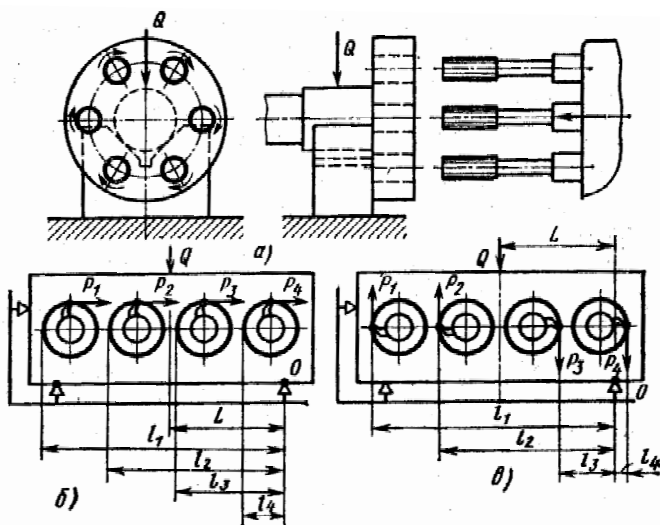


Рис. 2.19. Схемы для расчета сил закрепления заготовок при многоинструментной обработке

Другим условием равновесия системы будет характеризоваться процесс обработки, если в заготовке одновременно растачивается несколько параллельно расположенных отверстий однорезцовыми скалками. При самом невыгодном угловом расположении резцов возникает максимальная суммарная сила сдвига $P = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n$ (рис. 2.19, б). Сила закрепления

$$Q = \frac{kP}{f_1 + f_2}, \quad (2.50)$$

где f_1 и f_2 – коэффициенты трения, соответственно, между заготовкой и зажимным элементом, между заготовкой и опорами.

Момент относительно точки O от силы P $M = PH$. Он должен быть уравновешен моментом от силы Q $M_1 = QL$. Вводя коэффициент запаса k , получим силу закрепления по условию приложенных моментов:

$$Q = \frac{kPH}{L} \quad (2.51)$$

и

$$Q = \frac{k(P_1l_1 + P_2l_2 + \dots + P_nl_n)}{L}. \quad (2.52)$$

Определяя силу Q по условиям (2.50), (2.51), (2.52), выбираем её наибольшее значение для данного конкретного случая.

При синхронном вращении шпинделей можно установить такое расположение резцов (рис. 2.19, в), при котором условие (2.50) отпадает, а условие (2.52) получает вид

$$Q = k \frac{[(P_4l_4 + P_3l_3) - (P_2l_2 - P_1l_1)]}{L}. \quad (2.53)$$

Силу закрепления в этом случае можно значительно уменьшить. В общем случае при расчете силы закрепления заготовки, подвергаемой многоинструментной обработке, следует ориентироваться на самую неблагоприятную фазу изменения сил резания в процессе данной операции. Это требует анализа структуры и операций по всем элементам.

Действие момента проявляется и в том случае, если на заготовку действуют боковые силы, например, осевая сила при сверлении параллельна основанию заготовки.

На рис. 2.20 представлена схема действия сил для случая, при котором заготовка установлена на три опоры и базируется боковыми плоскостями (рис. 2.20, а). Сила резания P стремится повернуть заготовку вокруг боковой опоры O . Смещению заготовки препятствуют силы трения в местах её контакта с опорами (коэффициент

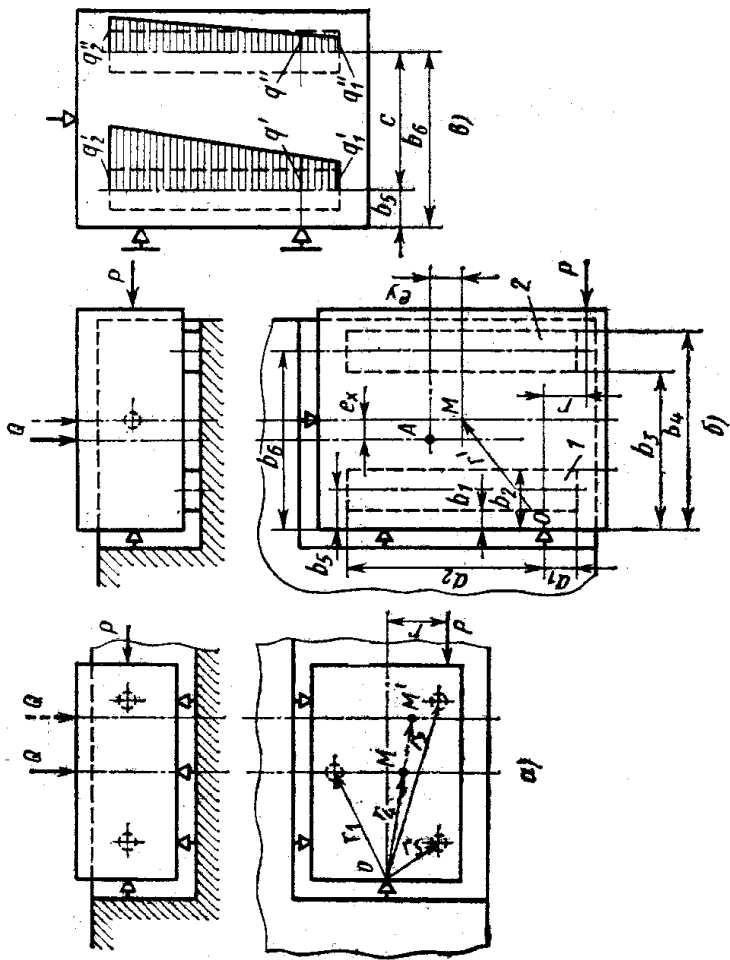


Рис. 2.20. Схемы для расчета сил закрепления заготовок при наличии поворачивающего момента

f_1) и с зажимным устройством (коэффициент f_2). Если сила закрепления Q приложена в центре тяжести M опорного треугольника, то условие равновесия имеет вид

$$kP_r = Q \left[\frac{1}{3} f_1 (r_1 + r_2 + r_3) + f_2 r_4 \right], \quad (2.54)$$

тогда

$$Q = \frac{3kP_r}{f_1 (r_1 + r_2 + r_3) + 3f_2 r_4}. \quad (2.55)$$

Если точка приложения силы закрепления M' не совпадает с центром тяжести M опорного треугольника, то равенство реакций опор нарушается. Для этого общего случая условие равновесия

$$kP_r = f_1 Q (ar_1 + br_2 + cr_3) + f_2 Q r_4, \quad (2.56)$$

где коэффициенты a , b и c , в сумме составляющие единицу, находят из условий статики:

$$Q = \frac{kP_r}{f_1 (ar_1 + br_2 + cr_3) + f_2 r_4}. \quad (2.57)$$

Возможен вариант, при котором заготовка установлена на опорные пластины и базируется боковыми плоскостями. Сила P стремится повернуть заготовку вокруг опоры (рис. 2.20, б). Момент силы P уравнивается моментом сил трения на поверхностях контакта заготовки с установочными и зажимными элементами: $kP_r = M_{\text{тр}}$.

Если сила закрепления Q приложена в центре тяжести опорных поверхностей и давление q постоянно, то

$$M_{\text{тр}} = fq \int_{F_1} \rho_1 dF_1 + fq \int_{F_2} \rho_2 dF_2 + f'Qr', \quad (2.58)$$

где F_1 и F_2 – площади опорных поверхностей пластин;

$$q = \frac{Q}{F_1 + F_2}; \quad (2.59)$$

$$\rho_1 = \sqrt{x_1^2 + y_1^2} \quad \text{и} \quad dF_1 = dx_1 dy_1; \quad (2.60)$$

$$\rho_2 = \sqrt{x_2^2 + y_2^2} \quad \text{и} \quad dF_2 = dx_2 dy_2. \quad (2.61)$$

После подстановки этих величин в выражение (2.58) получим:

$$M_{\text{тр}} = fq \int \int_{F_1} \sqrt{x_1^2 + y_1^2} dx_1 dy_1 + fq \int \int_{F_2} \sqrt{x_2^2 + y_2^2} dx_2 dy_2 + fQr'. \quad (2.62)$$

Введем пределы интегрирования согласно рис. 2.20, б, тогда:

$$M_{\text{тр}} = fq \int_{a_1}^{a_2} \left\{ \int_{b_1}^{b_2} \sqrt{x_1^2 + y_1^2} dy_1 \right\} dx_1 + fq \int_{a_1}^{a_2} \left\{ \int_{b_1}^{b_2} \sqrt{x_2^2 + y_2^2} dy_2 \right\} dx_2 + fQr'. \quad (2.63)$$

Точное определение $M_{\text{тр}}$ сложно для практического пользования. Приближенное решение получим, приняв

$$\sqrt{x^2 + y^2} = 0,96x + 0,4y \quad \text{при} \quad x > y; \quad (2.64)$$

$$\sqrt{x^2 + y^2} = 0,96y + 0,4x \quad \text{при} \quad y > x \quad (2.65)$$

(при $x = y$ погрешность такой замены менее 4 %).

Если сила закрепления Q приложена в точке A , смещенной относительно центра тяжести M опорных пластин, то давление постоянно. Нагрузка на пластину 1

$$Q' = Q \left(\frac{e_x}{c} + 0,5 \right), \quad (2.66)$$

где e_x – смещение точки приложения силы Q ; c – расстояние между пластинами.

Соответственно, нагрузка на пластину 2

$$Q'' = Q \left(0,5 - \frac{e_x}{c} \right). \quad (2.67)$$

Аналогично предыдущему случаю

$$\begin{aligned}
 M_{\text{тр}} &= f \int \int_{F_1} \rho_1 dF_1 q' + f \int \int_{F_2} \rho_2 dF_2 q'' + f' Q r' = \\
 &= f \int \int_{F_1} \sqrt{x_1^2 + y_1^2} q' dx_1 dy_1 + f \int \int_{F_2} \sqrt{x_2^2 + y_2^2} q'' dx_2 dy_2 + f' Q r', \quad (2.68)
 \end{aligned}$$

где q', q'' – давления на пластинах 1 и 2.

Распределение давления вдоль пластин зависит от смещения e_y , точки приложения силы Q . Приняв линейный закон распределения, получим эпюру давления в виде трапеции (рис. 2.18, в), что имеет место при $e_y < l/6$, где l – длина пластины. Изменение давления по длине пластины l можно выразить уравнением

$$q' = q'_1 + k(y + a_1), \quad (2.69)$$

где

$$k = \frac{q_2 - q_1}{l}; \quad q'_1 = \frac{Q'}{l} \left(1 - \frac{6e_y}{l} \right); \quad q'_2 = \frac{Q'}{l} \left(1 + \frac{6e_y}{l} \right).$$

После преобразований получим для пластин 1 и 2

$$q' = A' + B'y \quad \text{и} \quad q'' = A'' + B''y.$$

Здесь

$$A' = \frac{Q'}{l} \left(1 + \frac{6e_y}{l} + \frac{12e_y a_1}{l^2} \right) \quad \text{и} \quad B' = \frac{12Q'e_y}{l^2}. \quad (2.70)$$

В выражениях для A'' и B'' вместо Q' принимается Q'' .

Применив по аналогии со случаем $q = \text{const}$ замену $\sqrt{x^2 + y^2} = 0,96y + 0,4x$ (при $x < y$) и $\sqrt{x^2 + y^2} = 0,96x + 0,4y$ (при $x > y$), получим более простое приближенное решение. Зная $M_{\text{тр}}$, найдем силу закрепления, решая приведенные уравнения относительно Q .

Естественно, что рассмотрение схемы расчета сил закрепления не является всеобъемлющим. Поэтому в каждом конкретном случае необходимо рассматривать возможные варианты поведения элементов технологической системы и находить максимальную силу закрепления.

2.3.5. Расчетные факторы для определения сил закрепления

Для расчета сил закрепления необходимо знать жесткости систем установочных и зажимных элементов приспособления по нормали и в тангенциальном направлении, величины коэффициентов трения покоя f , а также значения коэффициента запаса k .

Жесткость системы установочных элементов по нормали может быть определена из уравнения

$$\frac{1}{J_2} = \frac{1}{J_1''} + \frac{1}{J_2''} + \frac{1}{J_3''} + \dots + \frac{1}{J_n''}, \quad (2.71)$$

где J_1'' – жесткость стыка заготовки с её опорами; $J_2'' \dots J_n''$ – жесткости постоянных стыков приспособления и его элементов, передающих силу закрепления.

Жесткость системы зажимных элементов J_1 найдем из аналогичного уравнения

$$\frac{1}{J_2} = \frac{1}{J_1'} + \frac{1}{J_2'} + \frac{1}{J_3'} + \dots + \frac{1}{J_n'}, \quad (2.72)$$

где J_1' – жесткость стыка заготовки с зажимом; $J_2'' \dots J_n''$ – жесткости стыков приспособления, передающих силу закрепления.

В общем балансе величин $1/J_2$ и $1/J_1$ наибольший вес имеют составляющие $1/J_1''$ и $1/J_1'$. На основе анализа схем установки в различных приспособлениях можно рекомендовать приближенные формулы:

$$J_1 = (0,4 \div 0,6)J_1', \quad J_2 = (0,6 \div 0,8)J_1''.$$

Меньшие значения коэффициентов относятся к многозвенным, нежестким системам. В большинстве случаев $J_2 > J_1$. Соотношение между ними можно выразить формулой $J_2 = (1,5 \div 2,5)J_1$. Если известны величины жесткостей J_1 и J_2 , то в приведенных ранее формулах для расчета сил закрепления можно брать приближенно:

$$\frac{J_1}{J_1 + J_2} = 0,3 \dots 0,4 \quad \text{и} \quad \frac{J_2}{J_1 + J_2} = 0,6 \dots 0,7.$$

Меньшие значения в первом соотношении и большие во втором берутся для зажимных систем пониженной жесткости. Величину

упругих перемещений (мкм) в касательном направлении определяют по формуле

$$y = \omega_{\tau}\tau,$$

где τ – касательное напряжение в стыке; ω_{τ} – тангенциальная податливость.

Упругие перемещения в стыке происходят до величины тангенциальной силы, равной примерно половине силы трения покоя. Затем начинаются большие по величине пластические перемещения, переходящие в сдвиг стыка. Тангенциальная жесткость стыка заготовка–зажимной элемент обычно в 3-4 раза ниже жесткости стыка заготовка – опора. На неё влияют зазоры в сопряжениях зажимного механизма и консоли зажимных элементов.

При контакте обработанных поверхностей заготовок с установочными и зажимными элементами коэффициент трения покоя мало зависит от шероховатости поверхности заготовок, давления, материала заготовок и наличия следов смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ). При повышении давления до предельных значений и смачивании поверхностей контакта коэффициент трения уменьшается на одну-две сотых. В расчетах коэффициент трения можно принять 0,16.

Коэффициент трения (т.е. отношение силы трения к нормальной силе) при контакте необработанных заготовок (отливок, поковок) с опорами, имеющими сферическую головку (ГОСТ 13441–68), зависит от величины нормальной силы и радиуса сферы. С увеличением нормальной силы и уменьшением радиуса сферы коэффициент трения возрастает от 0,18 до 0,30 в результате сопротивления сдвигу при контактных деформациях.

При обычных нагрузках на опору коэффициент трения можно брать 0,20...0,25. При контакте заготовок с зажимными и установочными рифлеными элементами коэффициент трения зависит от нормальной силы. С её ростом увеличивается глубина внедрения рифлений в поверхность заготовки и сопротивление сдвигу возрастает; коэффициент трения достигает 0,7...0,9.

Зависимость между коэффициентом трения и нормальной силой можно представить для заготовок из серого чугуна и конструкционной стали выражением $f = 5 \cdot 10^{-5} N + 0,2$, где N – нормальная сила на 1 см² рабочей поверхности установочного элемента, Н.

В расчетах сил закрепления вводят коэффициент запаса k . Он необходим для обеспечения надежности зажимных устройств, так как вырыв или смещение заготовки при обработке недопустимы. Коэффициент k учитывает неточность расчетов, непостоянство условий обработки и установки заготовок. Применение в расчетах среднего значения k неправильно: при малом k надежность зажимного устройства недостаточна, при большом k получают завышенные силы закрепления, что увеличивает размеры зажимных устройств и приспособления в целом. В зависимости от конкретных условий построения операции значение k следует выбирать дифференцированно, как произведение первичных коэффициентов k_0, k_1, \dots, k_6 , отражающих поправки на различных этапах расчета.

Коэффициент k_0 указывает неточность расчетов. При определении сил резания следует ориентироваться на самые невыгодные условия обработки – наибольшую глубину резания и наибольшую твердость обрабатываемого материала заготовки, получая при этом наибольшее значение P (рис. 2.21, *а*). Из-за неточности расчетных формул действительная сила резания может получиться большей, чем P_{\max} . Разброс этой силы для партии заготовок показан кривой рассеивания 1. За расчетную силу резания следовательно, нужно брать не силу P_{\max} , а силу $P = P_{\max} k_0'$. Здесь k_0' берется равным 1,1–1,3 (меньшие значения для однолезвийных и большие – для многолезвийных инструментов). При определении сил закрепления следует также ориентироваться на наименее выгодные условия, получая наибольшую силу Q_{\max} (рис. 2.21, *б*). Из-за несовершенства расчетной схемы действительная величина силы закреплений в выполненном приспособлении может получиться меньшей Q_{\max} (кривая распределения 2). За расчетную силу закрепления принимаем $Q = Q_{\max} k_0''$, где $k_0'' = 1,1 \dots 1,2$. Большое значение k_0'' рекомендуется для сложных многолезвийных зажимных систем, а также для устройств многоместных приспособлений, где необходимо обеспечивать равномерное закрепление всех заготовок.

Для обеспечения полной безотказности работы зажимного устройства, особенно в условиях автоматизированного производства, необходимо введение гарантированного запаса $k_0''' = 1,2 \dots 1,3$, который учитывает внезапные факторы (твердые включения в обрабатываемом материале, выкрашивание кромки инструмента и др.). Таким образом, $k_0 = k_0' k_0'' k_0'''$; практически $k_0 = 1,5 \dots 2$.

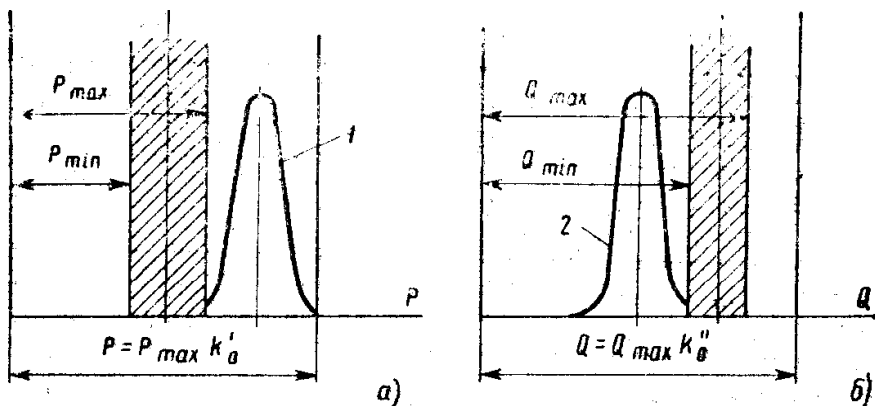


Рис. 2.21. Схемы для расчета коэффициента запаса

Коэффициент k_1 учитывает наличие случайных неровностей на поверхности заготовки, что вызывает увеличение сил резания. При черновой обработке $k_1 = 1,2$; при чистовой и отделочной обработке $k_1 = 1,0$. Коэффициент k_2 учитывает увеличение сил резания от прогрессирующего затупления режущего инструмента ($k_2 = 1,0 \dots 1,7$). Значения k_2 приведены в табл. 2.1. Коэффициент k_3 учитывает увеличение силы резания при прерывистом резании. При точении и торцовом резании k_3 достигает значения 1,2.

Коэффициент k_4 характеризует зажимное устройство с точки зрения постоянства развиваемых им сил. При ручных устройствах силы закрепления непостоянны и для них можно принимать $k_4 = 1,0$. Если допуск на размер заготовки влияет на силу закрепления, что имеет место при использовании пневмокамер, пневморычажных систем, мембранных патронов и других устройств, $k_4 = 1,2$.

Коэффициент k_5 характеризует удобство расположения рукояток в ручных зажимных устройствах. При удобном положении рукоятки и малом диапазоне угла её поворота $k_5 = 1,0$, при большом диапазоне (более 90°) $k_5 = 1,2$. Коэффициент k_6 учитывается только при наличии моментов, стремящихся повернуть заготовку. Если заготовка установлена базовой плоскостью на опоры с ограниченной поверхностью контакта, $k_6 = 1,0$. Если заготовка установлена на планки или другие элементы с большой поверхностью контакта, k_6 принимается равным до 1,5. В этом случае макронеровности на ба-

зовой поверхности заготовки вызывают неопределенность положения мест контакта относительно центра поворота заготовки.

Таблица 2.1

Метод обработки	Силовые компоненты резания	Коэффициент k_2	Материал обрабатываемой заготовки
Сверление	$M_{кр}$ P_o	0,15 1,0	Чугун
Зенкерование	$M_{кр}$ P_o	1,3 1,2	– » –
Предварительное точение (в скобках – для чистовой обработки)	P_z	1,0	Сталь
		1,0	Чугун
	P_y	1,4 (1,1)	Сталь
		1,2 (1,4)	Чугун
	P_x	1,6 (1,0)	Сталь
		1,25 (1,3)	Чугун
Цилиндрическое и торцевое фрезерование	P_z	1,7	Сталь
		1,3	Чугун
Шлифование	P_z	1,20	–
Протягивание	P_z	1,5	–

Выбирая значение коэффициентов k_1, \dots, k_6 соответственно условиям выполнения операции, можно получить величину k для каждого конкретного случая обработки:

$$k = k_0 k_1 k_2 k_3 k_4 k_5 k_6. \quad (2.73)$$

Пример 1. Определить коэффициент запаса для операции торцевого фрезерования необработанной заготовки, закрепленной в приспособлении с ручным зажимом. Положение зажимного устройства недостаточно удобно. Заготовка установлена на планки, а сила резания создает момент, стремящийся сдвинуть её от опор.

Решение. По характеру выполняемой операции принимаем следующие значения первичных коэффициентов $k_0 = 1,2 \cdot 1,1 \cdot 1,2 = 1,6$; $k_1 = 1,2$; $k_2 = 1,8$ (см. табл. 2.1); $k_3 = 1,0$; $k_4 = 1,3$; $k_5 = 1,2$; $k_6 = 1,5$. Общий коэффициент запаса $k = 8$.

При чистовом растачивании заготовки закрепленной в кулачках пневматического патрона, все первичные коэффициенты равны единице. В этом случае коэффициент запаса имеет минимальное

значение $k = k_0 \cdot 1,2 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 1,7$. Но, как отмечалось выше, k принимается не менее 2,5.

2.3.6. Расчет сил закрепления как многовариантная задача

Рассмотренные схемы для расчета сил закрепления заготовки в приспособлениях, в первую очередь, подтверждают необходимость рассмотрения всех вариантов взаимодействия режущих кромок инструмента с обрабатываемой поверхностью. Но, как отмечалось выше, возникает необходимость рационального расположения места приложения силы (или сил) закрепления.

На рис. 2.22 представлены варианты установки заготовки с разными схемами действия сил закрепления при растачивании отверстия [21].

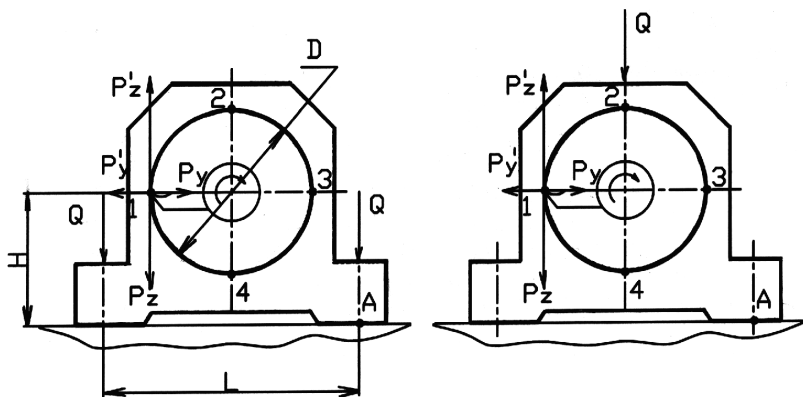


Рис. 2.22. Действующие силы при растачивании отверстий

За каждый оборот расточной оправки силы резания стремятся повернуть заготовку относительно точки A . Тогда условием равновесия рассматриваемой силовой системы является условие равновесия моментов относительно точки A при различных положениях режущего инструмента.

Так, для точки I условием равновесия сил является (для рис. 2.22, а)

$$Q \cdot L - P'_z \left(\frac{L}{2} + \frac{D}{2} \right) + P'_y \cdot H = 0. \quad (2.74)$$

Если сила закрепления действует согласно рис. 2.22, б, то условие равновесия выглядит следующим образом:

$$Q \cdot \frac{L}{2} - P'_z \left(\frac{L}{2} + \frac{D}{2} \right) + P'_y \cdot H = 0. \quad (2.75)$$

Для других точек расположение инструмента зависимость Q от величины плеча не изменяется, следовательно, можно сделать вывод, что закрепление заготовки данного вида по двум сторонам является более предпочтительным, так как требуемая сила закрепления в два раза меньше, чем при одной точке приложения силы закрепления. Но проверка условия контакта заготовки с установочными элементами приспособления под действием опрокидывающего момента может быть не определяющей. Так, если анализировать соотношение сил, действующих на заготовку, то несколько типовых схем действия сил соответствуют рассматриваемому методу обработки.

При положении инструмента в точке 1 составляющие силы резания стремятся сместить заготовку под действием составляющей P_z и нарушить контакт с установочными элементами под действием составляющей силы резания P_y , т.е. условие равновесия соответствует рассмотренной ранее схеме действия сил по п. 5 типовых схем действия сил. Если инструмент находится в точке 3, то расчетная схема изменяется и становится соответствующей четвертой расчетной схеме, когда одна составляющая силы резания прижимает заготовку к опорам (P_1), а другая стремится сместить заготовку относительно опор (P_2). Между положениями в точках 1 и 3 существует положение, при котором результирующая составляющих силы резания становится параллельной основанию заготовки, что соответствует третьей расчетной схеме. Таким образом, за один оборот инструмента относительно обрабатываемой поверхности заготовки абсолютно меняются схемы расчета сил закрепления заготовки в приспособлении.

Отсюда можно сделать вывод, что недопустимо производить расчет требуемых сил закрепления заготовки по одной схеме расчета, так как заготовка под действием сил в технологической системе «дышит». Необходимо найти все варианты поведения заго-

товки по действующим силам и найти наиболее худший для обособленного расчета требуемой силы закрепления.

Соотношение требуемых сил закрепления по условиям контакта и смещения для заготовки по рис. 2.23 даёт пример представленный ниже.

Пример 2. Произвести расчет требуемой силы закрепления при растачивании отверстия диаметром D .

Условия задачи: $P_x = 280$ Н; $P_y = 470$ Н; $P_z = 1400$ Н; $D = 35$ мм; $L = 100$ мм; $H = 40$ мм; обрабатываемый материал СЧ-18;

$$\frac{J_1}{J_1 + J_2} = 0,3 \dots 0,4; \quad \frac{J_{21}}{J_1 + J_2} = 0,6 \dots 0,7.$$

Решение: составляем расчетную схему (рис. 2.23), считая, что базирование заготовки производится по плоскости и двум отверстиям.

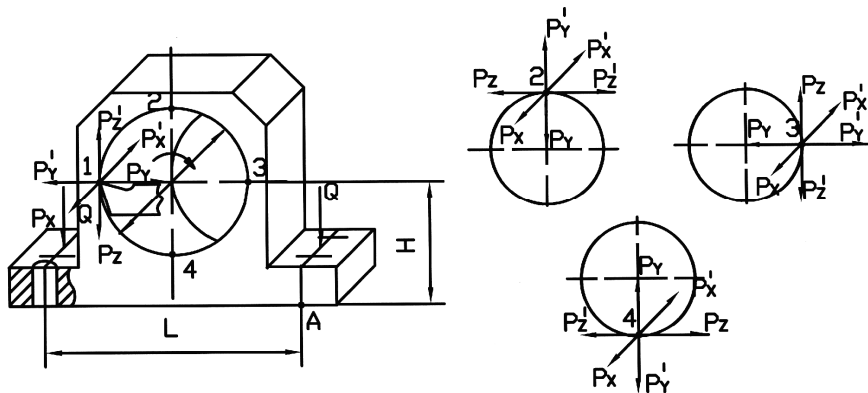


Рис. 2.23. Схема расчета силы закрепления

Производим расчет требуемой силы закрепления по условию контакта под действием крутящих моментов относительно точки A для различных положений инструмента за его один оборот вращения.

Условие равновесия для положения инструмента в точке I

$$\sum M_a = 0; \quad P'_z \cdot \left(\frac{L}{2} + \frac{D}{2} \right) - QL - P_y H = 0,$$

отсюда

$$Q = \frac{P'_z \left(\frac{L}{2} + \frac{D}{2} \right) - P'_y H}{L} = \frac{1400 \left(\frac{100}{2} + \frac{35}{2} \right) - 470 \cdot 40}{100} = 757 \text{ Н.}$$

Положение инструмента в точке 2:
уравнение равновесия

$$P'_z \cdot \left(H + \frac{D}{2} \right) - QL + P'_y \frac{L}{2} = 0,$$

тогда

$$Q = \frac{P'_z \left(H + \frac{D}{2} \right) + P'_y \frac{L}{2}}{L} = \frac{1400 \left(40 + \frac{35}{2} \right) + 470 \cdot 50}{100} = 1040 \text{ Н.}$$

Положение инструмента в точке 3:
уравнение равновесия

$$-P'_z \cdot \left(\frac{L}{2} - \frac{D}{2} \right) - QL + P'_y H = 0,$$

$$Q = \frac{-P'_z \left(\frac{L}{2} - \frac{D}{2} \right) + P'_y H}{L} = \frac{-1400 \left(\frac{100}{2} - \frac{35}{2} \right) + 470 \cdot 40}{100} = -267 \text{ Н.}$$

Расчет силы закрепления для положения инструмента в точке 4 производить нет необходимости, так как силы резания прижимают заготовку к установочным элементам.

Следовательно, сила закрепления по рассмотренным точкам составляет 2080 Н. Данное значение не является максимальным, но такое отличие компенсирует коэффициент запаса.

Дополнительно необходимо произвести расчет силы закрепления по условию смещения. Наихудшие условия при обработке отверстия возникают, когда инструмент находится в точках 1 и 2. Данные положения инструмента соответствуют типовой схеме расчета, представленной на рис. 2.16, д. Причем невозможно однозначно без расчета определить для какой точки необходимая сила закрепления будет максимальной. Так, для точки 1 силе P_1 соответствует сила P'_z , а силе P_2 – геометрическая сумма сил P'_x и P'_y . Для

точки 2, соответственно, $P_1 = P_y'$, а силе P_2 – геометрическая сумма P_x' и P_z' .

Типовая схема позволяет проверить условие обеспечения контакта заготовки с опорами. Принимаем зажимное устройство в данном примере первого типа, тогда расчет производится по равенству (2.14)

$$Q' = kP_1 \left(\frac{J_2}{J_1 + J_2} \right).$$

Требуемая сила закрепления заготовки по условию смещения Q'' определяется по зависимости (2.16):

$$Q'' = \frac{kP_2 - f_1P_1 \left(\frac{J_1}{J_1 + J_2} \right) + f_2P_1 \left(\frac{J_2}{J_1 + J_2} \right)}{f_1 + f_2}.$$

Расчет коэффициента запаса k производим согласно

$$k = k_0 k_1 k_2 k_3 k_4 k_5 k_6 = 2 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 1,3 \cdot 1 \cdot 1,5 = 5,62 \approx 5,6.$$

Коэффициенты трения f_1 и f_2 принимаем равными 0,16, как для контакта обработанных механическим способом поверхностей.

Тогда для положения инструмента в точке 1 требуемая сила закрепления по условию контакта составит

$$Q' = 5,6 \cdot 1400 \cdot 0,65 = 5096 \text{ Н}.$$

Для условия смещения заготовки

$$P_2 = \sqrt{P_x'^2 + P_y'^2} = \sqrt{280^2 + 470^2} = 547,1 \text{ Н};$$

$$Q'' = \frac{5,6 \cdot 547,1 - 0,16 \cdot 1400 \cdot 0,35 + 0,16 \cdot 1400 \cdot 0,65}{0,16 + 0,16} = 9784,2 \text{ Н}.$$

Для положения инструмента в точке 2 соответственно:

$$Q' = 5,6 \cdot 470 \cdot 0,65 = 1710,8 \text{ Н};$$

$$P_2 = \sqrt{P_x'^2 + P_z'^2} = \sqrt{280^2 + 1400^2} = 1427,7 \text{ Н};$$

$$Q'' = \frac{5,6 \cdot 1427,7 - 0,16 \cdot 470 \cdot 0,35 + 0,16 \cdot 470 \cdot 0,65}{0,16 + 0,16} = 25055,9 \text{ Н}.$$

Результаты расчетов свидетельствуют, что наибольшая требуемая сила закрепления характерна для положения инструмента в точке 2, причем по всем условиям. Для корректного сопоставления рассчитанных значений силы закрепления последнюю для условия контакта под действием крутящих моментов необходимо определить с учетом коэффициента запаса k равного 5,6.

Тогда $Q = 5,6 \cdot 1040 = 5824,0 \text{ Н}$.

В результате по отдельным условиям:

условие контакта под действием момента $Q = 5824,0 \text{ Н}$;

условие контакта с учетом упругих характеристик опор и зажимного устройства $Q_9 = 1710,8 \text{ Н}$;

условие смещения заготовки по опорам $Q_0 = 25055,9 \text{ Н}$.

Таким образом, определяющим условием является смещение заготовки по опорам, причем разница значений силы закрепления многократная. Значение требуемой силы закрепления можно уменьшить, если в конструкции зажимного устройства применить элемент, контактирующий с заготовкой с рифленой рабочей поверхностью. Тогда значение коэффициента трения f , можно принять равным 0,8 и значение силы закрепления:

$$Q'' = \frac{5,6 \cdot 1427,7 - 0,8 \cdot 470 \cdot 0,35 + 0,16 \cdot 470 \cdot 0,65}{0,8 + 0,16} = 8242,3 \text{ Н}.$$

Следовательно, простым приемом при разработке конструкции приспособления можно уменьшить силу закрепления до нескольких раз.

Как следствие из сказанного выше необходимо подчеркнуть, что взаимодействие элементов технологической системы инструмент – заготовка является сложным и многовариантным. В настоящее время большее значение придают именно взаимодействию инструмента с заготовкой. С одной стороны, данный подход оправдан, так как длительность жизненного цикла отдельного элемента технологической системы – инструмента является наиболее короткой. Но, с целью обеспечения требуемого качества поверхности и точности обработки, целесообразно рассматривать силовое взаимодействие

именно всех звеньев технологической системы, а не отдельных взаимодействующих только друг с другом [19].

2.4. Особенности методики расчета сил закрепления заготовки на станках с ЧПУ

При обработке заготовок на станках с ЧПУ, особенно в условиях гибкого производства, станочные приспособления выполняют более сложные функции, чем в поточном производстве. Поэтому к приспособлениям для станков с ЧПУ предъявляются дополнительные более жесткие требования по точности, жесткости, возможности переналадки и т.п. Но, в своем абсолютном большинстве, эти требования носят конструктивный характер.

В то же время станки с числовым программным управлением имеют значительно расширенные технологические возможности не только по концентрации обработки (многооперационные станки), но и по возможности организации траектории перемещения инструмента, т.е. разрабатывается траектория перемещения инструмента, при которой создается наиболее рациональное силовое замыкание всех элементов технологической системы.

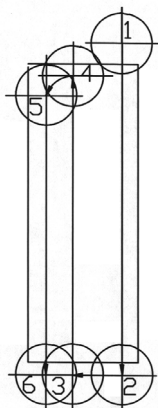


Рис. 2.24. Траектория перемещения фрезы

Наиболее характерным примером влияния направления перемещения инструмента на требуемую силу закрепления заготовки в приспособлении является обработка плоской открытой поверхности торцевой фрезой на многооперационном станке. Рекомендуемой траекторией для программной обработки при черновом фрезеровании является «зигзаг» [22]. Но траекторию «зигзаг» можно организовать как с вертикальными рабочими ходами, так и с горизонтальными.

На рис. 2.24 представлен пример траектории перемещения торцевой фрезы при обработке плоской поверхности блока цилиндров V-образного двигателя на многооперационном станке модели ИР-800.

При движении фрезы из точки 1 в точку 2 создаются условия действия результирующей силы резания, при которых горизонтальная составляющая стремится сместить заготовку и вертикальная составляющая действует в одном направлении с силой закрепления. Если инструмент перемещается из точки 3 в точку 4, то силовое воздействие инструмента на заготовку существенно меняется. Принципиальная разница заключается в том, что вертикальная составляющая направлена противоположно по отношению к силе закрепления.

На рис. 2.25 и 2.26 приведены схемы расчета сил резания при различных направлениях обработки и при различном количестве зубьев, участвующих в резании. Изменение количества зубьев фрезы, одновременно участвующих в резании, приводит к некоторому колебанию суммарной силы резания по направлению и по величине (в пределах от \bar{R}_1 до \bar{R}_2).

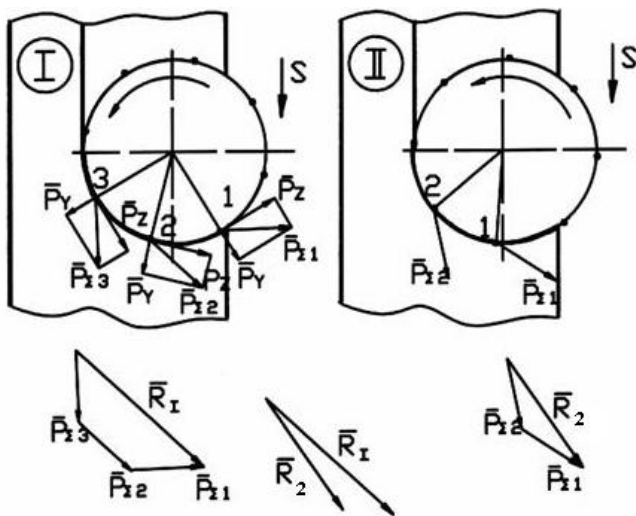


Рис. 2.25. Схема расчета силы резания при движении фрезы вниз

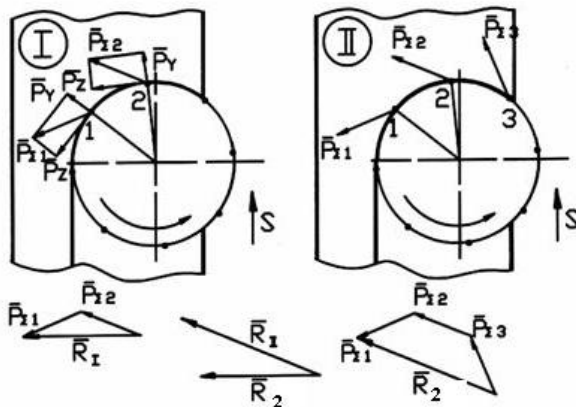


Рис. 2.26. Схемы расчета силы резания при движении фрезы вверх.

При горизонтальном расположении траектории перемещения фрезы по «зигзагу» возможна обработка поверхности как снизу вверх, так и сверху вниз. Естественно, что предпочтительным направлением выхода на следующий горизонтальный рабочий ход является движение сверху вниз. В этом случае вертикальная составляющая силы резания прижимает заготовку к установочным элементам, но при таком построении траектории инструмента несколько большей становится управляющая программа, так как возрастает количество проходов.

Расчет сил закрепления для представленной на рис. 2.24 схемы обработки производится по типовым схемам (рис. 2.27).

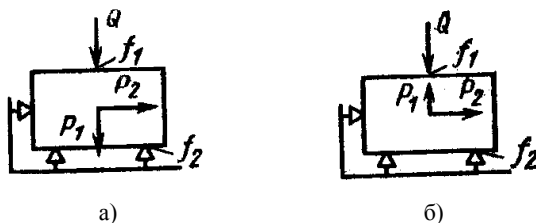


Рис. 2.27. Схемы расчета сил закрепления

При движении фрезы вниз справедлива схема расчета сил закрепления, приведенная на рис. 2.27, а, при движении вверх – на рис. 2.27, б.

Для обоих случаев справедливы уравнения:

$$P_1 = P_B;$$

$$P_Z = \sqrt{mP_X^2 + P_T^2};$$

$$P_B = \sum_{i=1}^m (P_Z \cos \alpha_i + P_Y \sin \alpha_i);$$

$$P_T = \sum_{i=1}^m (P_Y \cos \alpha_i + P_Z \sin \alpha_i),$$

где m – число одновременно работающих зубьев; α – мгновенный угол контакта i -го зуба фрезы.

Ни один из рассмотренных вариантов траектории инструмента наилучшим по требуемой наименьшей силе закрепления не является. Наименьшая сила закрепления заготовки потребуется в том случае, если суммарная сила резания направлена по близкому к вертикальному положению вектора. Для классического оборудования количество вариантов формирования траектории инструмента ограничено. Но на оборудовании с числовым программным управлением появляется возможность преднамеренного изменения траектории перемещения инструмента с целью передачи функции силы закрепления силам резания.

На рис. 2.28 приведен вариант траектории перемещения инструмента «наклонный спуск», которая имеет несколько особенностей. Первой особенностью является то, что обработка производится двумя одновременными движениями. Вторая особенность заключается в том, что выход на следующий рабочий проход осуществляется частично по предыдущему участку траектории на подаче «быстрый ход».

Сопоставление траекторий (вертикальный «зигзаг» и последней) по суммарным длинам перемещений показывает, что для последней траектории появляются перемещения, выполняемые на ускоренной подаче. Но, учитывая высокие скорости ускоренных перемещений рабочих органов на станках с ЧПУ, продолжительность технологической операции для обеих траекторий практически одинакова, что подтверждают расчеты.

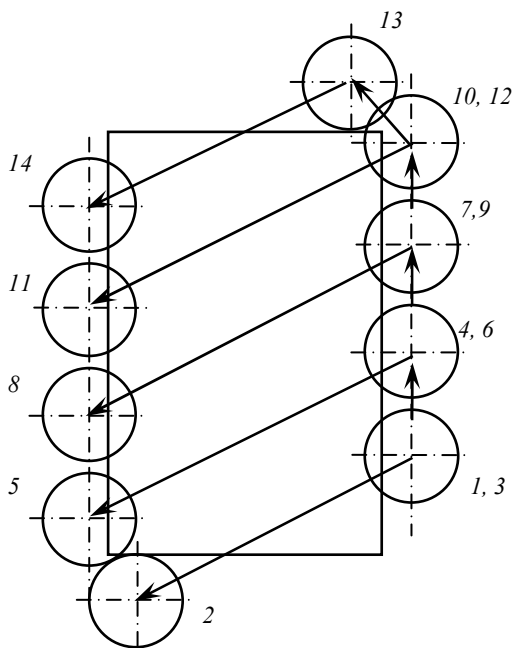


Рис. 2.28. Траектория перемещения инструмента «наклонный спуск»

Но основным достоинством последней траектории является то, что вектор суммарной силы резания имеет более близкое направление к направлению силы закрепления (рис. 2.29). Абсолютно вертикальное положение суммарного вектора силы резания быть не может, так как постоянно меняется количество зубьев, участвующих в резании. Другой причиной отклонения суммарного вектора силы резания от вертикали является осевая составляющая силы резания P_x , направленная по оси фрезы. Но схема обработки не позволяет полностью исключить влияние данной составляющей силы резания.

В целом, формирование траектории перемещения инструмента, учитывающее необходимость уменьшения требуемой силы закрепления заготовки, позволяет её уменьшить, в отдельных случаях наполовину. Дополнительно к этому рассмотренная траектория по-

звolyет повысить точность обработки, так как каждый рабочий проход фрезой выполняется в одном направлении.

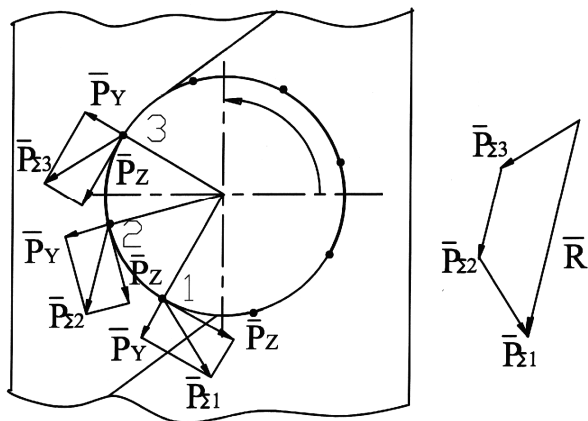


Рис. 2.29. Силы резания при движении фрезы по траектории «наклонный спуск»

2.5. Задачи для практических занятий

Основные формулы, необходимые для расчета сил закрепления, приведены в [12].

2.5.1. Расчет сил закрепления заготовки при точении

Задача 1. Расчет сил закрепления заготовки на оправке при прорезке канавки.

Составить расчётную схему и определить силу закрепления заготовки на оправке с прихватом при прорезке канавки (рис. 2.30).

Размеры заготовки и силы резания приведены на рис. 2.31 и в табл. 2.2.

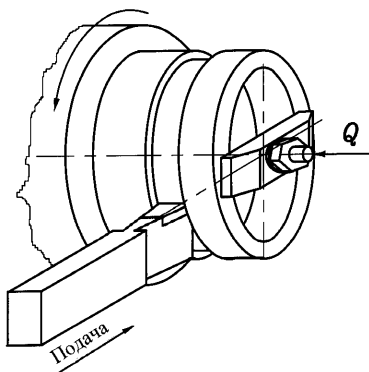


Рис. 2.30. Схема обработки

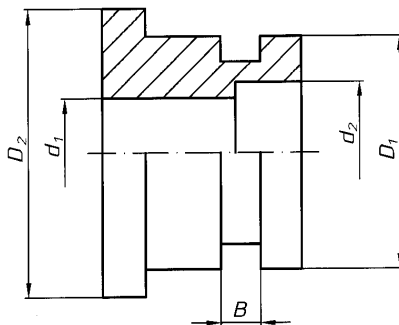


Рис. 2.31. Обозначения размеров заготовки

Таблица 2.2

Условия задач

№ задачи	D_1 , мм	D_2 , мм	d_1 , мм	d_2 , мм	P_y , Н	P_z , Н	Условия обработки	
							v , мм	материал
1.1.1	150	120	80	100	1900	4100	10	Сталь 45
1.1.2	120	120	80	90	1510	3210	8	Сталь 45
1.1.3	100	90	50	50	1160	2400	6	Сталь 45
1.1.4	150	140	90	100	1570	3800	10	СЧ-24
1.1.5	120	110	80	80	1420	3000	8	СЧ-24
1.1.6	100	80	50	60	1170	2360	6	СЧ-24
1.1.7	80	70	40	50	980	2100	5	СЧ-24
1.1.8	160	140	100	110	1470	3200	12	Д16
1.1.9	140	120	80	90	1210	2640	10	Д16
1.1.10	120	100	60	60	1050	2270	8	Д16
1.1.11	200	150	50	80	2120	4800	12	Сталь 20
1.1.12	180	160	100	100	1710	3620	10	Сталь 20
1.1.13	140	140	80	90	1580	3240	8	Сталь 20
1.1.14	120	100	60	70	1720	3620	10	Сталь 20
1.1.15	110	100	70	70	1580	3240	8	Сталь 20

Задача 2. Расчет сил закрепления заготовки в трехкулачковом патроне.

Составить расчётную схему и определить силу закрепления заготовки при точении в трёхкулачковом патроне по условиям проворота и осевого смещения заготовки в кулачках (рис. 2.32).

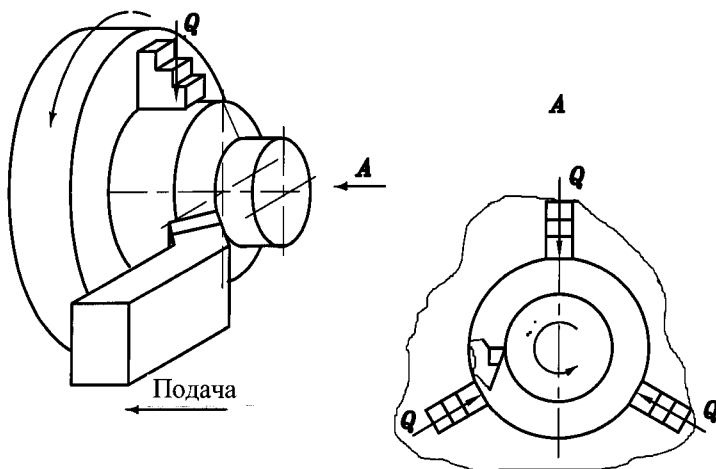


Рис. 2.32. Схема обработки

Размеры заготовки и силы резания представлены на рис. 2.33 и в табл. 2.3.

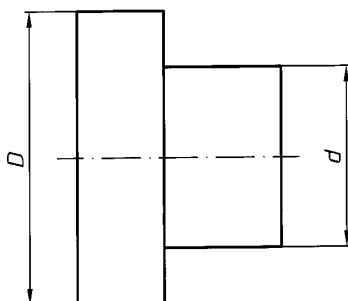


Рис. 2.33. Обозначения размеров заготовки

Задача 3. Расчет сил закрепления заготовки прихватами при подрезке торца.

Составить расчётные схемы и определить силу закрепления заготовки прихватами по условиям нарушения контакта и смещению. Схема обработки приведена на рис. 2.34.

Условия задач

№ задачи	D , мм	d , мм	P_x , Н	P_y , Н	P_z , Н	Условия обработки		
						Глубина резания, мм	Главный угол в плане ϕ_1 , °	Материал
1.2.1	200	190	720	818	2400	5	45	Д16
1.2.2	180	160	720	818	2400	5	45	Д16
1.2.3	150	140	630	710	2000	4	45	Д16
1.2.4	120	120	630	710	2000	4	90	Д16
1.2.5	100	90	630	710	2000	4	90	Д16
1.2.6	160	140	1220	1308	3420	3	45	Сталь 45
1.2.7	140	120	1100	1210	3150	3	90	Сталь 45
1.2.8	120	100	1220	1310	3420	3	45	Сталь 45
1.2.9	100	80	1100	1210	3150	3	90	Сталь 45
1.2.10	90	80	1100	1210	3150	3	90	Сталь 45
1.2.11	150	120	1160	1300	3200	4	90	СЧ-18
1.2.12	140	120	1210	1380	3350	4	45	СЧ-18
1.2.13	130	130	980	1100	2900	3	45	СЧ-18
1.2.14	120	100	810	990	2800	3	90	СЧ-18
1.2.15	100	800	810	990	2800	3	90	СЧ-18

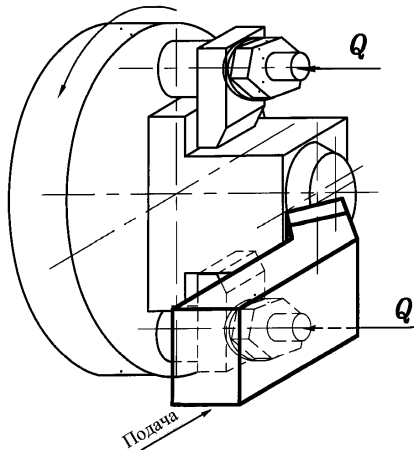


Рис. 2.34. Схема обработки

Размеры заготовки и силы резания представлены на рис. 2.35 и в табл. 2.4.

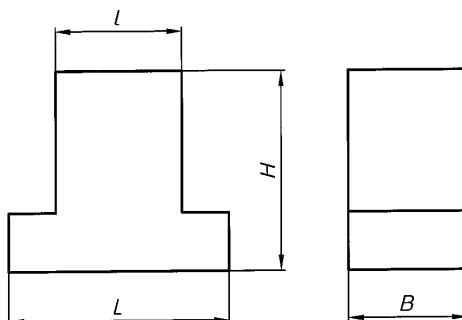


Рис. 2.35. Обозначения размеров заготовки

Таблица 2.4

Условия задач

№ задачи	L , мм	l , мм	H , мм	B , мм	P_x , Н	P_y , Н	P_z , Н	Обрабатываемый материал
1.3.1	200	150	80	80	489	340	929	Сталь 10
1.3.2	180	150	80	100	489	340	929	Сталь 10
1.3.3	150	120	100	100	489	340	929	Сталь 10
1.3.4	120	100	100	120	489	340	929	Сталь 10
1.3.5	100	80	120	120	489	340	929	Сталь 10
1.3.6	250	200	120	200	490	301	996	Сталь 45
1.3.7	220	200	120	200	490	301	996	Сталь 45
1.3.8	200	180	120	200	490	301	996	Сталь 45
1.3.9	180	150	120	200	490	301	996	Сталь 45
1.3.10	150	120	120	200	490	301	996	Сталь 45
1.3.11	200	180	120	180	388	379	946	СЧ-18
1.3.12	200	180	100	180	388	379	946	СЧ-18
1.3.13	200	180	90	180	388	379	946	СЧ-18
1.3.14	180	150	80	180	388	379	946	СЧ-18
1.3.15	150	120	70	180	388	379	946	СЧ-18

2.5.2. Расчет сил закрепления заготовки при фрезеровании

Задача 4. Расчет сил закрепления заготовки в призме при фрезеровании лыски.

Составить расчётные схемы и определить силу закрепления заготовки в призме при фрезеровании лыски цилиндрической фрезой. Схема обработки приведена на рис. 2.36.

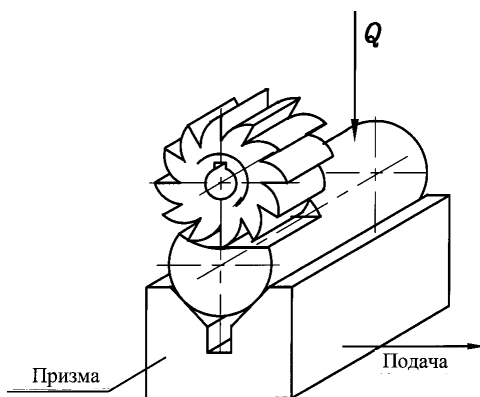


Рис. 2.36. Схема обработки

Размеры заготовки, силы резания и угол призмы представлены соответственно на рис. 2.37 и в табл. 2.5.

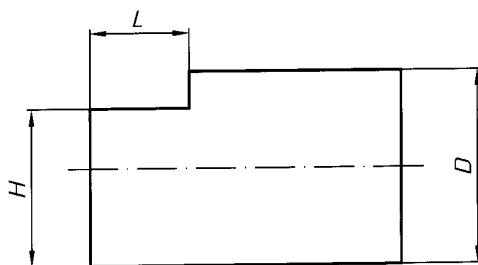


Рис. 2.37. Обозначения размеров заготовки

Задача 5. Расчет сил закрепления заготовки в призме при фрезеровании паза дисковой фрезой.

Составить расчётные схемы и определить силу закрепления заготовки в призме при фрезеровании паза дисковой фрезой. Схема обработки приведена на рис. 2.38.

Таблица 2.5

Условия задач

№ задачи	D , мм	H , мм	L , мм	P_y , Н	P_z , Н	Угол призмы, °	Обрабатываемый материал
2.1.1	150	140	30	2193	5483	90	Сталь 5
2.1.2	150	130	30	3981	9952	90	Сталь 5
2.1.3	140	130	40	2924	7311	120	Сталь 5
2.1.4	140	130	40	2924	7311	90	Сталь 5
2.1.5	150	140	30	2193	5483	120	Сталь 5
2.1.6	120	110	40	2924	7311	90	Сталь 40Х
2.1.7	110	100	40	2924	7311	90	Сталь 40Х
2.1.8	100	90	40	2924	7311	120	Сталь 40Х
2.1.9	90	80	40	2924	7311	90	Сталь 40Х
2.1.10	80	70	45	3290	8225	120	Сталь 40Х
2.1.11	120	115	40	1003	2508	90	СЧ-18
2.1.12	110	100	45	2007	5016	120	СЧ-18
2.1.13	100	90	50	2230	5574	90	СЧ-18
2.1.14	100	90	50	2230	5574	120	СЧ-18
2.1.15	90	80	50	2230	5574	90	СЧ-18

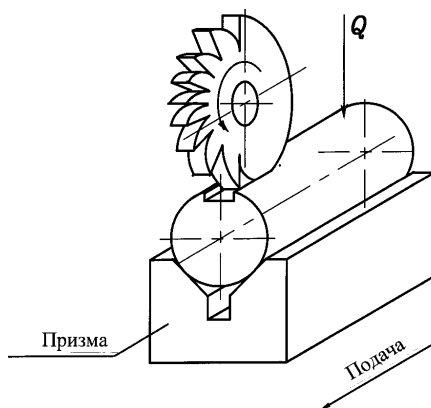


Рис. 2.38. Схема обработки

Размеры заготовки, силы резания и угол призмы представлены на рис. 2.39 и в табл. 2.6.

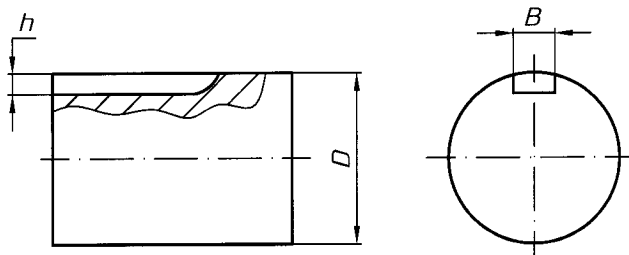


Рис. 2.39. Обозначения размеров заготовки

Таблица 2.6

Условия задач

№ задачи	D , мм	h , мм	B , мм	P_y , Н	P_z , Н	Угол призмы, °	Обрабатываемый материал
2.2.1	160	5	10	469	1172	90	Сталь 5
2.2.2	150	10	10	833	2082	90	Сталь 5
2.2.3	140	10	10	833	2082	120	Сталь 5
2.2.4	120	10	10	833	2082	120	Сталь 5
2.2.5	100	10	10	188	2082	120	Сталь 5
2.2.6	150	5	8	469	1172	90	Сталь 45
2.2.7	140	5	10	586	1465	90	Сталь 45
2.2.8	120	10	10	1040	2602	90	Сталь 45
2.2.9	100	10	15	1561	3903	120	Сталь 45
2.2.10	80	10	10	1040	2602	120	Сталь 45
2.2.11	120	8	10	572	1430	90	СЧ-18
2.2.12	100	10	15	1030	2575	90	СЧ-18
2.2.13	90	10	10	687	1718	90	СЧ-18
2.2.14	80	10	10	687	1718	120	СЧ-18
2.2.15	70	10	10	687	1718	120	СЧ-18

Задача 6. Расчет сил закрепления заготовки в призме при фрезеровании паза концевой фрезой.

Составить расчётные схемы и определить силу закрепления заготовки в призме при фрезеровании паза концевой фрезой. Схема обработки приведена на рис. 2.40.

Размеры заготовки, силы резания и угол призмы представлены на рис. 2.41 и в табл. 2.7.

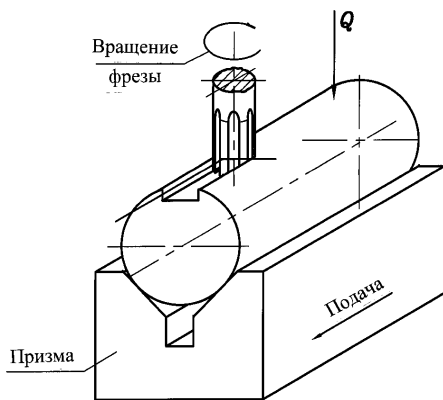


Рис. 2.40. Схема обработки

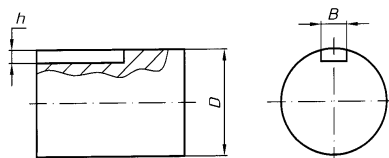


Рис. 2.41. Обозначения размеров заготовки

Таблица 2.7

Условия задач

№ задачи	D , мм	h , мм	B , мм	P_y , Н	P_z , Н	Угол призмы, °	Обрабатываемый материал
2.3.1	160	5	8	166	416	90	Сталь 5
2.3.2	150	10	10	312	780	90	Сталь 5
2.3.3	140	10	12	320	800	120	Сталь 5
2.3.4	120	10	12	320	800	120	Сталь 5
2.3.5	100	10	10	312	780	120	Сталь 5
2.3.6	150	5	12	176	441	90	Сталь 45
2.3.7	140	5	12	176	441	90	Сталь 45
2.3.8	120	10	10	312	780	90	Сталь 45
2.3.9	100	10	8	302	756	120	Сталь 45
2.3.10	80	10	8	302	756	120	Сталь 45
2.3.11	120	8	12	253	633	90	СЧ-18
2.3.12	100	10	10	296	739	90	СЧ-18
2.3.13	90	8	8	236	591	120	СЧ-18
2.3.14	80	10	8	285	711	120	СЧ-18
2.3.15	70	8	8	236	591	120	СЧ-18

Задача 7. Расчет сил закрепления заготовки в призме при фрезеровании лыски концевой фрезой.

Составить расчётные схемы и определить силу закрепления заготовки в призме при фрезеровании лыски концевой фрезой. Схема обработки приведена на рис. 2.42.

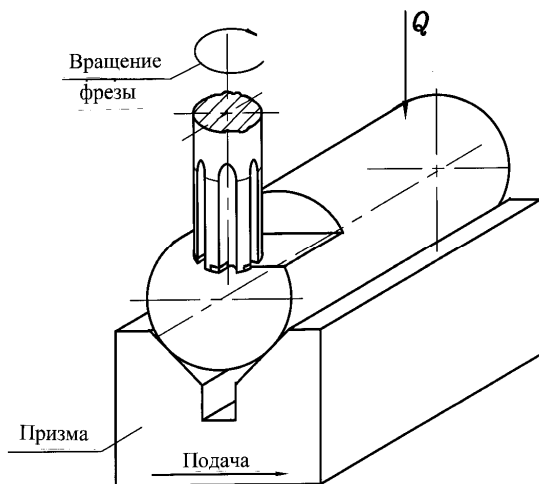


Рис. 2.42. Схема обработки

Размеры заготовки, силы резания и угол призмы представлены на рис. 2.43 и в табл. 2.8.

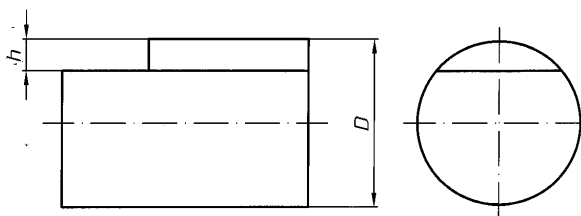


Рис. 2.43. Обозначения размеров заготовки

Задача 8. Расчет сил закрепления заготовки прихватами при фрезеровании горизонтальной плоскости.

Составить расчётные схемы и определить силу закрепления заготовки прихватами при фрезеровании горизонтальной плоскости цилиндрической фрезой. Схема обработки приведена на рис. 2.44.

Условия задач

№ задачи	D , мм	h , мм	B , мм	P_y , Н	P_z , Н	Угол призмы, °	Обрабатываемый материал
2.4.1	200	15	15	34	84	90	Сталь 10
2.4.2	18	15	15	37	92	90	Сталь 10
2.4.3	160	15	15	61	153	90	Сталь 10
2.4.4	140	15	15	69	171	120	Сталь 10
2.4.5	140	15	15	69	171	90	Сталь 10
2.4.6	120	15	10	52	130	120	Сталь 40X
2.4.7	100	15	10	61	153	90	Сталь 40X
2.4.8	100	15	10	61	153	120	Сталь 40X
2.4.9	80	10	10	52	130	90	Сталь 40X
2.4.10	80	10	10	52	130	120	Сталь 40X
2.4.11	120	10	15	101	253	90	СЧ-18
2.4.12	110	10	15	109	273	90	СЧ-18
2.4.13	100	10	20	143	358	120	СЧ-18
2.4.14	100	15	10	112	280	90	СЧ-18
2.4.15	90	15	10	122	306	120	СЧ-18

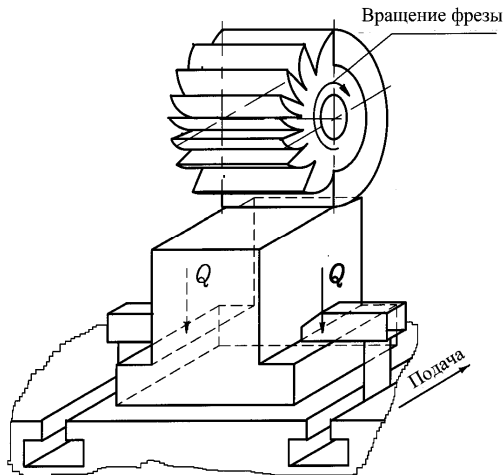


Рис. 2.44. Схема обработки

Размеры заготовки и силы резания представлены на рис. 2.45 и в табл. 2.9.

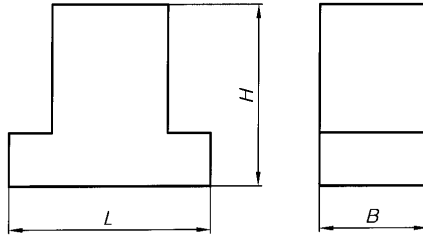


Рис. 2.45. Обозначения размеров заготовки

Таблица 2.9

Условия задач

№ задачи	L , мм	B , мм	H , мм	Глубина резания, мм	P_y , Н	P_z , Н	Обрабатываемый материал
2.5.1	200	200	200	3	3000	7520	Сталь Ст. 3
2.5.2	200	200	180	10	2820	7200	Сталь Ст. 3
2.5.3	200	180	200	15	2820	7520	Сталь Ст. 3
2.5.4	200	180	180	2	2820	7200	Сталь Ст. 3
2.5.5	180	180	180	15	2820	7200	Сталь Ст. 3
2.5.6	180	200	160	2	2780	6900	Сталь 45
2.5.7	180	180	160	15	2780	6900	Сталь 45
2.5.8	180	180	150	10	2600	6500	Сталь 45
2.5.9	180	200	140	3	6500	6300	Сталь 45
2.5.10	180	180	130	10	2440	6100	Сталь 45
2.5.11	160	160	150	2	2120	5300	СЧ-18
2.5.12	160	160	140	15	2100	5200	СЧ-18
2.5.13	160	150	140	3	2100	5200	СЧ-18
2.5.14	160	150	120	10	1910	4800	СЧ-18
2.5.15	160	140	120	15	1910	4800	СЧ-18

Задача 9. Расчет сил закрепления заготовки прихватами при фрезеровании вертикальной плоскости.

Составить расчётные схемы и определить силу закрепления заготовки прихватами при фрезеровании вертикальной плоскости цилиндрической фрезой. Схема обработки приведена на рис. 2.46.

Размеры заготовки, силы и глубина резания представлены на рис. 2.47 и в табл. 2.10.

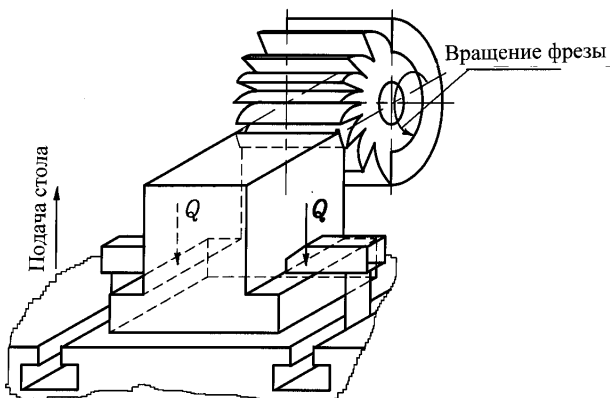


Рис. 2.45. Схема обработки

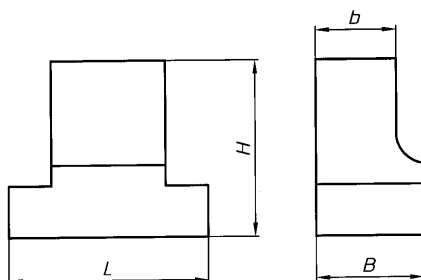


Рис. 2.46. Обозначения размеров заготовки

Задача 10. Расчет сил закрепления заготовки в тисках при фрезеровании паза параллельного губкам.

Составить расчётные схемы и определить силу закрепления заготовки в тисках при фрезеровании паза, расположенного параллельно губкам тисков. Схема обработки приведена на рис. 2.48.

Условия задач

№ задачи	L , мм	H , мм	B , мм	b , мм	P_y , Н	P_z , Н	Обрабатываемый материал
2.6.1	200	200	200	190	2400	6700	Сталь Ст. 3
2.6.2	200	200	180	170	2280	6300	Сталь Ст. 3
2.6.3	200	180	200	185	2600	6500	Сталь Ст. 3
2.6.4	200	180	180	165	2480	6200	Сталь Ст. 3
2.6.5	180	180	180	170	2580	6300	Сталь Ст. 3
2.6.6	180	200	180	175	2720	6800	Сталь 45
2.6.7	180	170	160	150	2440	6100	Сталь 45
2.6.8	180	170	150	140	2320	5800	Сталь 45
2.6.9	180	160	170	165	2480	6200	Сталь 45
2.6.10	180	150	160	150	2440	6100	Сталь 45
2.6.11	160	160	150	145	2080	5200	СЧ-18
2.6.12	160	140	160	145	2080	5200	СЧ-18
2.6.13	160	140	150	140	2000	5000	СЧ-18
2.6.14	160	120	150	145	2080	5200	СЧ-18
2.6.15	160	120	140	130	1920	4800	СЧ-18

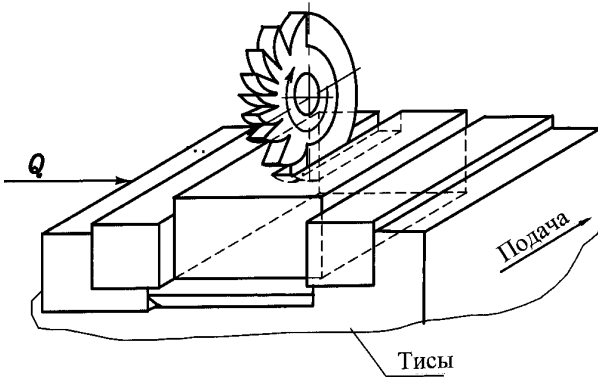


Рис. 2.48. Схема обработки

Размеры заготовки, высота губок тисов, силы и глубина резания представлены на рис. 2.49 и в табл. 2.11.

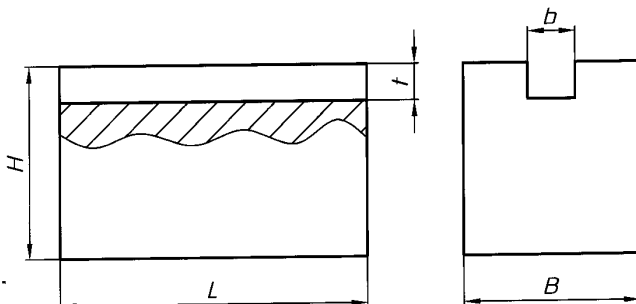


Рис. 2.49. Обозначения размеров заготовки

Таблица 2.11

Условия задач

№ задачи	H , мм	L , мм	t , мм	B , мм	b , мм	P_y , Н	P_z , Н	Высота губок, мм	Обрабатываемый материал
2.7.1	200	200	10	100	10	1200	3000	50	Сталь Ст. 3
2.7.2	180	200	10	80	8	960	2400	50	Сталь Ст. 3
2.7.3	180	180	12	80	10	1404	3510	50	Сталь Ст. 3
2.7.4	170	180	10	80	8	960	2400	50	Сталь Ст. 3
2.7.5	160	180	12	80	10	1404	3510	50	Сталь Ст. 3
2.7.6	50	150	5	60	12	793	1983	50	Сталь 45
2.7.7	70	160	10	60	10	1200	3000	50	Сталь 45
2.7.8	80	160	10	60	12	1440	3600	50	Сталь 45
2.7.9	90	160	10	60	12	1440	3600	50	Сталь 45
2.7.10	100	180	10	60	10	1200	3000	50	Сталь 45
2.7.11	120	200	12	70	12	1071	2678	60	СЧ-18
2.7.12	140	180	12	70	10	893	2232	60	СЧ-18
2.7.13	100	200	15	70	10	1802	2703	60	СЧ-18
2.7.14	80	200	15	70	12	1298	3245	60	СЧ-18
2.7.15	60	200	15	70	12	1298	3245	60	СЧ-18

Задача 11. Расчет сил закрепления заготовки в тисках при фрезеровании паза перпендикулярного губкам.

Составить расчётные схемы и определить требуемую силу закрепления заготовки в тисках при фрезеровании паза, расположенного перпендикулярно к губкам тисов. Схема обработки приведена на рис. 2.50.

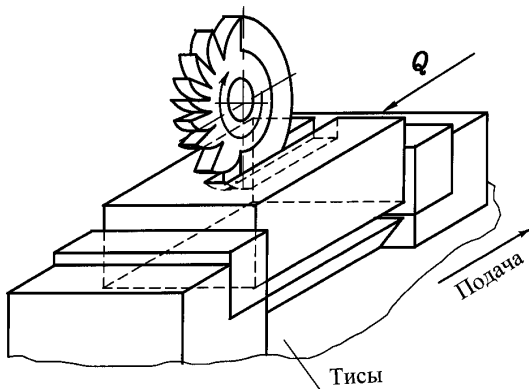


Рис. 2.50. Схема обработки

Размеры заготовки, высота губок, силы и глубина резания представлены на рис. 2.51 и в табл. 2.12.

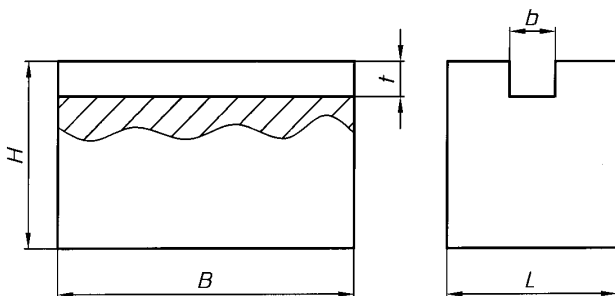


Рис. 2.51. Обозначения размеров заготовки

Задача 12. Расчет сил закрепления заготовки прихватами при фрезеровании контура концевой фрезой.

Составить расчётные схемы и определить силу закрепления заготовки прихватами при фрезеровании контура концевой фрезой. Схема обработки приведена на рис. 2.52.

Таблица 2.12

Условия задач

№ задачи	H , мм	L , мм	t , мм	B , мм	b , мм	P_y , Н	P_z , Н	Высота губок, мм	Обрабатываемый материал
2.8.1	200	200	10	100	10	1200	3000	50	Сталь Ст. 3
2.8.2	180	200	10	80	8	960	2400	50	Сталь Ст. 3
2.8.3	180	180	12	80	10	1404	3510	50	Сталь Ст. 3
2.8.4	170	180	10	100	8	960	2400	50	Сталь Ст. 3
2.8.5	160	200	12	110	10	1404	3510	50	Сталь Ст. 3
2.8.6	150	200	10	120	12	1430	3600	50	Сталь 45
2.8.7	140	180	12	110	10	1404	3510	50	Сталь 45
2.8.8	130	200	10	100	8	960	2400	50	Сталь 45
2.8.9	120	180	8	90	10	986	2500	50	Сталь 45
2.8.10	100	170	10	100	12	1430	3600	50	Сталь 45
2.8.11	200	200	15	120	12	1174	3000	60	СЧ-18
2.8.12	180	200	12	110	10	813	2032	60	СЧ-18
2.8.13	170	180	10	100	12	839	2700	60	СЧ-18
2.8.14	160	180	8	100	10	581	1453	60	СЧ-18
2.8.15	150	170	10	90	12	839	2700	60	СЧ-18

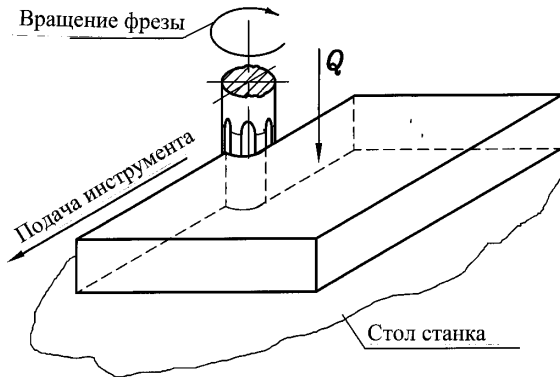


Рис. 2.52. Схема обработки

Условия задач представлены в табл. 2.13.

Условия задач

№ задачи	$P_{\text{из}}$, Н	$P_{\text{сз}}$, Н	Припуск, мм	Обрабатываемый материал
2.9.1	111	277	4	Сталь Ст. 5
2.9.2	111	277	4	Сталь Ст. 5
2.9.3	111	277	4	Сталь Ст. 5
2.9.4	134	335	5	Сталь Ст. 5
2.9.5	134	335	5	Сталь Ст. 5
2.9.6	134	335	5	Сталь 40Х
2.9.7	155	388	6	Сталь 40Х
2.9.8	155	388	6	Сталь 40Х
2.9.9	155	388	6	Сталь 40Х
2.9.10	85	214	3	Сталь 40Х
2.9.11	157	392	3	СЧ-18
2.9.12	157	392	3	СЧ-18
2.9.13	111	276	2	СЧ-18
2.9.14	111	276	2	СЧ-18
2.9.15	111	276	2	СЧ-18

2.5.3. Расчет сил закрепления заготовки при обработке отверстий

Задача 13. Расчет сил закрепления заготовки при расточке отверстия.

Составить расчётные схемы и определить требуемую силу закрепления заготовки при расточке отверстия. Схема обработки приведена на рис. 2.53.

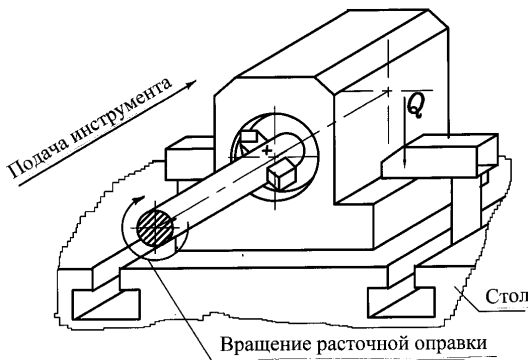


Рис. 2.53. Схема обработки

Размеры заготовки, место приложения сил закрепления и значение сил резания приведены на рис. 2.54 и в табл. 2.14.

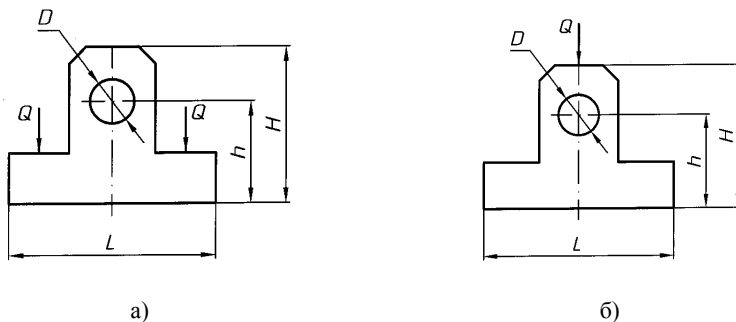


Рис. 2.54. Обозначения размеров заготовки

Таблица 2.14

Условия задач

№ задачи	Вариант места приложения сил закрепления	L , мм	H , мм	h , мм	D , мм	P_x , Н	P_y , Н	P_z , Н	Обрабатываемый материал
3.1.1	1	100	100	40	35	280	470	1400	СЧ-18
3.1.2	2	100	100	40	35	280	470	1400	СЧ-18
3.1.3	1	120	150	80	50	280	470	1400	СЧ-18
3.1.4	2	120	150	80	50	280	470	1400	СЧ-18
3.1.5	1	150	150	90	60	280	470	1400	СЧ-18
3.1.6	2	150	150	90	60	280	470	1400	СЧ-18
3.1.7	1	160	100	40	40	320	560	1700	Сталь 45
3.1.8	2	160	100	40	40	320	560	1700	Сталь 45
3.1.9	1	180	150	80	60	320	560	1700	Сталь 45
3.1.10	2	180	150	80	60	320	560	1700	Сталь 45
3.1.11	1	200	160	90	70	320	560	1700	Сталь 45
3.1.12	2	200	160	90	70	320	560	1700	Сталь 45
3.1.13	1	210	160	90	70	305	520	1600	Сталь Ст. 3
3.1.14	2	210	160	90	70	305	520	1600	Сталь Ст. 3
3.1.15	1	210	200	100	70	305	520	1600	Сталь Ст. 3

Задача 14. Расчет сил закрепления заготовки прихватом в центре при сверлении отверстия.

Составить расчётные схемы и определить требуемую силу закрепления заготовки прихватом в центре при сверлении отверстия. Схема обработки приведена на рис. 2.55.

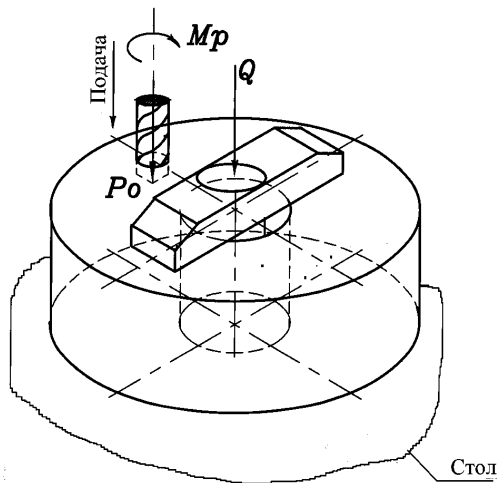


Рис. 2.55. Схема обработки

Размеры заготовки, обрабатываемого отверстия и значение сил резания приведены на рис. 2.56 и в табл. 2.15.

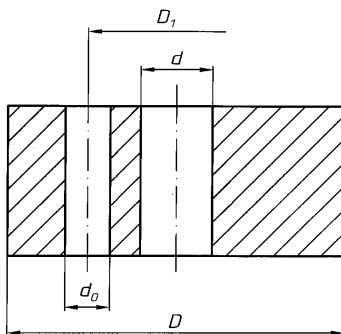


Рис. 2.56. Обозначения размеров заготовки и обрабатываемого отверстия

Условия задач

№ задачи	D , мм	d , мм	D_1 , мм	d_0 , мм	P_0 , Н	M_p , Н·м	Обрабатываемый материал
3.2.1	250	150	175	12	310	32	Сталь Ст. 3
3.2.2	200	150	175	20	480	65	Сталь Ст. 3
3.2.3	200	100	150	25	650	78	Сталь Ст. 3
3.2.4	180	100	140	30	870	105	Сталь Ст. 3
3.2.5	200	20	150	25	650	78	Сталь Ст. 3
3.2.6	220	20	170	30	870	110	Сталь 40Х
3.2.7	250	50	100	25	670	78	Сталь 40Х
3.2.8	280	60	180	30	870	110	Сталь 40Х
3.2.9	300	80	200	25	670	78	Сталь 40Х
3.2.10	280	180	230	30	720	96	Сталь 40Х
3.2.11	250	100	200	25	700	91	СЧ-18
3.2.12	180	30	150	20	420	48	СЧ-18
3.2.13	150	50	100	30	720	96	СЧ-18
3.2.14	100	20	60	20	420	49	СЧ-18
3.2.15	80	20	50	20	420	49	СЧ-18

Задача 15. Расчет сил закрепления заготовки прихватами при сверлении отверстия параллельного основанию.

Составить расчётные схемы и определить силу закрепления заготовки прихватами при сверлении отверстия параллельного основанию. Схема обработки приведена на рис. 2.57.

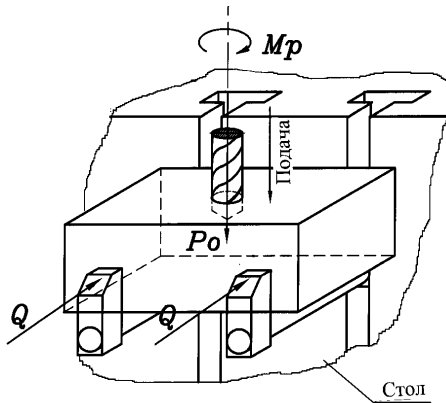


Рис. 2.57. Схема обработки

Размеры заготовки, обрабатываемого отверстия и значение сил резания приведены на рис. 2.58 и в табл. 2.16.

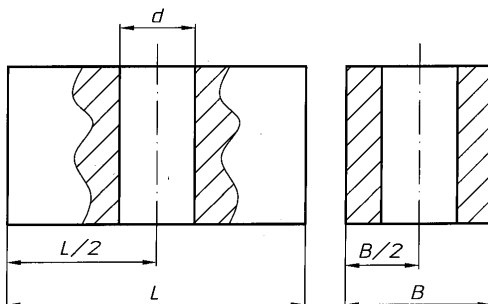


Рис. 2.58. Обозначения размеров заготовки и обрабатываемого отверстия

Таблица 2.16

Условия задач

№ задачи	L , мм	B , мм	d , мм	P_0 , Н	M_p , Н·м	Расстояние между прихватами, мм	Обрабатываемый материал
3.3.1	250	100	18	430	53	200	Сталь Ст. 5
3.3.2	240	60	20	480	65	100	Сталь Ст. 5
3.3.3	230	60	25	650	78	50	Сталь Ст. 5
3.3.4	200	50	25	650	78	0	Сталь Ст. 5
3.3.5	200	50	30	870	105	100	Сталь Ст. 5
3.3.6	250	80	15	400	50	150	Сталь 40Х
3.3.7	240	70	18	450	55	150	Сталь 40Х
3.3.8	230	60	20	420	57	120	Сталь 40Х
3.3.9	220	50	22	480	68	140	Сталь 40Х
3.3.10	210	50	22	480	68	150	Сталь 40Х
3.3.11	200	60	25	610	59	180	СЧ-18
3.3.12	210	70	22	450	52	160	СЧ-18
3.3.13	220	80	20	420	48	170	СЧ-18
3.3.14	230	50	18	400	45	200	СЧ-18
3.3.15	250	60	16	400	42	210	СЧ-18

Задача 16. Расчет сил закрепления заготовки в тисках при сверлении отверстия.

Составить расчётные схемы и определить силу закрепления заготовки в тисках при сверлении отверстия. Схема обработки приведена на рис. 2.59.

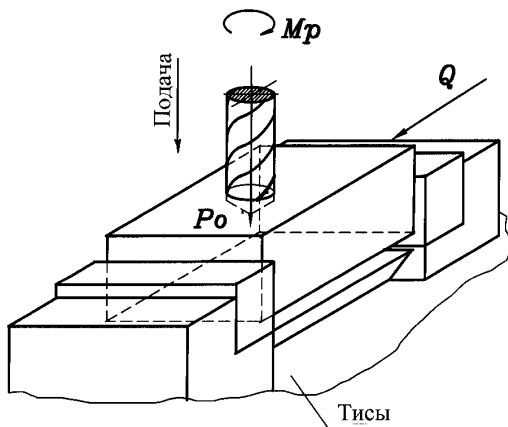


Рис. 2.59. Схема обработки

Размеры заготовки, обрабатываемого отверстия и значение сил резания приведены на рис. 2.60 и в табл. 2.17.

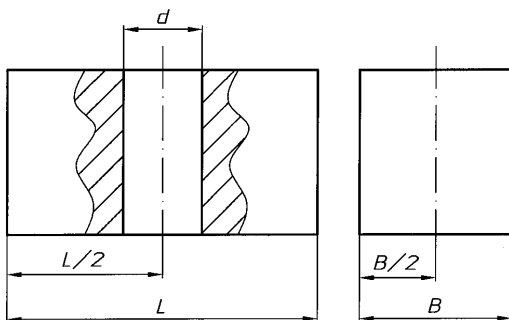


Рис. 2.60. Обозначения размеров заготовки и обрабатываемого отверстия

Условия задач

№ задачи	L , мм	B , мм	d , мм	P_0 , Н	M_p , Н·м	Обрабатываемый материал
3.4.1	250	100	18	430	53	Сталь Ст. 3
3.4.2	240	60	20	480	65	Сталь Ст. 3
3.4.3	230	60	25	650	78	Сталь Ст. 3
3.4.4	220	50	25	650	78	Сталь Ст. 3
3.4.5	210	50	30	870	105	Сталь Ст. 3
3.4.6	250	80	30	900	115	Сталь 45
3.4.7	240	80	15	400	50	Сталь 45
3.4.8	230	70	15	400	50	Сталь 45
3.4.9	220	70	18	450	55	Сталь 45
3.4.10	210	60	18	450	55	Сталь 45
3.4.11	200	60	20	420	48	СЧ-18
3.4.12	210	100	20	420	48	СЧ-18
3.4.13	220	100	22	450	52	СЧ-18
3.4.14	230	90	22	450	52	СЧ-18
3.4.15	250	90	24	600	59	СЧ-18

Задача 17. Расчет сил закрепления заготовки прихватами при сверлении отверстия перпендикулярного основанию.

Составить расчётные схемы и определить силу закрепления заготовки прихватами при сверлении отверстия перпендикулярного основанию. Схема обработки приведена на рис. 2.61.

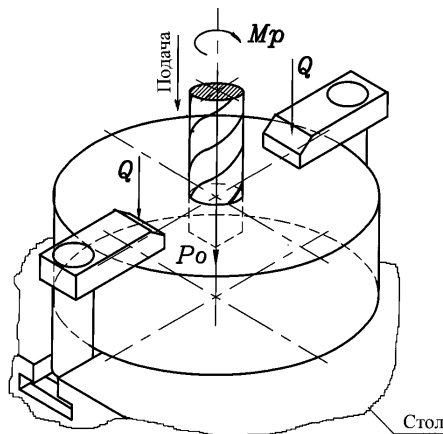


Рис. 2.61. Схема обработки

Размеры заготовки, обрабатываемого отверстия и значение сил резания приведены на рис. 2.62 и в табл. 2.18.

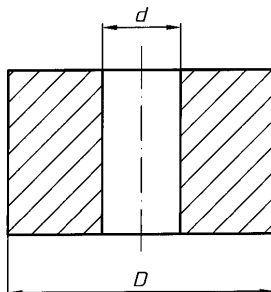


Рис. 2.62. Обозначения размеров заготовки и обрабатываемого отверстия

Таблица 2.18

Условия задач

№ задачи	D , мм	d , мм	P_0 , Н	M_p , Н·м	Обрабатываемый материал
3.5.1	250	35	940	121	Сталь Ст. 5
3.5.2	240	35	940	121	Сталь Ст. 5
3.5.3	230	30	870	105	Сталь Ст. 5
3.5.4	220	30	870	105	Сталь Ст. 5
3.5.5	210	28	750	98	Сталь Ст. 5
3.5.6	200	28	750	98	Сталь 40Х
3.5.7	180	25	650	78	Сталь 40Х
3.5.8	170	25	650	78	Сталь 40Х
3.5.9	160	22	600	72	Сталь 40Х
3.5.10	150	22	600	72	Сталь 40Х
3.5.11	180	20	480	64	СЧ-18
3.5.12	200	20	480	64	СЧ-18
3.5.13	220	18	430	55	СЧ-18
3.5.14	240	18	430	55	СЧ-18
3.5.15	250	16	400	51	СЧ-18

Глава 3

ПОГРЕШНОСТЬ УСТАНОВКИ ЗАГОТОВОК В СТАНОЧНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЯХ

3.1. Точность и погрешность при механической обработке. Общие понятия и определения

Требуемая точность изготовления машины постоянно возрастает с развитием уровня техники. Первые научные работы по точности механообработки, можно считать, появились совсем недавно – 50...60 лет назад [25, 26]. Современные работы [11, 27] развивают положения корифеев машиностроения. Но необходимо отметить, что литературы по расчету точности приспособлений, к сожалению, минимум. Пожалуй, к первым и практически единственным, следует отнести [28, 29], которые носят научный характер, но не учебный. Таким представляется автору состояние вопроса на настоящее время.

Итак, **точность** – одна из характеристик качества изделия.

В машиностроении под точностью детали (изделия или машины) понимают степень ее приближения к геометрически правильному ее прототипу [26]. Термин **погрешность** используют для количественной оценки **точности**, так как погрешность - разность между приближенным значением некоторой величины и ее точным значением.

Мерами точности служат, с одной стороны, устанавливаемые допустимые отклонения, а с другой – измеренные, т.е. познанные с известной степенью приближения, действительные отклонения реальной детали [26]. Ниже приводится краткое толкование указанных терминов в соответствии с принятой системой государственных стандартов [24].

В соответствии с ГОСТ 25346-89 и 24642-81 допустимые и действительные отклонения определяются:

- допуском размеров (отклонения размеров от номинальных значений);
- отклонением и допуском формы (овальность, конусность, прямолинейность);
- отклонением и допуском расположения поверхностей (параллельность, перпендикулярность, концентричность);
- микрометрические характеристики поверхностного слоя (ГОСТ 25142-82).

Источников причин погрешностей, возникающих при механической обработке деталей машин, более двух десятков, их выявление и оценка представляет значительную трудность не только для специалистов, но в первую очередь, для студентов, обучающихся по машиностроительному профилю[31]. В конечном счете, задачей специалистов по металлообработке является прогнозирование суммарных погрешностей, возникающих на различных операциях обработки и сравнение их значений с допуском размера, формы или отклонения поверхностей. Для определения ожидаемой (расчетной) суммарной погрешности необходимо определить составляющие суммарной погрешности.

Для решения подобных задач, прежде всего, следует рассмотреть классификацию погрешностей, возникающих при выполнении операций механической обработки.

3.2. Погрешности механической обработки. Классификация погрешностей

В технической литературе, в том числе учебной, вопросам классификации погрешностей уделено достаточное внимание. Наиболее удачной на настоящее время является классификация погрешностей, представленная Махаринским Е.И. и Гороховым В.А. в работе [30]. Предлагаемая классификация отражает, в основном, два аспекта – характер проявления возникающих погрешностей (метрологический аспект) и источники (причины) составляющих суммарную погрешность механической обработки, в том числе, связанные с использованием станочных приспособлений.

На рис. 3.1 приведена классификация погрешностей по их проявлению в технической системе.

Источником систематических погрешностей является определенная причина или процесс, знание которых позволяет прогнозировать уровень погрешности в любой момент времени протекания технологического процесса.

Случайные погрешности возникают в результате совокупного действия большого количества технологических факторов. Причинная связь между случайной погрешностью и вызывающими ее факторами иногда бывает известной (явной), а иногда – не вполне выясненной (не явной).

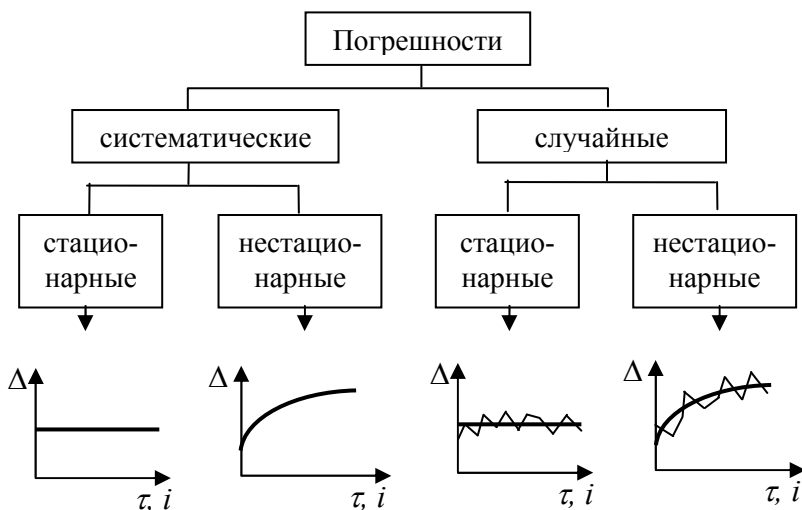


Рис. 3.1. Классификация погрешностей по проявлению
(Δ – погрешность; τ – время; i – номер заготовки)

В зависимости от характера влияния времени τ на протекание технологического процесса, погрешности проявляются как стационарные или нестационарные.

Источники погрешностей формируются в технологической системе [25]. Технологическая система включает совокупность следующих элементов – станок, станочное приспособление, режущий инструмент, обрабатываемая заготовка. В результате взаимодействия указанных элементов технологической системы возника-

ют различные погрешности, рис. 3.2. Погрешности, порождаемые элементами станка, – $\Delta_{СТ}$; $\Delta_{И}$ – погрешности, зависящие от инструмента, $\Delta_{П}$ – погрешности приспособлений, $\Delta_{З}$ – погрешности, связываемые с обрабатываемыми заготовками.

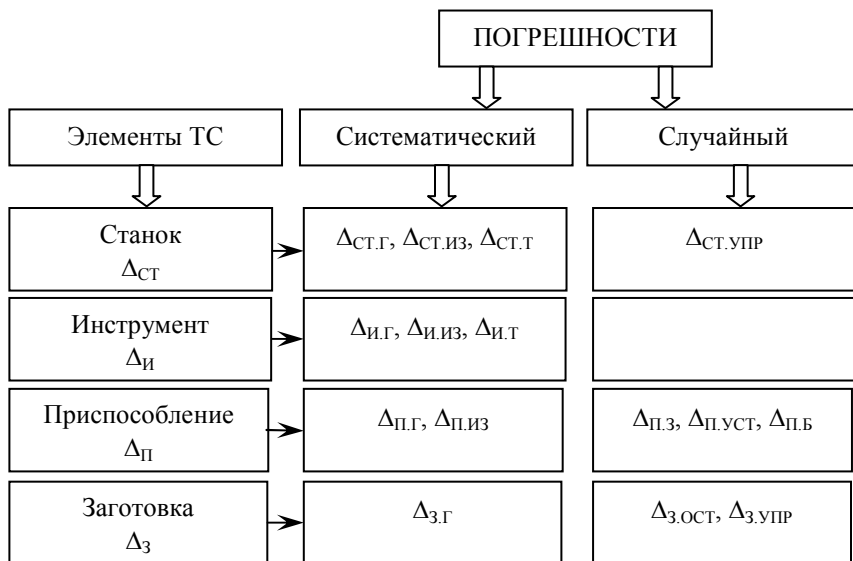


Рис. 3.2. Источники элементарных погрешностей, возникающих в технологической системе:

- $\Delta_{СТ.Г}$ – геометрические погрешности станка;
- $\Delta_{СТ.ИЗ}$ – погрешности износа узлов станка;
- $\Delta_{СТ.Т}$ – погрешности от тепловых деформация узлов станка;
- $\Delta_{СТ.УПР}$ – погрешности упругих деформаций станка;
- $\Delta_{И.Г}$ – геометрические погрешности инструмента;
- $\Delta_{И.ИЗ}$ – погрешности износа инструмента;
- $\Delta_{И.Т}$ – погрешности тепловых деформаций инструмента;
- $\Delta_{П.Г}$ – геометрические погрешности станочных приспособлений;
- $\Delta_{П.ИЗ}$ – погрешности износа элементов приспособлений;
- $\Delta_{П.З}$ – погрешности закрепления заготовки в приспособлении;
- $\Delta_{П.УСТ}$ – погрешности установки;
- $\Delta_{П.Б}$ – погрешности базирования;
- $\Delta_{З.Г}$ – геометрические погрешности заготовки (неравномерность припуска);
- $\Delta_{З.ОСТ}$ – погрешности заготовки, вызванные остаточными технологическими напряжениями;
- $\Delta_{З.УПР}$ – погрешности упругих деформаций заготовки (при зажиме)

Как уже отмечалось, технологический процесс механической обработки осуществляется во времени. Кроме того, процесс резания по характеру является динамическим – силы резания меняют свою величину и направление, технологическая система представляет собой упругую динамическую систему (УДС) [25]. Поэтому многие элементарные погрешности не остаются постоянными во времени и являются нестационарными.

Кроме того, в реальных процессах практически все виды погрешностей реализуются одновременно. Результатом их проявления является суммарная погрешность обработки. Основная цель данной классификации заключается в том, чтобы обеспечить студентам лучшее понимание механизмов возникновения и проявления элементарных погрешностей, которые, в конечном счете, формируют суммарную погрешность механической обработки.

Многообразие факторов, являющихся источниками погрешностей механической обработки вызывает значительные трудности в определении суммарной погрешности обработки.

Способы определения характеристик систематических, случайных погрешностей, а также суммарной погрешности обработки подробно излагают в курсе «основы технологии машиностроения» [26], [30].

В последующих разделах данного пособия более детально рассматриваются погрешности с использованием в технологических системах станочных приспособлений.

3.3. Виды размеров, получаемых на технологических операциях

Получаемые в результате технологической операции размеры называются **операционными**. Все операционные размеры заготовки, получаемые на операциях технологического процесса, можно разделить на несколько видов, которые различаются схемами и вариантами обработки [34].

1. Размеры, получаемые мерным инструментом или комплектом инструментов.

Эти размеры получают в основном методом копирования как размеры замкнутых поверхностей. Примером является получение диаметров отверстий при сверлении (рис. 3.3, *а*), обработка концевой, шпоночной или дисковой фрезами (рис. 3.3, *б*), при зенкерова-

нии, развертывании (рис. 3.3, *в*), хонинговании (рис. 3.3, *з*). Получаемый диаметр отверстия детали в основном зависит от диаметра соответствующего инструмента, которым осуществлялась обработка, если не принимать во внимание динамические погрешности, вызываемые биением шпинделя, а также упругую деформацию заготовки. В ряде случаев при развертывании инструмент закрепляют в плавающем патроне в шпинделе, что позволяет не передавать на инструмент динамические нагрузки, вызванные радиальным биением шпинделя, а также отклонением оси вращения шпинделя относительно оси обрабатываемого отверстия. С этой же целью при хонинговании хон закрепляют в шпинделе через карданный или шаровой шарнир. Станок, таким образом, служит лишь приводом движения инструмента.

Настройка инструмента на получение требуемого размера может осуществляться методом полной взаимозаменяемости, когда для получения требуемого диаметра отверстия выбирается соответствующий стандартный инструмент, например сверло или зенкер требуемого диаметра. В сложных инструментах настройка требуемого размера в узком диапазоне может осуществляться методом регулирования, например раздвиганием брусков в хонинговальной головке.

На рис. 3.3, *д* представлена схема обработки комплекта поверхностей, при которой размер b получается в результате работы комплекта инструментов.

2. Размеры заготовки, получаемые формообразующим движением.

Размеры получают с использованием формообразующего движения инструмента или заготовки. Примером является получение размера при растачивании отверстия в заготовке 1 (рис. 3.4) борштангой 2 . Расточная борштанга 2 закреплена в шпинделе 3 , имеющем конусное отверстие. Размер R получается перемещением резца 4 в борштанге микрометрическим винтом при настройке борштанги вне станка.

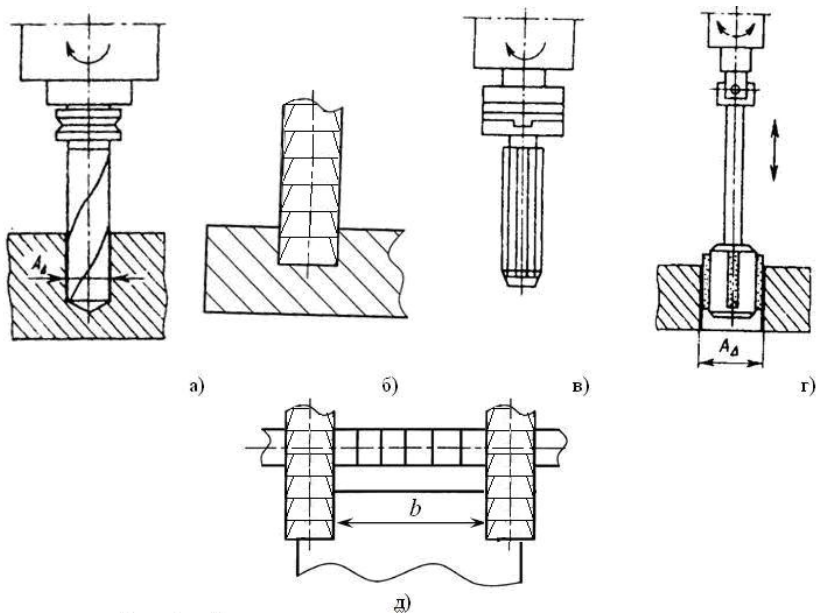


Рис. 3.3. Схема получения размеров заготовки мерным инструментом:
a – сверлом; *б* – концевой фрезой; *в* – разверткой;
г – хонинговальной головкой; *д* – комплектом фрез

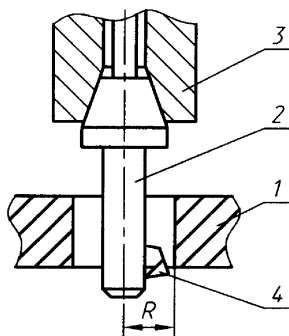


Рис. 3.4. Схема получения диаметра отверстия растачиванием

3. Размеры заготовки, получаемые от отработанных поверхностей до технологических баз.

При обработке на станках получают размеры, которые определяются расстоянием от режущих кромок инструментов или осей

до технологических баз заготовки. Примеры таких размеров показаны на рис. 3.5. Рассмотрим как обеспечивается заданный диаметр при обработке заготовки на токарном станке (рис. 3.5, а).

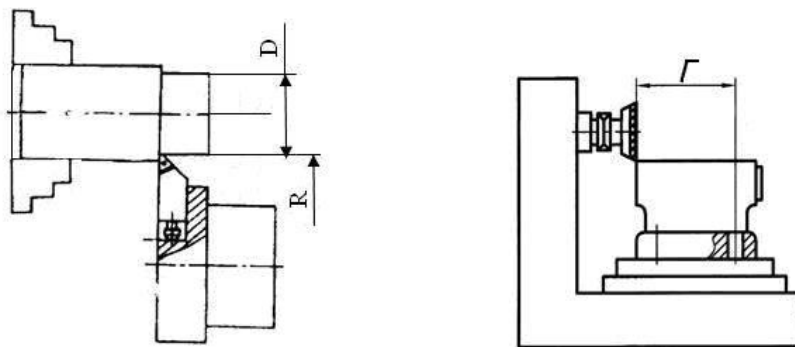


Рис. 3.5. Размеры заготовок, получаемые от обработанных поверхностей

Обработанной базой является в данном случае наружная цилиндрическая поверхность заготовки. Хотя технологической базой для данной схемы базирования является ось заготовки, так как в данном случае в самоцентрирующем патроне реализуется схема базирования заготовки по плоскости и элементу симметрии (оси заготовки).

Для обеспечения размера O с требуемым по чертежу допуском необходимо ограничить допуск настроечного размера режущего инструмента на станок, допуск на износ режущего инструмента, допуск тепловой деформации. А для этого необходимо выбрать соответствующие средства.

При обработке заготовок корпусных деталей на станках в числе прочих образуются размеры заготовки от обработанных поверхностей или их осей. На рис. 3.5, б показана операция фрезерования торцевой фрезой плоскости заготовки. В результате операции получают размер Γ обрабатываемой заготовки от режущих кромок инструмента до технологической базы заготовки. Размер Γ должен соответствовать требованиям чертежа.

4. Размеры заготовки, получаемые между поверхностями, обработанными за один установ.

Размер Γ , получаемый между двумя поверхностями, обработанными на станке за один установ заготовки (рис. 3.6), зависит от

двух размеров Γ_1 и Γ_2 . Каждый из них получен от обработанной поверхности до одной и той же технологической базы заготовки, как размер второго вида (см. рис. 3.5, б).

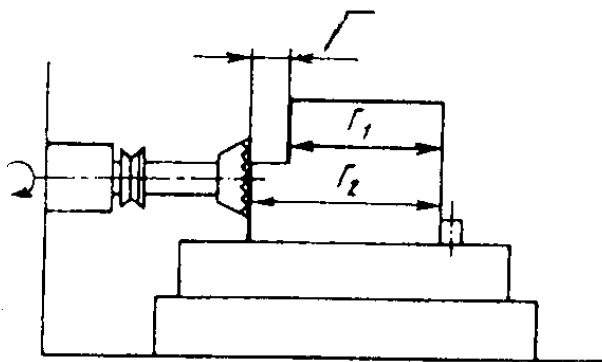


Рис. 3.6. Схема получения размера между поверхностями, обработанными за один установ заготовки и режущего инструмента

5. Размеры заготовки, получаемые от измерительных баз.

Сначала рассмотрим получение размера от измерительной базы заготовки при сверлении отверстий на вертикально-сверлильном станке с ручным движением подачи (рис. 3.7). Если требуется выдержать размер Γ – глубину отверстия, то вначале при касании сверлом верхней плоскости заготовки фиксируют по шкале и лимбу положение шпинделя. Принимая зафиксированное положение шпинделя за начало отсчета размера, отсчитывают по лимбу перемещения шпинделя, равное Γ_2 , после чего шпиндель с инструментом возвращают в исходное положение.

Как видно из схемы на рис. 3.7, на погрешность размера Γ_2 , получаемого от измерительных баз ИБ, не влияют погрешности установки заготовки, установки и настройки режущего инструмента.

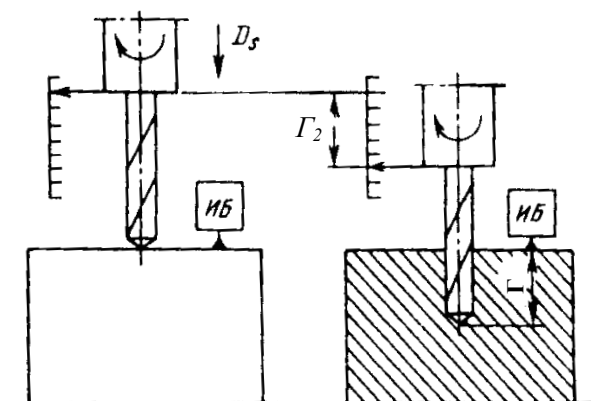


Рис. 3.7. Схема получения размера заготовки от измерительной базы

6. Размеры заготовки, полученные с использованием активного контроля.

Суть этого метода получения размера состоит в том, что операционный размер детали измеряется в процессе его получения и сравнивается с заданным. В размерной цепи технологической системы предусмотрено компенсирующее звено, размер которого автоматически подстраивается так, чтобы получался требуемый размер детали.

Характерным примером может быть автоматическое шлифование на круглошлифовальном станке с активным контролем размеров (рис. 3.8). Шлифовальный круг 1 с помощью серводвигателя СД подается с поперечным движением врезания к заготовке 2, которая шлифуется в центрах. Прибор ИП контактного или бесконтактного типа измеряет текущий диаметр D детали. Информация о размере D поступает в систему управления СУ станком, которая выключает движение подачи и отводит шлифовальный круг от заготовки при достижении заданного диаметра. Точность получаемого размера зависит от точности измерения, точности позиционирования и динамической точности цепи обратной связи. К этому же типу размеров относятся размеры, получаемые методом пробных проходов.

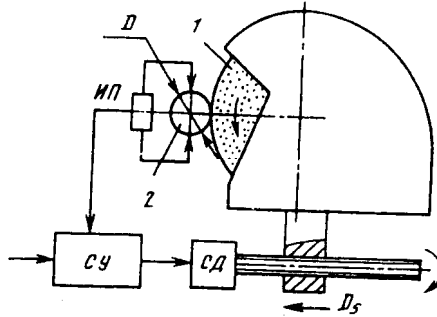


Рис. 3.8. Схема размера с использованием активного контроля
 1 – шлифовальный круг; 2 – заготовка; ИП – измерительный прибор;
 СУ – система управления

7. Прочие неоперационные размеры детали, получаемые в результате обработки.

К прочим размерам, образующимся в результате обработки заготовки, можно отнести размеры от обработанных поверхностей или их осей до поверхностей заготовки, не обрабатываемых за один установ и не являющихся ни технологическими, ни измерительными базами. Такими поверхностями могут быть: поверхности, которые обрабатывались на других операциях технологического процесса; поверхности заготовки, не подлежащие обработке. Например, на рис. 3.9 на операции обработки отверстия диаметром d прочим неоперационным размером является размер l_2 , если операционным является размер l_1 .

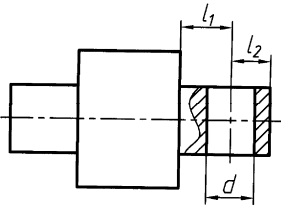


Рис. 3.9. Прочие неоперационные размеры

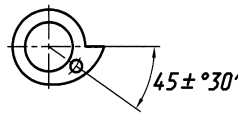


Рис. 3.10. Угловой размер положения отверстия

Кроме того, по виду размеры могут быть как все рассмотренные выше, линейные, так и угловые (рис. 3.10).

На рис. 3.10 представлен пример углового размера положения отверстия относительно элемента профиля кулачка.

Все типы операционных размеров заготовки, получаемые в результате обработки, приведены в табл. 3.1.

Итак, только один вид операционных размеров зависит от конструкции приспособления – размеры, формирующиеся от технологических баз.

3.4. Погрешность установки

Погрешность установки (Δ_y) заготовки в приспособления это единственная комплексная погрешность, определяемая конструкцией приспособления, которая, в свою очередь, зависит от выбранной схемы базирования. Во многих случаях этот вид погрешности по сравнению с остальными является наибольшим.

Погрешность установки зависит от выбранной схемы базирования (Δ_6), сил, действующих на заготовку при ее закреплении, характеристик поверхностного слоя заготовки (Δ_3) и от положения заготовки в приспособлении, которое иногда для краткости называют погрешность приспособления (Δ_n). Погрешности базирования и закрепления всегда являются случайными. Тогда как погрешность приспособления может быть как случайной величиной, так и систематической.

В первом случае погрешность установки определяется как [9]:

$$\Delta_y = \sqrt{\Delta_6^2 + \Delta_3^2 + \Delta_n^2} . \quad (3.1)$$

Погрешность приспособления характеризует при этом группу одинаковых приспособлений, применяемых для данной операции, например, приспособлений-спутников. Или применяется одно приспособление, но достаточно часто снимаемое со станка и устанавливаемое обратно на станок без дополнительной выверки его положения. В противном случае погрешность установки определяется по формуле

$$\Delta_y = \sqrt{\Delta_6^2 + \Delta_3^2} + \Delta_n . \quad (3.2)$$

3.4.1. Погрешность базирования

Погрешность базирования – погрешность, определяющая отклонение достигнутого положения заготовки в приспособлении от требуемого.

Практическую значимость имеет методика ее определения, согласно которой Δ_b определяется как расстояние между предельными положениями проекций измерительной базы на направление выполняемого размера.

На рис. 3.11 представлен пример базирования заготовки по трем плоским поверхностям. Причем на правильно оформленном операционном эскизе будут даны размеры A или B , D или E , в то же время размеры C и L будут отсутствовать, так как на данной операции не выполняются.

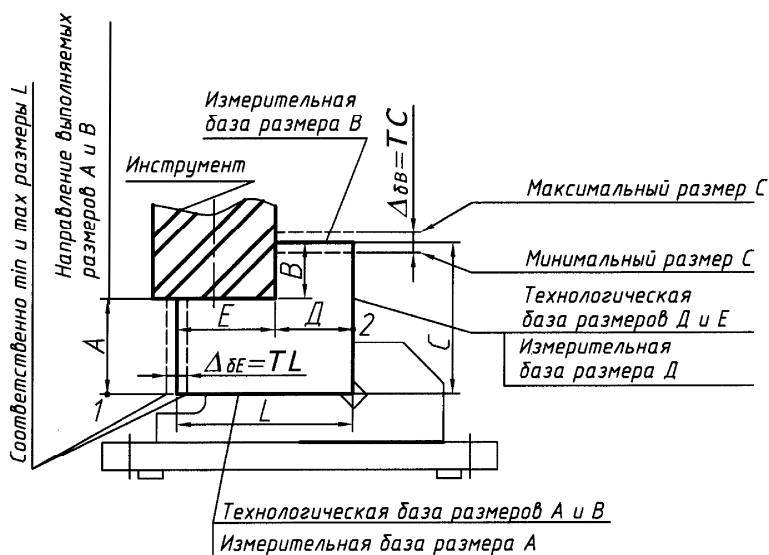


Рис. 3.11. Погрешность базирования для призматической заготовки

Согласно методике определения на рис. 3.11 выделены направления выполняемых размеров – вертикальное для A и B и горизонтальное для C и D . Размеры A и B определяет технологическая база по основанию заготовки, и, соответственно, технологическая база

по боковой поверхности определяет размеры D и E . Причем измерительная база для размера A совпадает с измерительной. Тогда для множества годных заготовок, обрабатываемых на данной операции, их проекция измерительной базы всегда располагается в точке I . Для размера B технологическая и измерительная базы не совпадают. Тогда точки пересечения проекции измерительной базы (в данном случае сама база, а не проекция) с направлением выполняемого размера B будут находиться между наименьшим и наибольшим размерами высоты заготовки, т.е. в пределах допуска размера C .

Тогда $\Delta_{\delta A} = 0$, а $\Delta_{\delta B} = TC$. И соответственно, $\Delta_{\delta D} = 0$ и $\Delta_{\delta E} = TL$.

Следует иметь в виду то, что погрешность базирования не должна быть обезличена, так как размеры выполняются разные и необходима их конкретизация.

Таким образом, для базирования заготовки по трем плоским поверхностям ее погрешность базирования закладывается на предыдущих технологических операциях при выполнении размеров C и L .

Погрешность базирования заготовки в виде диска с отверстием показана на рис. 3.12. Источниками погрешности базирования в этом случае являются для размера A зазор между пальцем и внутренней цилиндрической поверхностью диска. Тогда

$$\Delta_{\delta A} = \Delta_{\max}, \quad (3.3)$$

где Δ_{\max} – максимальный зазор между пальцем и отверстием диска;

$$\Delta_{\max} = d_{0\max} - d_{n\min}, \quad (3.4)$$

где $d_{0\max}$ – максимальный размер отверстия; $d_{n\min}$ – минимальный размер пальца.

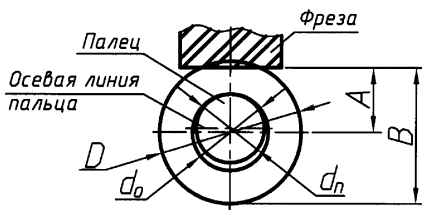


Рис. 3.12. Погрешность базирования для диска с отверстием

Если диск с отверстием устанавливается на разжимной установочный элемент, то погрешность базирования на размер A становится равной нулю, так как ось отверстия – измерительная база размера A , совпадает с осью пальца.

Для размера B кроме зазора на погрешность базирования окажет влияние допуск наружного диаметра диска, причем только его половина, так как верхняя часть диска удаляется при обработке. Кроме этого, внутренняя поверхность отверстия диска и его наружная поверхность могут быть обработаны со смещением осей (рис. 3.13). Обработка без смещения возможна при обработке этих поверхностей с одной установки.

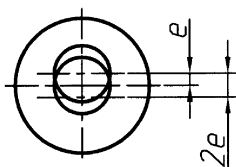


Рис. 3.13. Проявление эксцентриситета в погрешности базирования

Тогда

$$\Delta_{\delta B} = \Delta_{\max} + \frac{TД}{2} + 2e, \quad (3.5)$$

где $TД$ – допуск наружного диаметра заготовки; e – эксцентриситет или расстояние между осями отверстия и наружной цилиндрической поверхности.

Два эксцентриситета образуются, если заготовку повернуть на половину оборота.

В общем виде

$$\Delta_{\delta B} = d_{0\max} - d_{n\min} + \frac{TД}{2} + 2e. \quad (3.6)$$

Если же палец или оправка разжимные зазор Δ становится равным нулю, и, следовательно погрешность базирования по размеру A равна нулю. Для размера B погрешность базирования равна

$$\Delta_{\delta B} = \frac{TД}{2} + 2e. \quad (3.7)$$

Базирование заготовки по наружной цилиндрической поверхности в призме или призмах представлено на рис. 3.14.

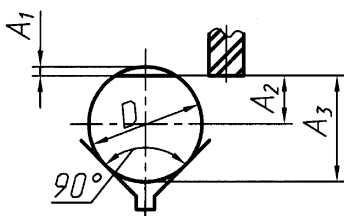


Рис. 3.14. Выполняемые размеры при фрезеровании лыски

Погрешность базирования определяется решением геометрических задач для каждого выполняемого размера. Так, например, если угол призмы составляет 90° , то

$$\Delta_{\delta A_1} \approx 1,21 \cdot TД, \quad (3.8)$$

$$\Delta_{\delta A_2} \approx 0,7 \cdot TД, \quad (3.9)$$

$$\Delta_{\delta A_3} \approx 0,2 \cdot TД. \quad (3.10)$$

На рис. 3.15 рассмотрен пример решения геометрической задачи для размера A_2 .

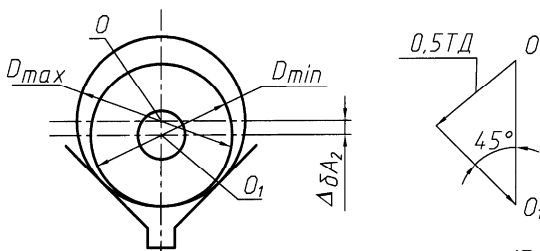


Рис. 3.15. Расчетная схема погрешности базирования для размера A_2

Погрешность базирования для размера A_2 можно свести до нуля, если призму развернуть на 90° или применить две подвижные призмы с общим зажимным винтом с правой и левой резьбой (возможно применение рычажной системы) (рис. 3.16), что более

сложно. Но на фрезерно-центровальных станках для валов применяется именно такая схема.

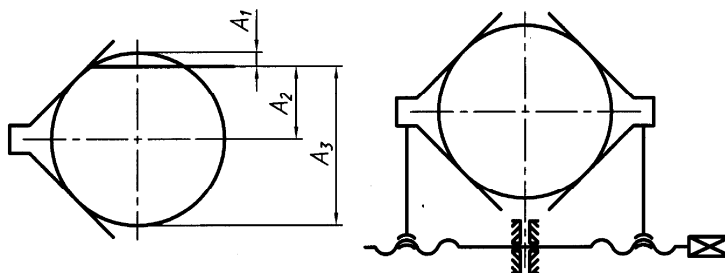


Рис. 3.16. Схема уменьшения погрешности базирования для обработки в призме или призмах

Проявление погрешности базирования заготовки, установленной на два пальца, носит аналогичный характер, как и при базировании на один палец. Только появляются дополнительные виды погрешностей: угловая погрешность и отклонение от симметричности (рис. 3.17).

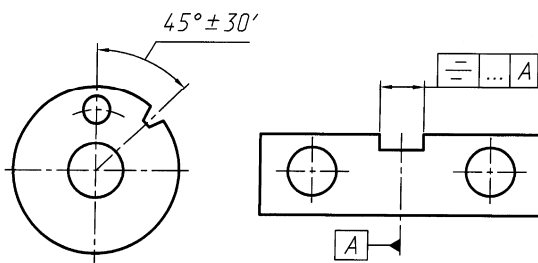


Рис. 3.17. Погрешности базирования при установке заготовки на два пальца

Аналогичным образом формируется погрешность базирования заготовки в двух призмах. На рис. 3.18 показана угловая погрешность базирования заготовки в призмах.

Более общие расчетные формулы для расчета погрешности базирования в призме, при установке заготовки на установочные пальцы и в центрах приведены в прил. 2.

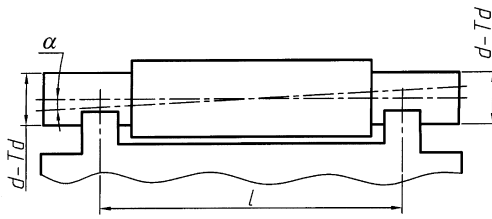


Рис. 3.18. Угловая погрешность базирования заготовки в призмах

3.4.2. Погрешность закрепления

Погрешность закрепления – это разность между наибольшей и наименьшей проекциями смещения измерительной базы на направление выполняемого размера при приложении к заготовке силы закрепления:

$$\Delta_3 = (y_{\max} - y_{\min}) \cdot \cos \alpha, \quad (3.11)$$

где y_{\max} и y_{\min} – максимальное и минимальное смещения проекции измерительной базы на направление выполняемого размера; α – угол между направлением смещения измерительной базы и направлением измерительной базы.

На рис. 3.19 показано смещение измерительной базы под действием силы закрепления Q .

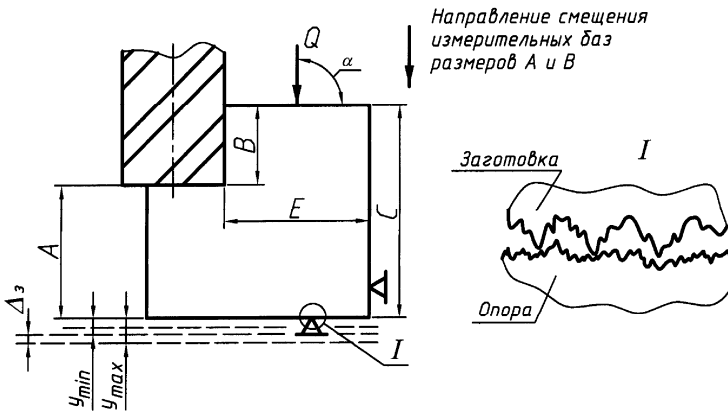


Рис. 3.19. Схема формирования погрешности закрепления.

Источниками смещения заготовки, в первую очередь, являются контакты заготовки с опорами (рис. 3.19, б). Дополнительно происходит смещение в контактах опоры с промежуточной втулкой, если она есть, в контактах втулки и корпуса. Тогда погрешность закрепления размеров A и $B \neq 0$, а погрешность закрепления размера $E \Delta_{3E}$ равна нулю, так как угол α между направлением смещения измерительной базы и направлением размера E составляет 90° и, следовательно, $\cos 90^\circ = 0$.

Зависимость контактных деформаций для стыков заготовка – приспособления выражается нелинейным законом [11]:

$$y = C \cdot Q^n, \quad (3.12)$$

где Q – сила, приходящаяся на опору ($n < 1$); C – коэффициент, характеризующий вид контакта, материал, шероховатость поверхности и верхний слой заготовки.

Для типовых случаев C и n находят экспериментально. Аналитическое решение контактной задачи затруднительно, так как на поверхностях заготовки имеются микро- и макронеровности, при соприкосновении которых с установочными элементами возникают неправильные и случайно расположенные места контакта. Наличие на этих поверхностях литевой корки или обезуглероженного слоя (у поковок), механические свойства которых отличны от глубинных слоев металла, создает особые условия возникновения контактных деформаций. Величина их обычно меньше глубины поверхностного слоя.

При обработке партии заготовок сила Q колеблется от Q_{\max} до Q_{\min} , а коэффициент C – от C_{\max} до C_{\min} . На рис. 3.20 показан график с двумя предельными кривыми y . При Q_{\max} и Q_{\min} :

$$y_1 = y_{\max} - y_{\min} = C_{\max} \cdot Q_{\max}^n - C_{\min} \cdot Q_{\min}^n, \quad (3.13)$$

что характеризует поле рассеяния перемещений заготовки в результате ее деформации при контакте с опорами приспособления. При распределении величин Q и C по нормальному закону (подтверждается экспериментально) распределение величины y_1 отклоняется от этого закона незначительно.

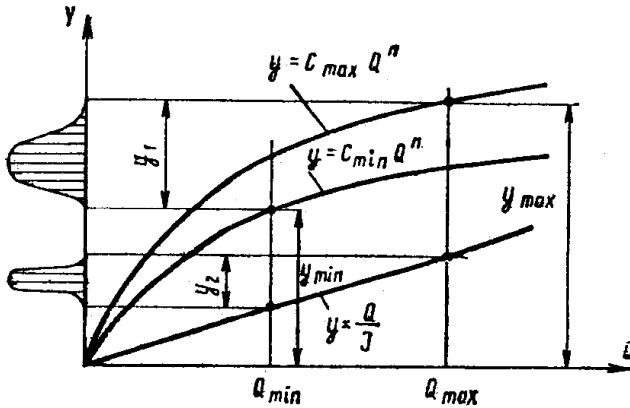


Рис. 3.20. График для определения погрешности закрепления

На рис. 3.20 показано также поле рассеяния положения заготовки y_2 в результате упругих деформаций элементов приспособления, через которые передается сила зажима:

$$y_2 = \frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{J}, \quad (3.14)$$

где J – жесткость системы этих элементов.

Поскольку y_1 и y_2 представляют собой поля рассеяния случайных дисциплин, то, принимая распределение в обоих по нормальному закону, получим их сумму:

$$\Delta_3 = \sqrt{(C_{\max} \cdot C_{\max}^n - C_{\min} \cdot C_{\min}^n)^2 + \frac{(Q_{\max} - Q_{\min})^2}{J^2}} \cos \alpha. \quad (3.15)$$

Обычно $y_1 > y_2$. В этом случае

$$\Delta_3 \approx \left[0,96(C_{\max} \cdot Q_{\max}^n - C_{\min} \cdot Q_{\min}^n) + 0,4 \cdot \frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{J} \right] \cos \alpha. \quad (3.16)$$

При $y_1 \geq 4y_2$ (наличие жесткого по конструкции приспособления)

$$\Delta_3 \approx (C_{\max} \cdot Q_{\max}^n - C_{\min} \cdot Q_{\min}^n) \cos \alpha. \quad (3.17)$$

Из приведенных зависимостей следует, что $\Delta_3 = 0$ при постоянной силе закрепления заготовок ($Q = \text{const}$) и одинаковом качестве их базовых поверхностей ($C = \text{const}$), а также при смещении заготовок перпендикулярно к выдерживаемому размеру ($\alpha = 90^\circ$).

Величину Δ_3 уменьшают, стабилизируя силу закрепления (применение пневматических и гидравлических зажимов вместо ручных), повышая жесткость стыка опоры приспособления (базовая поверхность заготовки), улучшая качество базовых поверхностей, а также увеличивая жесткость приспособления в направлении передачи силы закрепления. Погрешность закрепления, как и погрешность базирования, не влияет на точность диаметров и размеров, связывающих обрабатываемые при данном установе поверхности, а также на точность формы обрабатываемых поверхностей.

Конкретные значения коэффициентов C и n приведены в прил. 3.

3.4.3. Погрешность положения заготовки в приспособлении

Погрешность положения заготовки $\Delta_{\text{п}}$, краткая форма погрешность приспособления, определяется погрешностями при изготовлении и сборке его установочных элементов Δ_{yc} , износом последних $\Delta_{\text{и}}$ и ошибками установки приспособления на станке Δ_{c} .

Составляющая Δ_{yc} характеризует неточность положения установочных элементов приспособления. При использовании одного приспособления – это систематическая постоянная погрешность, которую частично или полностью устраняют настройкой станка. При использовании нескольких одинаковых приспособлений (приспособлений-дублеров, приспособлений-спутников) эта величина не компенсируется настройкой станка и полностью входит в состав $\Delta_{\text{п}}$. Технологические возможности изготовления приспособления обеспечивают Δ_{yc} в пределах 0-15 мкм, а для прецизионных приспособлений – 0-10 мкм:

$$\Delta_{\text{п}} = \sqrt{\Delta_{\text{yc}}^2 + \Delta_{\text{и}}^2 + \Delta_{\text{c}}^2}. \quad (3.18)$$

Формирование погрешности изготовления установочных элементов поясняет рис. 3.21. Рассмотрен пример установки заготовки на три постоянные опоры (установочная база). Линейные размеры опоры не требуют обеспечения жесткого допуска [35].

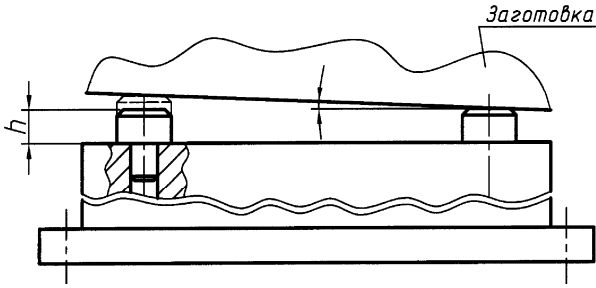


Рис. 3.21. Формирование погрешности изготовления и сборки установочных элементов

Погрешность, вызванная износом установочных элементов, показана на рис. 3.22 на примере цилиндрических постоянных опор и призм.

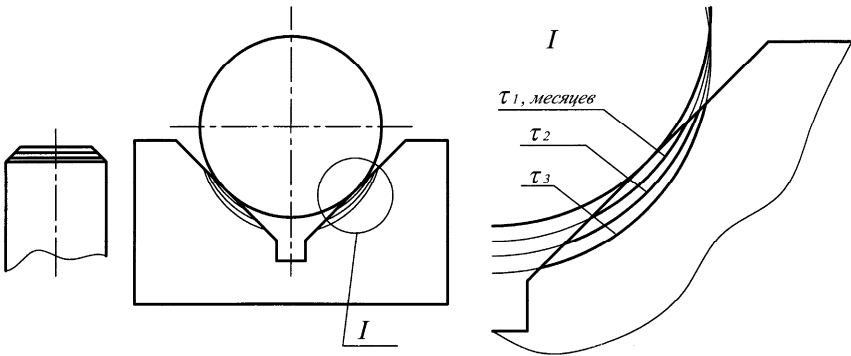


Рис. 3.22. Износ установочных элементов

Предельные значения износа не регламентированы [36], но дают возможность расчета длительности их эксплуатации для обеспечения требуемой погрешности обработки.

Погрешность установки приспособления на станок Δ_c можно пояснить на примере установки машинных тисов на стол фрезерного станка (рис. 3.23).

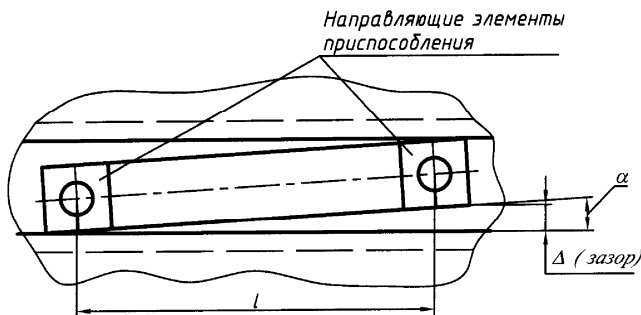


Рис. 3.23. Формирование погрешности установки приспособления на стол станка

Погрешность установки приспособления на другие рабочие поверхности станков необходимо рассматривать аналогичным образом.

3.4.4. Рекомендации по уменьшению составляющих погрешности установки заготовок в станочных приспособлениях

Погрешность базирования Δ_6 можно уменьшить, в первую очередь, за счет совмещения технологической и измерительной баз, что дает возможность свести Δ_6 до нуля. Необходимо выбирать рациональные размеры и расположение установочных элементов в приспособлении (чем больше расстояние между цилиндрическими установочными пальцами, тем меньше погрешность базирования по плоскости и двум внутренним цилиндрическим поверхностям отверстия).

Необходимо за счет посадок (в разумных пределах) уменьшать зазоры при посадке на установочные пальцы.

Уменьшение погрешности закрепления можно достигнуть за счет стабилизации силы закрепления Q . Это возможно при использовании механизированных приводов зажимных устройств. Другим резервом уменьшения Δ_3 является повышение жесткости стыка заготовка – установочные элементы приспособления.

Еще одним резервом уменьшения погрешности закрепления Δ_3 является улучшение базовых поверхностей заготовки.

Снижение погрешности приспособления можно достичь, если, например, обработать постоянные опоры в сборе на плоскошлифовальных станках (рис. 3.24).

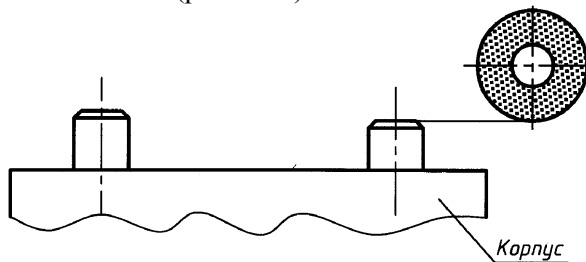


Рис. 3.24. Формирование погрешности приспособления Δ

Или выверкой приспособления относительно станины станка. Выверка машинных тисов на столе фрезерного станка показана на рис. 3.25.

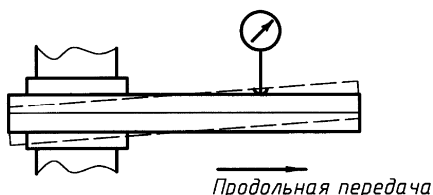


Рис. 3.25. Выверка машинных тисов на столе фрезерного станка

Уменьшение износа установочных элементов можно достичь за счет хромирования рабочих поверхностей, что дает повышение износостойкости в 2-3 раза.

Если использовать твердый сплав для изготовления установочных элементов, то можно повысить износостойкость в 7-10 раз. Но данной рекомендации следует придерживаться в разумных пределах, так как стоимость деталей из твердого сплава выше, а обрабатывать его сложнее.

Таким образом, такой вариант следует рекомендовать только для установочных элементов малых размеров.

При применении приспособлений-спутников рекомендуется придерживаться ниже перечисленных рекомендаций.

1. Повышение точности спутников и точности установки заготовки на спутник и спутника на станок приводит к уменьшению погрешности высотного размера заготовки. Повышение точности установки заготовки на спутник и спутника на станок достигается рациональной конструкцией спутника и средств крепления, тщательной очисткой контактирующих базовых поверхностей, сокращением износа этих поверхностей, стабилизацией силы закрепления. Для этого, в частности, при установке заготовок для затяжки винтовых прихватов используют динамометрические ключи. Погрешность установки спутников на станок может не превышать нескольких микрометров по соответствующей оси при выборе правильной конструкции и тщательном изготовлении спутника и приемного узла. Первый способ повышения точности, таким образом, осуществляется методом полной взаимозаменяемости.

Повышение точности изготовления спутников для ГПС приводит к значительному удорожанию их. Для того чтобы можно было исключить погрешность, связанную с разбросом размеров спутников, можно всегда устанавливать заготовку данного типа только на один спутник, размер которого однажды скорректирован введением соответствующей коррекции в УЧПУ. Для другой заготовки используют другой спутник и т.д. В этом случае в каждой управляющей программе можно ввести коррекцию на действительный размер спутника. Такой подход удобнее и тем, что для установки заготовок данного типа на спутнике устанавливают базирующие и крепежные элементы для конкретного вида заготовок.

2. Использование одного спутника для обработки партии одинаковых заготовок. При изготовлении деталей одного определенного типа на одном спутнике можно скорректировать отклонение размеров этого спутника, а также сократить число переналадок спутника. Однако это возможно лишь при одновременном изготовлении в ГПС ряда различных деталей, которые можно распределить по спутникам, кроме того, потребуется постоянное переключение станка на разные программы, так как во время освобождения спутника от детали и закрепления на нем следующей заготовки станок не должен простаивать, а на других спутниках закреплены заготовки других типов.

Быстрое переключение программ возможно лишь для УЧПУ типа CNC. Кроме того, комплект инструментов в магазине станка

должен позволять выполнять обработку нескольких различных заготовок, что достигается при групповой обработке заготовок. Этого удается добиться подбором обрабатываемых заготовок в группы по конструктивно-технологическим признакам, а также увеличением вместимости инструментальных магазинов станков. Необходимо также предусмотреть соответствующее планирование и управление производством.

3. Повышение точности изготовления детали достигается разделением всех спутников по размерам на несколько размерных групп. Каждая группа спутников закрепляется за одним станком, что позволяет повысить точность методом групповой взаимозаменяемости. Поле рассеяния размеров спутников в каждой группе окажется меньше общего поля рассеяния в число раз, равное числу групп сортировки.

С этой же целью рекомендуется не путать спутники на разных ГПМ одной модели. Каждый модуль предназначен для работы с определенными спутниками. Однако это значительно снижает возможности ГПС при взаимодополняющих станках. Кроме того, усложняется планирование и управление работой ГПС.

4. Использование автоматической коррекции размеров для каждого спутника, т.е. использовании метода регулирования. Это можно осуществить практически несколькими способами.

Во-первых, можно использовать контактную головку, с помощью которой автоматически измерить координаты положения заготовки или спутника на станке и автоматически внести индивидуальную для каждого случая коррекцию в программу обработки данной заготовки на данном спутнике.

Во-вторых, можно заранее измерить размеры всех спутников и закодировать каждый спутник. Размеры спутников в ГПС измеряют и составляют таблицу соответствия номера спутника и действительных отклонений его размеров [34].

Перечисленные рекомендации в сумме дают возможность существенно уменьшить погрешность установки в целом.

3.5. Задачи для практических решений

Задача 1. На токарной операции подрезать торцы (поверхности Б) вилки, выдерживая требуемые параметры точности (обработка производится одновременно двумя резцами) (рис. 3.26).

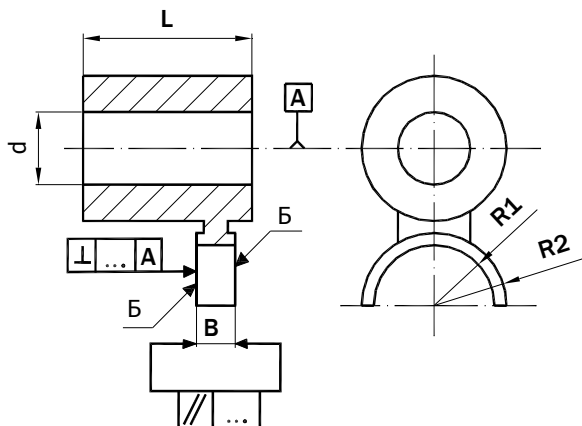


Рис. 3.26

Таблица 3.2

Условия задач

№ задачи	d , мм	L , мм	B , мм	R , мм	$R2$, мм	Перпендикулярность, мм	Параллельность, мм
3.1.1	20H7	50	5 ± 0.05	30	40	0.1	0.04
3.1.2	20H8	55	7 ± 0.05	40	45	0.1	0.05
3.1.3	20H9	60	9 ± 0.05	45	50	0.1	0.06
3.1.4	25H9	60	11 ± 0.1	50	55	0.05	0.07
3.1.5	25H8	55	13 ± 0.1	40	60	0.05	0.08
3.1.6	25H7	60	15 ± 0.1	50	60	0.05	0.09
3.1.7	30H7	65	15 ± 0.15	55	65	0.1	0.1
3.1.8	30H8	70	14 ± 0.15	60	70	0.1	0.09
3.1.9	30H9	70	12 ± 0.15	60	70	0.1	0.08
3.1.10	40H9	65	10 ± 0.1	65	75	0.15	0.07
3.1.11	40H8	80	15 ± 0.1	70	85	0.15	0.06
3.1.12	35H7	75	8 ± 0.1	65	80	0.15	0.05
3.1.13	25H8	60	6 ± 0.05	45	55	0.1	0.04
3.1.14	30H9	70	5 ± 0.05	55	65	0.1	0.1
3.1.15	40H7	85	15 ± 0.05	50	65	0.1	0.05

Задача 2. Расточить отверстие диаметром D_1 и подрезать торец на размер L_1 , выдерживая требуемые параметры точности. Схему базирования выбрать и обосновать из нескольких вариантов (рис. 3.27) и табл. 3.3.

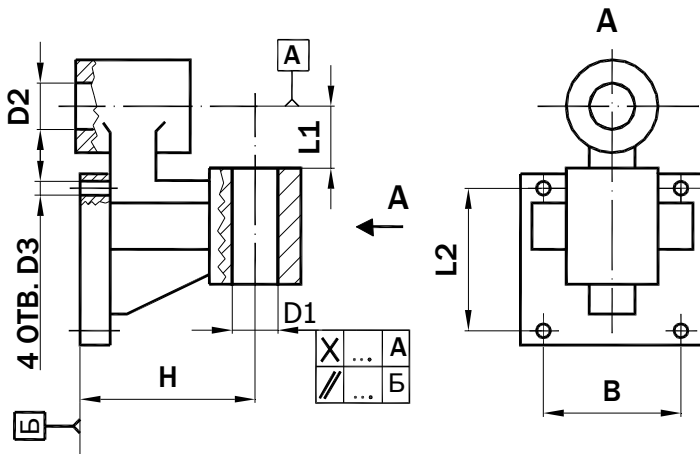


Рис. 3.27

Таблица 3.3

Условия задач

№ задачи	D_1 , мм	D_2 , мм	D_3 , мм	L_1 , мм	L_2 , мм	L_3 , мм	H , мм	B , мм
3.2.1	40H9	35H8	10	30 ± 0.1	150	150	150 ± 0.05	150
3.2.2	45H9	40H8	12	50 ± 0.1	200	180	150 ± 0.1	150
3.2.3	50H10	40H8	12H10	50 ± 0.1	200	200	150 ± 0.05	180
3.2.4	40H9	35H9	10H11	60 ± 0.15	250	180	120 ± 0.05	160
3.2.5	60H10	20H8	12H12	30 ± 0.1	200	150	140 ± 0.1	180
3.2.6	90H9	40H9	14	50 ± 0.15	250	200	180 ± 0.1	200
3.2.7	100H10	40H8	14H11	60 ± 0.1	250	210	180 ± 0.05	210
3.2.8	45H11	25H9	12	60 ± 0.1	180	180	150 ± 0.1	160
3.2.9	55H9	40H9	12H12	70 ± 0.05	200	190	160 ± 0.1	180
3.2.10	65H10	40H8	12H11	75 ± 0.1	210	190	160 ± 0.05	190
3.2.11	75H9	45H8	14H12	80 ± 0.05	220	200	165 ± 0.1	200
3.2.12	80H10	40H9	14H11	100 ± 0.1	210	180	150 ± 0.05	210
3.2.13	85H9	50H8	14	80 ± 0.05	210	200	160 ± 0.1	210
3.2.14	95H10	50H9	14H10	80 ± 0.1	210	190	180 ± 0.1	200
3.2.15	100H9	45H8	14H11	85 ± 0.15	210	200	180 ± 0.05	210

Задача 3. Сверлить отверстия (D_2 ; D_4), выдерживая требуемые параметры точности (рис. 3.28) и табл. 3.4.

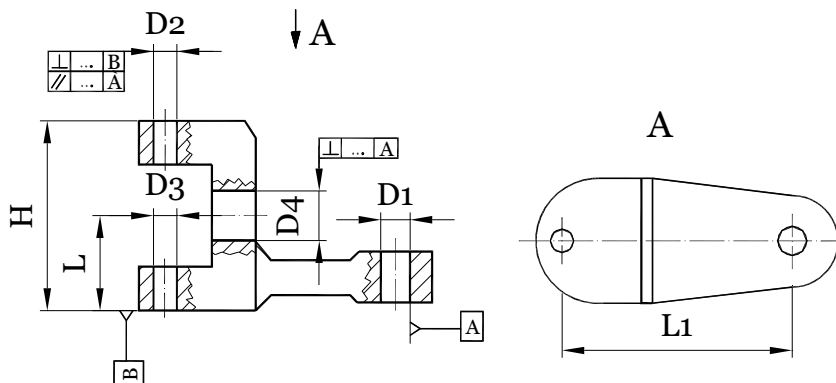


Рис. 3.28

Таблица 3.4

Условия задач

№ задачи	D_4 , мм	D_2 , мм	D_3 , мм	L , мм	L_1 , мм	H , мм	$D_{н2}$, мм	$D_{н4}$, мм
3.3.1	20H7	15H6	18H7	40±0.05	50	80	15g6	18g6
3.3.2	22H7	15H6	18H7	45±0.1	52	90	15h5	18e8
3.3.3	24H7	15H6	18H7	50±0.15	54	100	15js5	18f8
3.3.4	26H8	18H7	15H8	52±0.2	56	104	18h6	15d9
3.3.5	28H8	18H7	15H8	55±0.25	58	110	18f8	15h8
3.3.6	30H8	18H7	15H8	60±0.05	60	120	18e8	15h7
3.3.7	27H9	15H8	17H9	45±0.1	55	90	15h8	17d9
3.3.8	25H9	15H8	17H9	48±0.15	50	96	15h7	17h11
3.3.9	23H9	15H8	17H9	50±0.2	52	100	15d9	17d11
3.3.10	20H8	18H6	16H8	52±0.15	54	104	18m5	16e8
3.3.11	22H8	18H6	16H8	55±0.1	56	110	18h5	16d9
3.3.12	24H8	18H7	16H8	50±0.05	58	100	18g6	16h8
3.3.13	26H9	20H7	18H9	48±0.1	60	96	20f8	18h11
3.3.14	28H7	20H8	18H7	60±0.2	55	120	20e8	18g6
3.3.15	30H7	20H8	18H7	65±0.25	50	130	20d9	18f8

Задача 4. Сверлить отверстие, выдерживая требуемые параметры точности (рис. 3.29) и табл. 3.5.

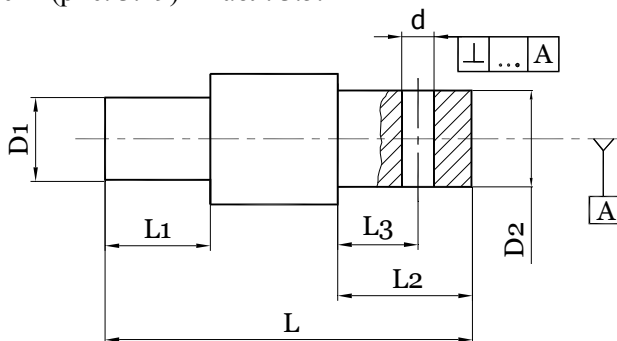


Рис. 3.29

Таблица 3.5

Условия задач

№ задачи	D_1 , мм	D_2 , мм	L_1 , мм	L_2 , мм	L_3 , мм	L , мм	d , мм	Перпендикулярность, мм
3.4.1	20h10	35h11	40	45	20±0.05	150	5H9	0.1
3.4.2	30h10	40h11	45	50	20±0.05	155	10H10	0.15
3.4.3	40h10	35h11	50	40	15±0.05	160	5 H9	0.1
3.4.4	35h11	30h9	35	45	20±0.05	185	5 H8	0.1
3.4.5	40h11	45h9	40	45	15±0.1	170	10H10	0.1
3.4.6	45h11	50h9	55	50	20±0.1	200	10H11	0.15
3.4.7	20h8	30h10	30	35	15±0.1	130	5 H8	0.1
3.4.8	40h8	35h10	45	50	15±0.05	160	10H11	0.15
3.4.9	40h8	45h10	40	50	25±0.05	195	10H10	0.15
3.4.10	50h9	40h8	40	50	15±0.1	170	10 H9	0.1
3.4.11	40h9	45h8	50	55	20±0.1	175	10H9	0.1
3.4.12	35h9	25h8	35	25	15±0.15	125	5 H8	0.1
3.4.13	25h11	20h10	30	20	15±0.15	115	5 H8	0.1
3.4.14	20h8	20h11	35	40	15±0.1	140	5H10	0.1
3.4.15	25h10	30h8	30	40	20±0.15	110	5H9	0.15

Задача 5. Сверлить отверстие, выдерживая требуемые параметры точности (рис. 3.30) и табл. 3.6.

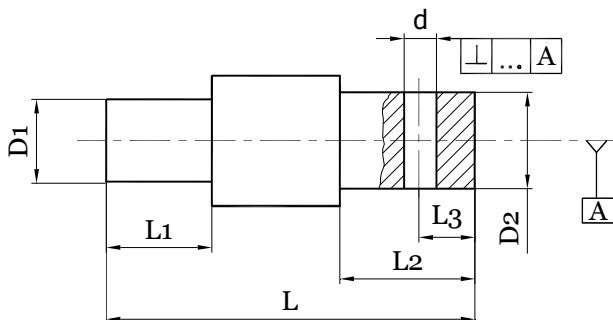


Рис. 3.30

Таблица 3.6

Условия задач

№ задачи	D_1 , мм	D_2 , мм	L_1 , мм	L_2 , мм	L_3 , мм	L , мм	d , мм	Перпендикулярность, мм
3.5.1	50h10	50h11	40	45	15±0.05	150	10H10	0.15
3.5.2	40h10	45h11	45	50	20±0.05	165	10H10	0.15
3.5.3	30h10	35h11	35	40	10±0.05	160	5 H9	0.1
3.5.4	20h11	30h9	30	35	10±0.05	185	5 H8	0.1
3.5.5	25h11	45h9	40	45	15±0.1	170	10H8	0.1
3.5.6	45h11	50h9	55	60	20±0.1	200	10H8	0.1
3.5.7	35h8	30h10	30	35	10±0.1	140	5 H8	0.1
3.5.8	50h8	45h10	45	50	15±0.05	160	10H10	0.15
3.5.9	40h8	50h10	60	60	20±0.05	190	10H11	0.15
3.5.10	45h9	50h8	50	40	15±0.1	175	5 H9	0.1
3.5.11	35h9	45h8	40	55	15±0.1	155	10H9	0.1
3.5.12	30h9	35h8	35	40	5±0.15	135	5 H8	0.05
3.5.13	25h11	30h10	30	35	5±0.15	115	5 H9	0.1
3.5.14	20h8	30h11	35	40	10±0.1	90	10H10	0.1
3.5.15	40h10	35h8	50	45	15±0.15	110	10H11	0.15

Задача 6. Сверлить отверстия (D_1, D_3) выдерживая требуемые параметры точности (рис. 3.31) и табл. 3.7.

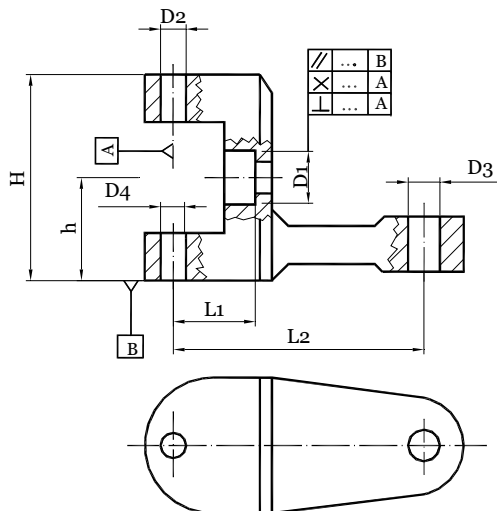


Рис. 3.31

Таблица 3.7

Условия задач

№ задачи	D_1 , мм	D_2 , мм	D_3 , мм	D_4 , мм	$D_{п3}$, мм	$D_{п(4,2)}$, мм	L , мм	L_1 , мм	H , мм
3.6.1	10H6	15	20H7	15	20g6	15g6	40±0.05	100	80
3.6.2	10H6	15	22H7	15	22h5	15e8	45±0.1	110	90
3.6.3	10H6	15	24H7	15	24js5	15f8	50±0.15	100	100
3.6.4	12H7	18	26H8	18	26h6	18d9	52±0.2	90	104
3.6.5	12H7	18	28H8	18	28f8	18h8	55±0.25	120	110
3.6.6	12H7	18	30H8	18	30e8	18h7	60±0.05	115	120
3.6.7	15H8	15	27H9	15	27h8	15d9	45±0.1	112	90
3.6.8	15H8	15	25H9	15	25h7	15h11	48±0.15	105	96
3.6.9	15H8	15	23H9	15	23d9	15d11	50±0.2	125	100
3.6.10	18H6	18	20H8	18	20m5	18e8	52±0.15	118	104
3.6.11	18H6	18	22H8	18	22h5	18d9	55±0.1	98	110
3.6.12	18H7	18	24H8	18	24g6	18h8	50±0.05	104	100
3.6.13	20H7	20	26H9	20	26f8	20h11	48±0.1	110	96
3.6.14	20H8	20	28H7	20	28e8	20g6	60±0.2	130	120
3.6.15	20H8	20	30H7	20	30d9	20f8	65±0.25	100	130

Задача 7. Сверлить отверстие, выдерживая требуемые параметры точности. Рассмотреть не менее двух вариантов базирования (рис. 3.32) и табл. 3.8.

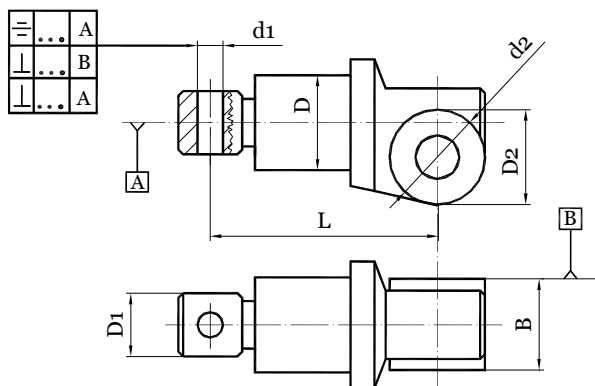


Рис. 3.32

Таблица 3.8

Условия задач

№ задачи	D , мм	D_1 , мм	D_2 , мм	d_1 , мм	d_2 , мм	B , мм	L , мм	Симметричность, мм	Параллельность, мм	Перпендикулярность, мм
3.7.1	80h7	60h8	70h9	15H7	35H9	60	200±0.02	0.05	0.05	0.05
3.7.2	85h7	65h8	70h8	15H8	40H8	60	210±0.02	0.05	0.05	0.05
3.7.3	90h7	60h8	80h97	15H9	45H7	60	220±0.03	0.05	0.05	0.05
3.7.4	100h8	65h9	90h7	20H7	45H9	70	230±0.03	0.05	0.05	0.1
3.7.5	105h8	70h9	90h8	20H8	50H7	70	240±0.04	0.05	0.05	0.1
3.7.6	110h8	70h9	85h9	20H9	55H8	70	250±0.04	0.05	0.05	0.1
3.7.7	80h9	55h8	70h7	18H7	50H8	80	205±0.05	0.05	0.05	0.05
3.7.8	85h9	60h8	75h9	18H8	50H9	80	215±0.05	0.05	0.05	0.05
3.7.9	90h9	55h8	80h8	18H9	60H7	80	225±0.06	0.05	0.05	0.05
3.7.10	95h10	65h9	80h7	16H9	45H8	65	235±0.06	0.05	0.05	0.1
3.7.11	100h10	60h9	85h8	16H8	45H9	65	245±0.02	0.05	0.05	0.1
3.7.12	105h10	65h9	85h9	16H7	40H7	75	255±0.03	0.05	0.05	0.1
3.7.13	110h7	65h8	90h9	22H7	50H8	75	200±0.04	0.05	0.05	0.05
3.7.14	115h8	70h9	90h10	24H8	60H9	85	220±0.05	0.05	0.05	0.05
3.7.15	120h9	75h8	95h10	25H9	60H7	85	250±0.06	0.05	0.05	0.05

Задача 8. Фрезеровать плоскости *B* комплектом фрез, выдерживая требуемые параметры точности. Диаметры установочных пальцев приведены в табл. 3.9 (рис. 3.33).

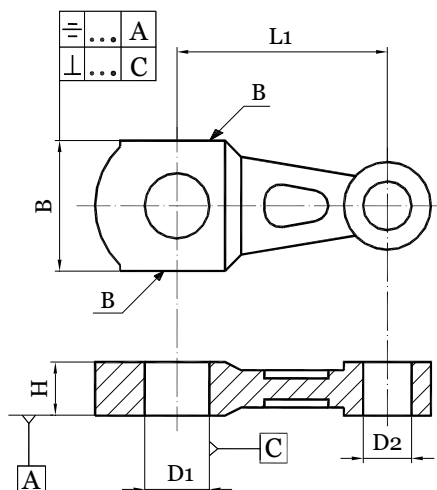


Рис. 3.33

Таблица 3.9

Условия задач

№ задачи	D_1 , мм	D_2 , мм	L_1 , мм	B , мм	H , мм	$D_{п1}$, мм	$D_{п2}$, мм
3.8.1	30H8	12H10	100	40 ± 0.05	15	30	12
3.8.2	35H8	14H9	120	42 ± 0.1	18	35	14
3.8.3	40H8	16H8	140	45 ± 0.15	20	40	16
3.8.4	45H9	18H8	160	50 ± 0.2	22	45	18
3.8.5	50H9	20H10	180	56 ± 0.25	24	50	20
3.8.6	55H9	22H9	200	58 ± 0.3	26	55	22
3.8.7	60H10	24H9	220	62 ± 0.25	28	60	24
3.8.8	30H10	26H8	240	44 ± 0.05	18	30	26
3.8.9	35H10	28H10	250	48 ± 0.15	15	35	28
3.8.10	40H9	30H10	230	46 ± 0.1	30	40	30
3.8.11	45H9	27H8	210	50 ± 0.15	30	45	27
3.8.12	50H8	25H9	190	55 ± 0.2	28	50	25
3.8.13	55H8	23H10	170	61 ± 0.15	26	55	23
3.8.14	60H10	17H9	150	68 ± 0.25	24	60	17
3.8.15	45H10	15H8	180	54 ± 0.1	30	45	15

Задача 9. Фрезеровать поверхность *A*, выдерживая требуемые параметры точности. Диаметры установочных пальцев (D_n) приведены в табл. 3.10 (рис. 3.34).

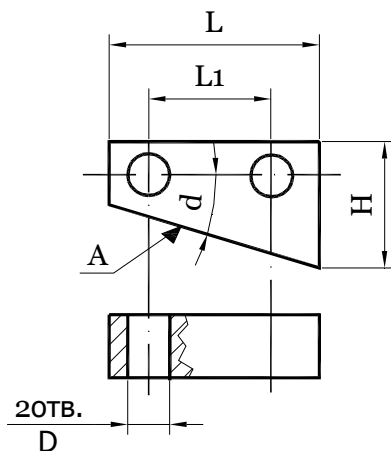


Рис. 3.34

Таблица 3.10

Условия задач

№ задачи	D , мм	L , мм	L_1 , мм	α , град.	H , мм	D_n , мм
3.9.1	10H8	100	40	$10 \pm 5'$	50 ± 0.05	10
3.9.2	12H9	105	50	$20 \pm 10'$	50 ± 0.1	12
3.9.3	14H10	110	60	$30 \pm 15'$	50 ± 0.15	14
3.9.4	16H11	115	45	$15 \pm 20'$	50 ± 0.2	16
3.9.5	18H12	120	55	$25 \pm 25'$	50 ± 0.25	18
3.9.6	20H8	100	50	$10 \pm 30'$	60 ± 0.05	20
3.9.7	19H9	110	60	$20 \pm 30'$	60 ± 0.1	19
3.9.8	17H10	120	70	$30 \pm 25'$	60 ± 0.15	17
3.9.9	15H11	105	55	$15 \pm 20'$	60 ± 0.2	15
3.9.10	13H12	115	65	$25 \pm 15'$	60 ± 0.25	13
3.9.11	11H8	120	60	$10 \pm 10'$	70 ± 0.05	11
3.9.12	10H9	130	70	$20 \pm 5'$	70 ± 0.1	10
3.9.13	15H10	140	80	$30 \pm 10'$	70 ± 0.15	15
3.9.14	20H11	135	65	$15 \pm 20'$	70 ± 0.2	20
3.9.15	16H12	145	75	$25 \pm 30'$	70 ± 0.25	16

Задача 10. Фрезеровать, поверхности *C, F* комплектом фрез, выдерживая требуемые параметры точности на данной операции (табл. 3.11). При необходимости назначить другие допуски на пальцы или отверстия (или на то и другое) (рис. 3.35).

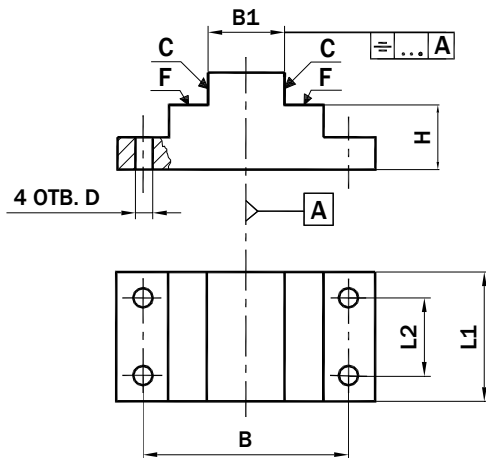


Рис. 3.35

Таблица 3.11

Условия задач

№ задачи	D_n , мм	D , мм	L_1 , мм	L_2 , мм	B , мм	B_1 , мм	H , мм
3.10.1	10h10	10H10	160	100	200	60	50
3.10.2	15d11	15H11	200	110	230	70	45
3.10.3	20h12	20H12	250	120	280	90	55
3.10.4	6h8	6H8	50	30	70	20	20
3.10.5	10h7	10H7	100	70	140	40	30
3.10.6	18h11	18H11	150	90	190	60	40
3.10.7	3h8	3H8	40	30	80	15	15
3.10.8	6d9	6H9	70	40	110	20	20
3.10.9	12h10	12H10	100	70	150	35	25
3.10.10	5e8	5H8	80	50	100	25	20
3.10.11	7d9	7H9	90	45	120	20	30
3.10.12	9h10	9H10	120	65	130	30	30
3.10.13	20d11	20H11	155	90	180	40	35
3.10.14	25b12	25H12	210	130	260	55	40
3.10.15	30h12	30H12	230	150	280	60	50

Задача 11. Фрезеровать паз, выдерживая требуемые параметры. Диаметр оправки (D_0) приведены в табл. 3.12 (рис. 3.36).

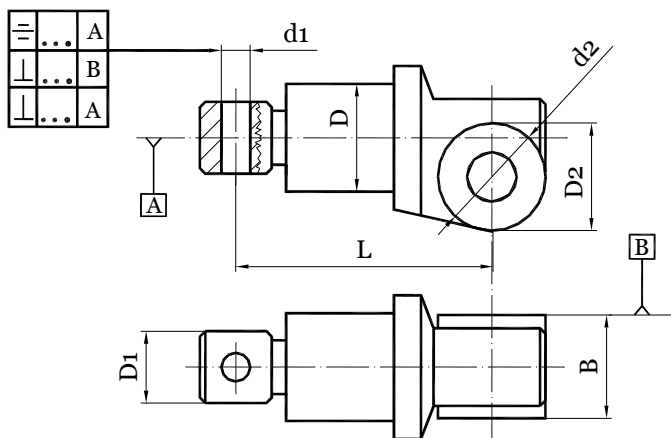


Рис. 3.36

Таблица 3.12

Условия задач

№ задачи	L_1 , мм	L , мм	D , мм	T , мм	D_0 , мм	B , мм	Параллельность, мм	Симметричность, мм
3.11.1	20	70	30H8	5	30h7	10±0.1	0.05	0.1
3.11.2	25	65	40H8	5	40h8	10±0.1	0.05	0.1
3.11.3	30	75	50H8	5	50d9	10±0.1	0.05	0.1
3.11.4	35	85	35H9	5	35h11	10±0.1	0.1	0.05
3.11.5	40	80	45H9	5	45d11	10±0.15	0.1	0.05
3.11.6	45	95	55H9	7	55d9	8±0.05	0.1	0.05
3.11.7	50	90	30H10	7	30h12	8±0.05	0.15	0.2
3.11.8	55	105	40H10	7	40h12	8±0.05	0.15	0.2
3.11.9	60	100	50H10	7	50h12	8±0.05	0.15	0.2
3.11.10	55	110	55H9	7	55d9	8±0.05	0.2	0.15
3.11.11	50	105	45H9	9	45d11	12±0.15	0.2	0.15
3.11.12	45	100	35H8	9	35h7	12±0.15	0.2	0.15
3.11.13	40	90	50H8	9	50e8	12±0.15	0.25	0.1
3.11.14	35	80	40H10	9	40h12	12±0.15	0.25	0.15
3.11.15	30	75	45H10	9	45h12	12±0.1	0.25	0.2

Задача 12. Фрезеровать паз, выдерживая требуемые параметры точности (рис. 3.37) и табл. 3.13.

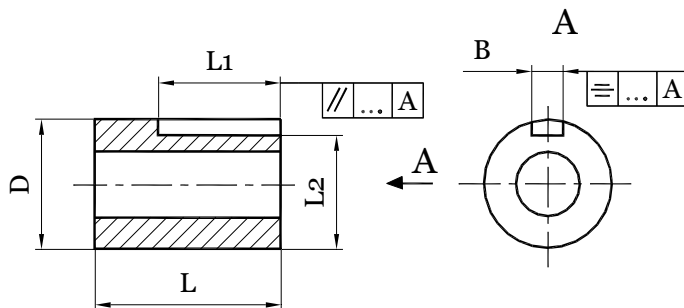


Рис. 3.37

Таблица 3.13

Условия задач

№ задачи	L_1 , мм	L_2 , мм	L , мм	B , мм.	D , мм	Симметричность, мм
3.12.1	40	40	80	5 ± 0.05	50	0.05
3.12.2	45	50	90	5 ± 0.05	60	0.05
3.12.3	50	60	100	5 ± 0.05	75	0.05
3.12.4	55	70	110	8 ± 0.01	75	0.1
3.12.5	60	80	120	8 ± 0.01	90	0.1
3.12.6	65	75	130	10 ± 0.01	80	0.1
3.12.7	70	65	140	10 ± 0.01	75	0.1
3.12.8	75	70	150	10 ± 0.01	75	0.1
3.12.9	40	55	95	5 ± 0.05	65	0.05
3.12.10	45	50	105	5 ± 0.05	55	0.05
3.12.11	50	75	115	5 ± 0.05	80	0.05
3.12.12	55	85	125	10 ± 0.05	95	0.1
3.12.13	60	80	135	10 ± 0.01	90	0.05
3.12.14	65	90	145	10 ± 0.01	95	0.1
3.12.15	70	70	120	10 ± 0.01	80	0.1

Задача 13. Фрезеровать паз, выдерживая требуемые параметры точности (табл. 3.14). Если необходимо, то определить размеры оправки (рис. 3.38).

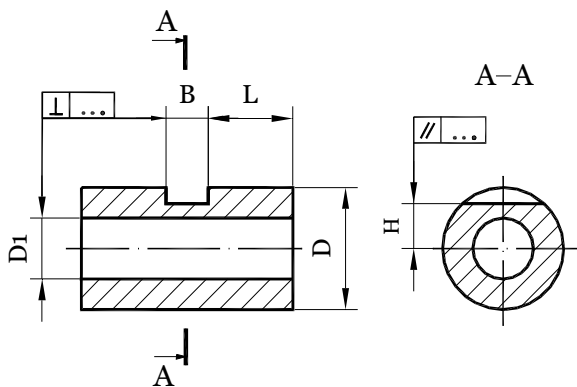


Рис. 3.38

Таблица 3.14

Условия задач

№ задачи	D_1 , мм	D , мм	B , мм	L , мм	H , мм	Параллельность, мм
3.13.1	16H8	40h8	10	30	15±0.1	0.05
3.13.2	18H8	46h9	15	40	18±0.15	0.1
3.13.3	20H8	48h10	20	50	19±0.2	0.15
3.13.4	30H9	60h10	25	35	22±0.1	0.05
3.13.5	24H9	60h9	20	45	24±0.15	0.1
3.13.6	35H9	66h8	30	55	26±0.15	0.05
3.13.7	40H10	70h8	34	60	27±0.2	0.15
3.13.8	44H10	80h9	40	70	32±0.25	0.12
3.13.9	50H10	100h9	45	80	43±0.25	0.14
3.13.10	42H8	90h9	40	65	39±0.2	0.1
3.13.11	40H9	76h10	38	75	30±0.15	0.06
3.13.12	38H10	68h8	30	85	29±0.2	0.15
3.13.13	30H10	60h8	25	90	24±0.15	0.08
3.13.14	24H9	54h10	20	95	20±0.15	0.06
3.13.15	18H8	42h9	15	40	15±0.1	0.05

Задача 14. Фрезеровать паз, выдерживая требуемые параметры точности (табл. 3.15). Выбрать и обосновать схему базирования (рис. 3.39).

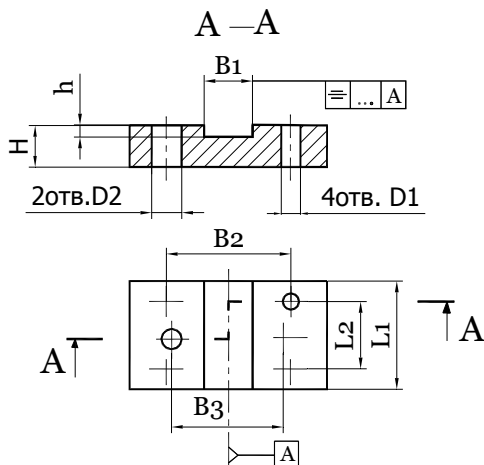


Рис. 3.39

Таблица 3.15

Условия задач

№ задачи	L_1 , мм	L_2 , мм	B_2 , мм	B_3 , мм	D_1 , мм	D_2 , мм	B_1 , мм	H , мм	h , мм	$D_{н1}$, мм	$D_{н2}$, мм
3.14.1	50	30	40	36	3H8	6H9	10 ± 0.05	30	5	3h8	6d9
3.14.2	50	30	40	36	3H9	6H8	8 ± 0.05	30	5	3d9	6e8
3.14.3	50	30	40	36	3H8	6H9	10 ± 0.05	32	5	3h7	6h9
3.14.4	60	36	50	44	5H9	8H10	12 ± 0.1	40	10	5d9	8h10
3.14.5	60	36	50	44	5H10	8H9	8 ± 0.1	40	10	5h10	8d9
3.14.6	60	36	50	44	5H8	8H9	10 ± 0.1	35	10	5h8	8d9
3.14.7	75	40	60	56	7H9	10H8	12 ± 0.05	50	12	7d9	10h8
3.14.8	75	40	60	56	7H10	10H9	12 ± 0.05	45	12	7h10	10d9
3.14.9	75	40	60	56	7H8	10H9	10 ± 0.1	50	12	7e8	10h9
3.14.10	100	60	80	74	10H9	18H8	10 ± 0.1	55	10	10d9	18h7
3.14.11	100	60	80	74	10H10	18H9	10 ± 0.15	65	10	10h10	18d9
3.14.12	100	60	80	74	10H8	18H10	12 ± 0.15	60	10	10h7	18h10
3.14.13	150	80	100	96	18H8	25H8	12 ± 0.15	70	15	18e8	25e8
3.14.14	150	80	100	96	18H10	25H9	12 ± 0.15	75	15	18h10	25d9
3.14.15	150	80	100	96	18H9	25H10	10 ± 0.15	80	15	18d9	25h10

Задача 15. Фрезеровать паз, выдерживая требуемые параметры точности (табл. 3.16). Выбрать и обосновать схему базирования (рис. 3.40).

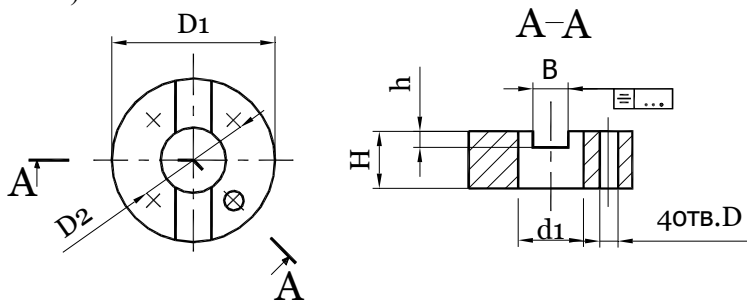


Рис. 3.40

Таблица 3.16

Условия задач

№ задачи	D , мм	D_{II} , мм	D_1 , мм	D_2 , мм	D_3 , мм	h , мм	H , мм	B , мм
3.15.1	10H8	10h8	100	35	15	5 ± 0.05	20	10
3.15.2	10H9	10d9	100	40	20	10 ± 0.05	20	10
3.15.3	10H8	10h7	100	40	20	10 ± 0.1	30	15
3.15.4	6H8	6e8	95	35	15	5 ± 0.05	15	10
3.15.5	6H9	6d9	115	40	15	10 ± 0.05	25	10
3.15.6	6H10	6h10	105	30	15	10 ± 0.05	20	10
3.15.7	18H12	18h12	95	60	20	10 ± 0.1	35	15
3.15.8	18H11	18h11	100	65	20	15 ± 0.1	50	15
3.15.9	18H11	18d11	105	70	25	20 ± 0.1	55	15
3.15.10	22H12	22b12	130	90	30	20 ± 0.15	45	20
3.15.11	22H12	22h12	140	95	30	15 ± 0.05	50	20
3.15.12	22H11	22h11	150	100	30	20 ± 0.1	60	20
3.15.13	12H9	12d9	120	85	20	10 ± 0.15	30	10
3.15.14	12H10	12h10	125	90	15	10 ± 0.1	25	10
3.15.15	12H8	12h7	145	100	20	5 ± 0.05	20	10

Задача 16. Фрезеровать паз, выдерживая требуемые параметры точности (рис. 3.41) и табл. 3.17.

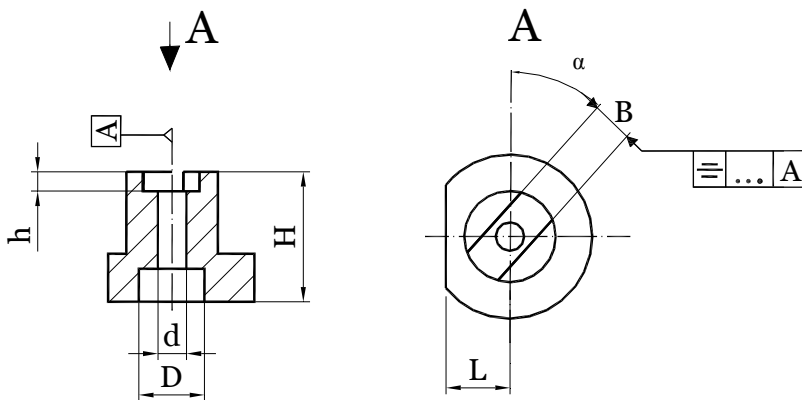


Рис. 3.41

Таблица 3.17

Условия задач

№ задачи	d , мм	D , мм	B , мм	h , мм	H , мм	α , град.	L , мм	Симметричность, мм
3.16.1	30H8	40H11	15	5	60	$30 \pm 10'$	100	0.05
3.16.2	34H9	50H10	18	5	70	$35 \pm 10'$	110	0.05
3.16.3	38H10	50H8	24	5	80	$40 \pm 10'$	120	0.05
3.16.4	42H11	60H9	16	7	90	$45 \pm 20'$	130	0.05
3.16.5	46H11	60H8	20	7	100	$32 \pm 20'$	140	0.15
3.16.6	50H10	65H11	22	7	65	$38 \pm 20'$	150	0.15
3.16.7	48H9	60H10	18	10	75	$45 \pm 30'$	105	0.15
3.16.8	45H8	55H9	20	10	85	$75 \pm 30'$	115	0.15
3.16.9	40H8	55H10	25	10	95	$30 \pm 30'$	125	0.1
3.16.10	36H9	50H11	15	6	105	$40 \pm 10'$	135	0.1
3.16.11	30H10	45H9	17	6	60	$45 \pm 10'$	145	0.1
3.16.12	35H11	50H8	10	6	70	$50 \pm 20'$	155	0.1
3.16.13	45H11	55H9	22	8	80	$30 \pm 20'$	160	0.2
3.16.14	55H10	70H8	20	8	90	$35 \pm 30'$	165	0.2
3.16.15	60H9	75H10	24	8	100	$40 \pm 30'$	170	0.2

Задача 17. Фрезеровать лыску, выдерживая требуемые параметры точности (табл. 3.18). Если необходимо, то подобрать диаметр оправки (рис. 3.42).

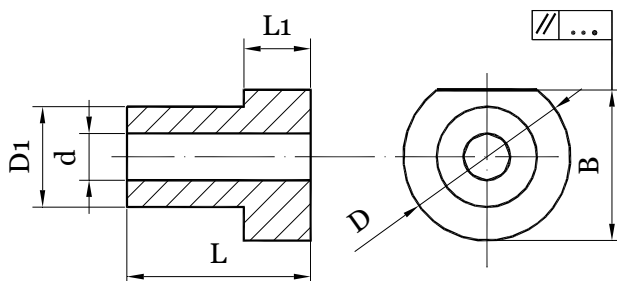


Рис. 3.42

Таблица 3.18

Условия задач

№ задачи	L_1 , мм	L , мм	d , мм	D , мм	B , мм	D_1 , мм	Параллельность, мм
3.17.1	15	45	10H8	40h9	35±0.15	18h8	0.05
3.17.2	20	50	16H8	40h9	35±0.2	26h9	0.1
3.17.3	25	55	18H8	45h9	40±0.25	28h10	0.15
3.17.4	10	40	10H9	30h8	28±0.1	16h10	0.05
3.17.5	30	80	20H9	50h8	44±0.2	32h9	0.1
3.17.6	32	85	24H9	55h8	48±0.15	36h8	0.05
3.17.7	30	90	28H10	60h9	54±0.25	40h8	0.15
3.17.8	40	100	30H10	70h10	65±0.22	44h9	0.12
3.17.9	35	100	35H10	75h8	65±0.24	50h9	0.14
3.17.10	24	95	20H8	60h10	50±0.18	30h9	0.1
3.17.11	20	90	20H9	60h8	48±0.15	36h10	0.06
3.17.12	22	98	18H10	55h9	50±0.21	26h8	0.15
3.17.13	18	80	15H10	50h9	47±0.16	25h8	0.08
3.17.14	15	70	15H9	50h8	48±0.14	21h10	0.06
3.17.15	10	60	10H8	40h10	37±0.12	22h9	0.05

Задача 18. Фрезеровать лыску, выдерживая требуемые параметры точности (рис. 3.43) и табл. 3.19.

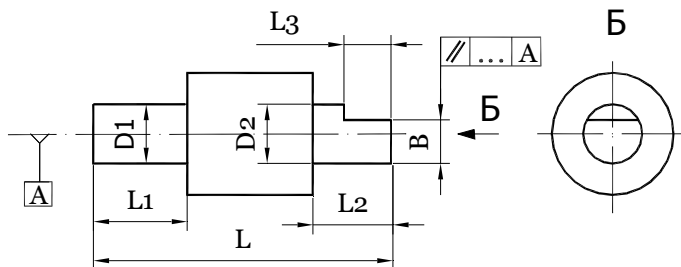


Рис. 3.43

Таблица 3.19

Условия задач

№ задачи	D_1 , мм	D_2 , мм	L , мм	L_1 , мм	L_2 , мм	L_3 , мм	B , мм	Параллельность, мм
3.18.1	20h7	30h9	120	45	50	30	0.04	0.05
3.18.2	30h8	50h7	180	50	70	50	0.05	0.05
3.18.3	40h9	45h8	200	64	85	60	0.06	0.05
3.18.4	50h9	60h9	160	48	60	38	0.07	0.1
3.18.5	60h8	100h7	240	85	90	74	0.08	0.1
3.18.6	70h7	95h8	170	40	55	40	0.09	0.1
3.18.7	80h7	100h9	185	60	74	54	0.1	0.15
3.18.8	90h8	70h7	130	40	60	48	0.09	0.15
3.18.9	100h9	100h8	145	30	48	30	0.08	0.15
3.18.10	45h9	75h8	150	45	65	60	0.07	0.05
3.18.11	60h8	80h8	170	40	70	50	0.06	0.05
3.18.12	70h7	110h9	90	20	35	28	0.05	0.1
3.18.13	35h8	60h7	190	55	80	65	0.04	0.1
3.18.14	80h9	90h7	170	30	85	70	0.1	0.15
3.18.15	75h7	100h8	210	68	90	80	0.05	0.15

Задача 19. Фрезеровать лыску, выдерживая требуемые параметры точности (рис. 3.44) и табл. 3.20.

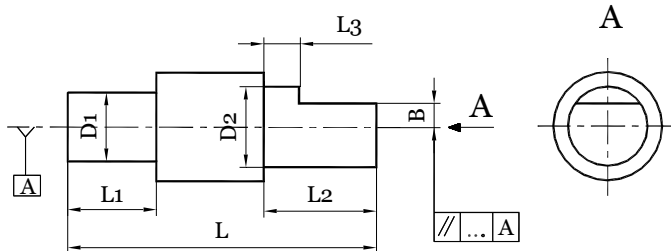


Рис. 3.44

Таблица 3.20

Условия задач

№ задачи	D_1 , мм	D_2 , мм	L_1 , мм	L_2 , мм	L_3 , мм	L , мм	B , мм	Параллельность, мм
3.19.1	20h10	35h11	40	45	15±0.05	150	10±0.05	0.1
3.19.2	30h10	40h11	45	50	20±0.05	155	15±0.1	0.15
3.13.3	40h10	35h11	50	40	10±0.05	160	10±0.1	0.15
3.19.4	50h11	50h9	60	55	20±0.05	185	20±0.1	0.15
3.19.5	40h11	45h9	40	45	15±0.1	170	15±0.05	0.1
3.19.6	45h11	50h9	55	50	20±0.1	200	20±0.1	0.15
3.19.7	20h8	30h10	30	35	10±0.1	130	10±0.05	0.1
3.19.8	40h8	35h10	45	50	15±0.05	160	20±0.1	0.15
3.19.9	50h8	55h10	60	60	25±0.05	195	25±0.1	0.15
3.19.10	50h9	40h8	40	50	15±0.1	170	10±0.05	0.1
3.19.11	40h9	45h8	50	55	15±0.1	175	20±0.1	0.15
3.19.12	35h9	25h8	35	25	5±0.15	125	5±0.05	0.1
3.19.13	25h11	20h10	30	20	5±0.15	115	5±0.05	0.1
3.19.14	20h8	20h11	35	40	10±0.1	140	5±0.05	0.1
3.19.15	25h10	30h8	30	40	10±0.15	110	10±0.05	0.1

Задача 20. Фрезеровать лыску, выдерживая требуемые параметры точности (рис. 3.45) и табл. 3.21.

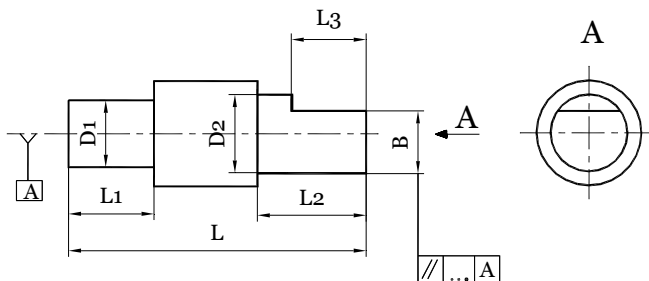


Рис. 3.45

Таблица 3.21

Условия задач

№ задачи	D_1 , мм	D_2 , мм	L_1 , мм	L_2 , мм	L_3 , мм	L , мм	B , мм	Параллельность, мм
3.20.1	30h10	30h11	40	40	10±0.05	160	25±0.1	0.15
3.20.2	40h10	25h11	40	45	15±0.05	180	20±0.05	0.1
3.20.3	20h10	40h11	40	50	20±0.05	165	30±0.1	0.15
3.20.4	40h11	40h9	50	50	20±0.05	170	35±0.1	0.15
3.20.5	40h11	45h9	50	55	25±0.1	200	35±0.05	0.1
3.20.6	35h11	50h9	50	60	15±0.1	200	35±0.05	0.1
3.20.7	50h8	30h10	60	50	15±0.1	210	25±0.05	0.1
3.20.8	40h8	25h10	60	40	10±0.05	190	20±0.1	0.15
3.20.9	40h8	30h10	55	40	10±0.05	190	40±0.1	0.15
3.20.10	25h9	35h8	50	45	15±0.1	175	30±0.15	0.15
3.20.11	25h9	35h8	35	55	20±0.1	155	25±0.15	0.15
3.20.12	30h9	45h8	35	60	25±0.15	175	35±0.15	0.15
3.20.13	25h11	55h10	45	60	20±0.15	195	35±0.15	0.15
3.20.14	40h8	35h11	45	50	15±0.1	200	30±0.05	0.1
3.20.15	25h10	25h8	55	35	10±0.15	160	20±0.1	0.1

Задача 21. Фрезеровать лыску, выдерживая требуемые параметры точности (рис. 3.46) и табл. 3.22.

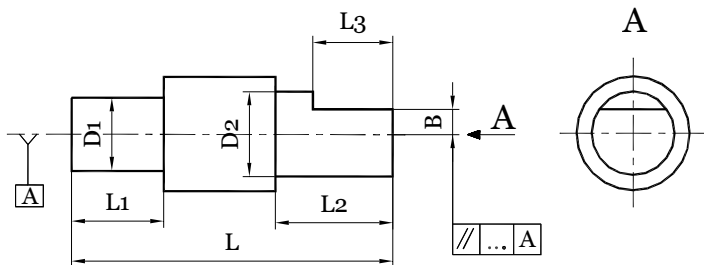


Рис. 3.46

Таблица 3.22

Условия задач

№ задачи	D_1 , мм	D_2 , мм	L_1 , мм	L_2 , мм	L_3 , мм	L , мм	B , мм	Параллельность, мм
3.21.1	50h10	50h11	40	45	15±0.05	150	10±0.1	0.15
3.21.2	40h10	45h11	45	50	20±0.05	165	15±0.05	0.1
3.21.3	30h10	35h11	35	40	10±0.05	160	15±0.05	0.1
3.21.4	20h11	30h9	30	35	10±0.05	185	15±0.05	0.1
3.21.5	25h11	25h9	40	45	15±0.1	170	20±0.1	0.15
3.21.6	45h11	50h9	55	60	20±0.1	200	20±0.1	0.15
3.21.7	35h8	30h10	30	35	10±0.1	140	10±0.05	0.1
3.21.8	55h8	50h10	45	50	15±0.05	160	20±0.1	0.15
3.21.9	50h8	55h10	60	60	20±0.05	190	20±0.1	0.15
3.21.10	45h9	50h8	50	40	15±0.1	175	10±0.05	0.1
3.21.11	35h9	45h8	40	55	15±0.1	155	20±0.05	0.1
3.21.12	30h9	35h8	35	40	5±0.15	135	5±0.05	0.1
3.21.13	25h11	20h10	30	30	5±0.15	115	5±0.05	0.1
3.21.14	20h8	30h11	35	40	10±0.1	90	10±0.05	0.1
3.21.15	40h10	35h8	50	45	15±0.15	110	10±0.1	0.15

Глава 4

РАСЧЕТ ПОГРЕШНОСТЕЙ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

4.1. Цели расчета погрешностей станочных приспособлений

Расчет приспособления на точность выполняет конструктор на стадии проектирования с целью определения размеров, технических требований при изготовлении деталей, сборки приспособлений.

При выполнении размерного анализа появляется возможность анализа рационального распределения допусков деталей, входящих в конструкцию конкретного приспособления. На основании данного расчета возможно определить длительность эксплуатации установочных элементов в приспособлении, что, в свою очередь, позволяет составить график выполнения ремонтных работ, проверки приспособлений на точность.

На практике опытный конструктор решает подобную задачу «в уме», принимая составляющие звенья размерных цепей с точностью не до микрометров, а принимает размеры звеньев условно с округлением. В результате расчета, конечно, появляется ошибка, но ее значимость достаточно мала. Учитывая, что на начальном этапе изучения данного курса такой опыт у студентов отсутствует, возникает необходимость достаточно подробно представить материал в данном разделе пособия. Подробный материал в учебной литературе по технологической оснастке в настоящее время отсутствует.

4.2. Общая методика расчета погрешностей станочных приспособлений

При разработке конструкции любого изделия, в том числе приспособления возникает необходимость выполнения размерного анализа [37, 38]. Конструкторская размерная цепь определяет рас-

стояние или относительный поворот между осями (или) поверхностями деталей в изделии.

Конструкторскими называют и подетальные размерные цепи. На рабочем чертеже изделия размер замыкающего (исходного) звена обычно не указывается, так как он должен получаться автоматически в результате выполнения размеров, указанных на чертеже. В сборочных размерных цепях замыкающим звеном может быть зазор, линейный или угловой размер, точность которого оговаривается в технических условиях.

Основное условие расчета на точность

$$\Delta_{\Sigma} \leq T, \quad (4.1)$$

где Δ_{Σ} – суммарная погрешность обработки; T – допуск на проверяемый параметр.

Допуск является известной величиной для конкретной технологической операции, на которую разрабатывается проектируемое приспособление. Суммарную погрешность конструктор рассчитывает, анализирует и назначает допуск.

4.2.1. Последовательность расчетов

1. Из технологического процесса на данную операцию необходимо определить параметр, на точность которого в значительной степени влияет конструкция приспособления.

2. Необходимо составить расчетную схему для определения всех погрешностей, влияющих на выполнение проверяемых параметров.

3. Записать в общем виде расчетное уравнение (уравнения).

4. Выявить все составляющие суммарной погрешности, влияющие на точность выполнения проверяемого параметра, и определить их возможные значения.

5. Рассчитать суммарную погрешность обработки Δ_{Σ} , сравнить ее с допуском T на проверяемый параметр и сделать соответствующие выводы [39].

4.2.2. Определение параметров точности

Для определения параметра (операционного размера или технического требования), на точность выполнения которого влияет специальное приспособление, необходимо все размеры и технические требования, выполняемые на данной операции, разделить на две группы:

а) размеры и формы обрабатываемых поверхностей, пределы изменения которых оговариваются в технологическом процессе допусками на размеры (диаметры отверстий, валов, и т. д.) и техническими условиями формы (отклонениями от круглости, прямолинейности и т. п.). Выполнение этих параметров точности почти не зависит от конструкции специального приспособления;

б) размеры и технические требования, определяющие положение обрабатываемых поверхностей относительно других поверхностей заготовки, пределы изменения которых оговариваются в технологических процессах допусками на эти размеры и техническими требованиями – отклонениями от перпендикулярности, параллельности и т.п. Выполнение этих параметров точности в значительной степени зависит от конструкции специального приспособления и точности его изготовления.

Например, на операционном эскизе, приведенном на рис. 4.1, а необходимо обеспечить выполнение двух параметров точности: диаметра отверстия $\varnothing 10^{+0,18}$ ($T = 0,18$ мм.) и линейного размера $50_{-0,10}^{+0,10}$ ($T = 0,20$ мм). В данном случае точность выполнения диаметрального размера отверстия ($T = 0,18$ мм) зависит от метода обработки, а точность выполнения линейного размера $50_{-0,10}^{+0,10}$ ($T = 0,20$ мм) зависит от конструкции специального приспособления, так как определяет положение оси обрабатываемого отверстия относительно базовой поверхности. Таким образом, при проектировании специального приспособления на заданную операцию проверяемым параметром является размер $50_{-0,10}^{+0,10}$.

На операционном эскизе, приведенном на рис. 4.1, б необходимо обеспечить два параметра точности: диаметральный размер $50_{-0,19}$, техническое требование – допуск радиального биения обрабатываемой поверхности $T = 0,1$ мм. Точность выполнения диамет-

рального размера ($T = 0,19$ мм) зависит от выбранного метода обработки, а техническое требование ($T = 0,1$ мм) зависит от конструкции специального приспособления, так как определяет положение обрабатываемой поверхности относительно базовой поверхности. Следовательно, проверяемым расчетным параметром здесь будет техническое требование – допуск радиального биения.

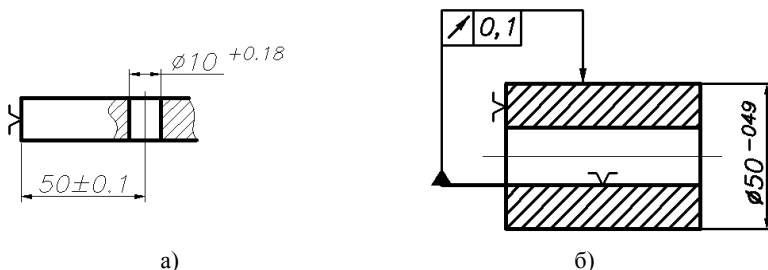


Рис. 4.1. Примеры выполняемых размеров

4.2.3. Разработка расчетной схемы

При разработке расчетной схемы следует помнить о следующем: выполняемые расчеты позволяют получить лишь приближенные результаты, зависящие от степени приближения расчетной схемы к реальным условиям. Другими словами, в зависимости от той или иной расчетной схемы можно получить различные результаты.

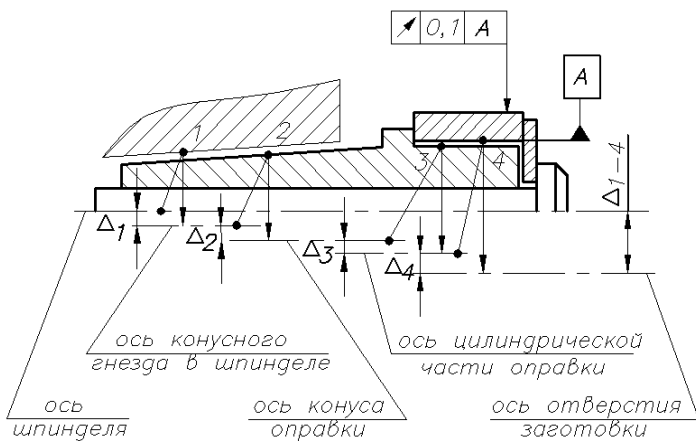
Большая часть составляющих суммарной погрешности обработки имеет геометрический смысл, и на размерной схеме они могут быть показаны в виде размерных величин, образующих определенные размерные связи. В этом случае расчетную схему строят на основе схемы СП. При этом учитывают ряд особенностей, а именно:

а) отображают лишь часть принципиальной схемы с таким расчетом, чтобы оставалась возможность для построения на ней размерных связей;

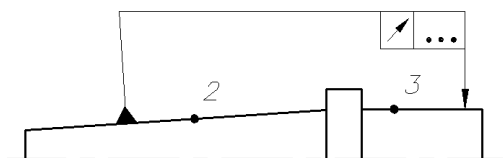
б) определяют элементы (поверхности или осевые линии) заготовки, СП и станка, влияющие на точность выполняемого параметра; на схеме отображаются размерные связи, определяющие часть составляющих суммарной погрешности обработки.

Возможны два способа разработки принципиальной схемы.

Первый способ основан на полном отображении векторных значений основных погрешностей, возникающих при обработке данной заготовки. Пояснение показано на рис. 4.2, а. На схеме изображена лишь половина СП, построенная относительно номинального положения его оси. При обработке требуется обеспечить допуск радиального биения обрабатываемой поверхности относительно поверхности A ($T \ll 0,1$ мм). На точность выполнения этого параметра оказывает влияние радиальные биения посадочной поверхности шпинделя станка (точка 1), конической поверхности оправки (точка 2), установочной поверхности оправки (точка 3) и возможное радиальное смещение базовой поверхности заготовки (точка 4). Этим обусловлено появление погрешностей Δ_1 , Δ_2 , Δ_3 и Δ_4 , составляющих погрешность Δ_{1-4} .



а)



б)

Рис. 4.2. Расчетная схема для оправки

Анализ этих погрешностей показывает следующее: $\Delta_1 = \Delta_c$ – погрешность, появляющаяся в следствие радиального биения посадочной поверхности (точка 1) шпинделя станка; погрешности Δ_2 и Δ_3 следует рассматривать как одну погрешность $\Delta_{\text{п}} = \Delta_2 + \Delta_3$, определяющую (рис. 4.2, б) пространственное расположение установочной поверхности (точка 3) оправки по отношению к опорной конической поверхности (точка 2), по которой она устанавливается на станке; погрешность Δ_4 является погрешностью базирования, равная отклонению от соосности, т.е. $\Delta_4 = \Delta_6$.

Второй способ основан на выявлении основных погрешностей, связанных с конструкцией СП. Поясним изложенное на примере.

При фрезеровании поверхности (рис. 4.3, а) призматической заготовки требуется обеспечить выполнение размера H с допуском TH . В принципиальной схеме СП (рис. 4.3, б) предусмотрена настройка фрезы относительно установочных элементов по установу. При такой схеме установки и настройки режущего инструмента основными погрешностями, связанными с конструкцией СП, являются:

- погрешность расположения режущего инструмента относительно установочных элементов $\Delta_{\text{Р.И}}$, являющаяся следствием неточности настройки режущего инструмента относительно установочной поверхности;
- погрешность установки заготовки $\Delta_{\text{У}}$, связанная с совмещением базовой поверхности заготовки с установочной поверхностью СП;
- погрешность настройки СП на станке $\Delta_{\text{С}}$, связанная с совмещением опорной поверхности с поверхностью стола на станке.

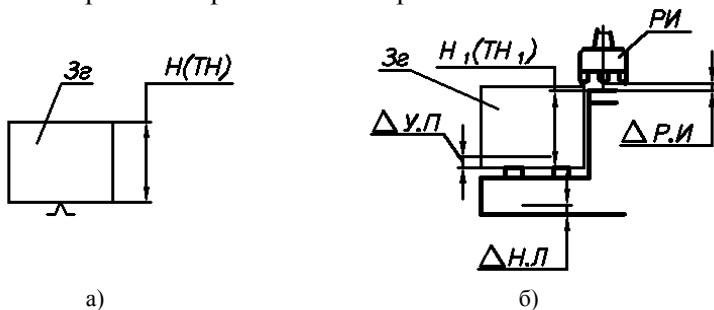


Рис. 4.3. Расчетная схема для фрезерного приспособления

Каждая погрешность имеет свой физический смысл. Так погрешность Δ_p зависит от метода настройки режущего инструмента относительно установочных элементов и для рассматриваемого примера (рис. 4.3) складывается из трёх составляющих:

$$\Delta_H = \Delta_1 + \Delta_2, \quad (4.2)$$

где Δ_1 – допуск на размер H_1 ; Δ_2 – погрешность метода настройки.

При настройке по шупу Δ_2 складывается из погрешности изготовления шупа по толщине (или диаметру) и погрешности установки фрезы по шупу. Погрешность изготовления шупа равна его допуску. Рекомендуется принимать 0,006 мм при $h \leq 3$ мм и 0,008 мм при $h > 3$ мм. Погрешность установки фрезы рекомендуется принимать равную 0,02 мм при $h < 3$ мм и 0,01 при $h > 3$ мм. Погрешность установки Δ_y определяют по формуле (3.2) с учетом рекомендаций, изложенных в разделе 3.

Погрешность Δ_c зависит от способа фиксирования СП на станке и определяется с учетом рекомендаций, изложенных в разделе.

4.2.4. Определение расчетного уравнения

Суммарная погрешность Δ_Σ обработки складывается из большого числа систематических и случайных погрешностей, например, погрешностей от неточностей изготовления, износа и деформации станка, СП и режущего инструмента, деформации технологической системы под действием сил резания, температурных деформаций и других. Основным способом определения Δ_Σ является аналитический способ. Однако этот способ связан с большим количеством отдельных погрешностей обработки и трудностями их аналитического определения. В связи с этим при проектировании СП допустим метод приближенного определения погрешности Δ_Σ , в основе которого использован способ разделения погрешностей на погрешности 1-го и 2-го рода.

К погрешностям 1-го рода Δ_Σ' отнесены такие погрешности, которые не могут определены аналитически без экспериментальной проверки в каждом конкретном случае обработки. Эти погрешности возникают от деформации элементов технологической системы под действием сил резания, от изменений температуры в техноло-

гической системе, от остаточных напряжений обрабатываемой заготовки и им подобных.

К погрешностям 2-го рода Δ_{Σ}'' отнесены такие погрешности, которые можно определить по соответствующим справочным таблицам или расчетным формулам. Эти погрешности возникают от геометрической неточности применяемого оборудования, от неточности изготовления режущего инструмента и его износа, от неточности СП, его фиксации на станке и других факторов.

Суммарные погрешности обработки, таким образом, можно определить по формуле:

$$\Delta_{\Sigma} = \Delta'_{\Sigma} + \Delta''_{\Sigma} , \quad (4.3)$$

где Δ'_{Σ} и Δ''_{Σ} – соответственно, суммарные погрешности 1-го и 2-го рода.

При выполнении точностных расчетов в процессе проектирования СП можно определять величину 1-го рода Δ'_{Σ} как некоторую часть средней экономической точности обработки:

$$\Delta'_{\Sigma} = k_1 \cdot \Delta_{\text{м.о}} , \quad (4.4)$$

где $\Delta_{\text{м.о}}$ – погрешность, равная величине средней экономической точности применяемого метода обработки; k_1 – коэффициент, зависящий от точности выполняемого параметра и учитывающий долю погрешности, которую трудно определить аналитически; его величину следует принимать равной: $k_1 = 0,5$, если точность обработки соответствует 10-му качеству (или грубее); $k_1 = 0,6$, если точность обработки соответствует 8-му и 9-му качеству; $k_1 = 0,7$, если точность обработки соответствует 7-му и точнее.

Из всего многообразия погрешностей, относящихся к погрешностям второго рода, следует различать:

1. Погрешности, не зависящие от конструкции СП. К ним относятся:

$\Delta_{\text{м.о}}$ – погрешность применяемого метода обработки;

$\Delta_{\text{с.т}}$ – погрешность от геометрической неточности применяемого оборудования;

$\Delta_{\text{и}}$ – погрешность от неточности изготовления инструмента;

$\Delta_{\text{изм}}$ – погрешность метода измерения.

2. Погрешности, зависящие от конструкции СП и точности его изготовления. К ним относятся погрешности, связанные с установкой заготовки в СП Δ_y , расположением режущего инструмента Δ_n и настройки СП на станке Δ_c .

Погрешность установки заготовки в СП с учетом случайного характера составляющих её погрешностей определяется по формуле:

$$\Delta_y = \sqrt{\Delta_6^2 + \Delta_3^2 + \Delta_n^2 + \Delta_{yc}^2}, \quad (4.5)$$

где Δ_6 – погрешность базирования заготовки в СП; Δ_3 – погрешность закрепления заготовки в СП; Δ_{yc} , Δ_n – погрешности изготовления и износа рабочей поверхности установочных элементов.

Учитывая изложенное, суммарную погрешность обработки можно определить по предельным значениям:

$$\Delta_\Sigma = k_1 \cdot \Delta_{м.о} + \Delta_{ст} + \Delta_n + \Delta_{изм} + \Delta_y + \Delta_n + \Delta_c; \quad (4.6)$$

и вероятностным методом:

$$\Delta_\Sigma = \sqrt{(k_1 \cdot \Delta_{м.о})^2 + \Delta_{ст}^2 + \Delta_n^2 + \Delta_{изм}^2 + \Delta_y^2 + \Delta_n^2 + \Delta_c^2}, \quad (4.7)$$

Эти зависимости (2.6) и (2.7) являются основными для расчета ожидаемой точности обработки. Если при проверочном расчете требуемая точность проверяемого параметра не выполняется, то это будет означать, что, возможно, какое-то из слагаемых суммарной погрешности обработки завышено. Дальнейшие расчеты связаны с поиском составляющих, величина которых может быть уменьшена без существенного ущерба выполнения операции.

По формуле (4.6) суммирование погрешностей производится путём арифметического сложения их максимальных значений. Это позволяет определить лишь возможное предельное значение суммарной погрешности обработки Δ_Σ , а затем оценить её величину. Однако такое суммирование предполагает, что все составляющие суммарной погрешности обработки (за исключением погрешности установки) одновременно имеют максимальное значение и один и тот же знак (одно направление). Такое явление при большом числе суммирования погрешностей маловероятно. Поэтому на стадии проектирования СП все составляющие суммарной погрешности Δ_Σ

следует отнести к разряду случайных, и суммирование проводить по формуле (4.7). По этой формуле можно определить ожидаемое среднее значение суммарной погрешности обработки Δ_{Σ} , а затем путём сравнения с допуском на обработку оценить её значение.

4.2.5. Определение параметров, входящих в расчетные уравнения

Погрешность метода обработки $\Delta_{м.о}$ определяют по таблицам средней экономической точности принятого метода обработки по прил. П.5.

Погрешность от неточности изготовления станков $\Delta_{ст}$ можно определить, пользуясь ГОСТами на нормы точности металлорежущих станков или по паспортным данным. На некоторые станки общего применения эта погрешность может быть определена по прил. П.5.

Погрешность от неточности изготовления режущего инструмента и его износа $\Delta_{и}$ в одних случаях определяется с учетом поднастройки на заданный размер экспериментально, в других случаях учитывается влияние изменения размера инструмента на проверяемый параметр. Например, изменение диаметров осевого инструмента (сверл, зенкеров, разверток) приводит к появлению погрешностей выполнения межцентровых расстояний. Для некоторых осевых инструментов величина такой погрешности может быть определена по справочной литературе.

Погрешность измерения $\Delta_{изм}$ определяют в зависимости от точности проверяемого параметра. Она составляет определенную часть допуска на этот параметр. Рекомендуется принимать значения $\Delta_{изм}$ в пределах 20...30 % от допуска на проверяемый параметр (30 %, если точность выше 9-го квалитета и 20 %, если точность 10-й квалитет и грубее).

Погрешности, зависящие от конструкции СП, обычно определяются соответствующими расчетами.

Погрешность базирования $\Delta_{б}$ появляется вследствие отклонения фактически достигнутого положения заготовки в СП от требуемого. Ее величина зависит от принятого способа установки и определяется расчетами или табличными значениям литературы.

Например, погрешность базирования при установке заготовки отверстием на наружную цилиндрическую поверхность оказывается равной величине максимального зазора, которая складывается из допуска на отверстие, гарантированного зазора и допуска на вал.

Погрешность закрепления Δ_z заготовки в СП определяется величиной отклонения расположения базы заготовки от ее положения, достигнутого при базировании (в направлении выполняемого на данной операции размера). Она образуется от действия на заготовку сил зажима и связанных с ним перемещений, изменяющих положение сбазированной заготовки в СП. Погрешности Δ_n – погрешность изготовления и износа установочных элементов СП, которая определяется по данным, приводимым в приложении.

При проведении точностных расчетов, следует учитывать, что в ряде случаев в справочной литературе приводится только погрешность установки Δ_y , а не отдельные ее составляющие.

Погрешность Δ_n – погрешность пространственного расположения (настройки) инструмента относительно установочных поверхностей СП. Ее величина обычно зависит от большого числа факторов и определяется расчетами. Например, при сверлении отверстия по кондукторной втулке погрешность Δ_n зависит от положения оси шпинделя станка по отношению к плоскости стола (отклонению от перпендикулярности), зазора между кондукторной втулкой и сверлом и др.

Погрешность Δ_n – погрешность пространственного расположения установочных поверхностей СП по отношению к посадочным поверхностям станка. Эту величину принято определять и задавать на чертежах СП конструктивно. Например, при проектировании оправки на токарный станок предусматривается простановка на чертеже оправки допуска соосности установочных и посадочных поверхностей. Допустимая величина радиального биения установочной поверхности относительно посадочной поверхности определяется как некоторая доля допуска радиального биения обрабатываемой поверхности заготовки. Обычно эту величину принимают равной 1/4...1/2 части допуска на заготовку. Полученная величина и будет составлять погрешность Δ_n .

4.2.6. Пример расчета погрешности обработки

Требуется определить, будет ли обеспечиваться требуемая точность обработки (допуск радиального биения 0,1 мм) втулки (см. рис. 4.1) на операции точения.

Выявим все составляющие суммарной погрешности обработки, порождающие биение обрабатываемой поверхности заготовки, используя расчетную схему, приведенную на рис. 4.1, и расчетных уравнений (4.6) и (4.7).

Погрешность $\Delta_{\text{м.о}} = 0$, так как выполнение заданного на эскизе технического требования практически не зависит от метода обработки;

погрешность $\Delta_{\text{с}} = 0,01$ мм. Она определяется по таблице характеристик точности токарно-винторезных станков общего назначения (табл. П.5.3);

погрешность $\Delta_{\text{ин}} = 0$, так как погрешность изготовления и износа режущего инструмента влияет главным образом на изменение размера обтачиваемой поверхности, а не на радиальное биение этой поверхности;

погрешность $\Delta_{\text{изм}} = 0,1 \cdot 0,3 = 0,03$ мм (определена как 30 % допуска на проверяемый параметр);

погрешность $\Delta_{\text{б}} = 0,05$ мм. Определена расчетами с учетом эскиза заготовки (см. рис. 4.1). При этом принята посадка с гарантированным зазором 30h7/g6. Величина $\Delta_{\text{б}}$ при принятом способе установки равна максимальному зазору между отверстием заготовки и посадочным диаметром оправки. По таблицам допусков определили:

$$30h7 = 30^{+0,025}; \quad 30g6 = 30_{-0,025}^{-0,009}$$

и

$$\Delta_{\text{б}} = 0,025 + 0,016 + 0,009 = 0,05 \text{ мм};$$

погрешность $\Delta_{\text{з}} = 0$, так как сила закрепления заготовки в направлении параметра точности не действует;

погрешность $\Delta_{\text{и}} = 0$, так как ее величина учтена при расчете допуска на изменение предельных размеров установочных элементов;

погрешность $\Delta_{\text{п}} = 0$, так как погрешность расположения реза относительно установочных поверхностей оправки (настройка на размер) влияет лишь на выполнение диаметрального размера и формы обрабатываемой заготовки в продольном сечении;

погрешность $\Delta_{\Pi} = 0,025$ мм. Эта погрешность определена с учетом метода обработки следующим образом:

$$\Delta_{\Pi} = 0,25 \cdot T = 0,25 \cdot 0,1 = 0,025 \text{ мм.}$$

Таким образом, при выполнении рассматриваемого технического требования на данной операции будут иметь место следующие составляющие суммарной погрешности обработки:

$$\Delta_c = 0,01 \text{ мм; } \Delta_{\text{ИЗМ}} = 0,03 \text{ мм; } \Delta_b = 0,05 \text{ мм и } \Delta_{\Pi} = 0,025 \text{ мм.}$$

Суммирование всех этих погрешностей по формулам (4.6) и (4.7) дает следующие результаты:

по предельным значениям

$$\Delta_{\Sigma} = 0,01 + 0,03 + 0,05 + 0,025 = 0,115 \text{ мм;}$$

вероятностным методом

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{(0,01)^2 + (0,03)^2 + (0,05)^2 + (0,025)^2} = 0,0646 \text{ мм.}$$

Сопоставив расчетные значения погрешности обработки с допуском, получаем условия: $0,115 > 0,1$ и $0,0646 < 0,1$. Анализируя полученные результаты, устанавливаем, что расчет по предельным значениям погрешностей не гарантирует точность выполнения проверяемого параметра, а вероятностный расчет подтверждает, что точность проверяемого параметра будет обеспечиваться. Учитывая незначительное превышение погрешности ($\Delta_{\Sigma} = 0,115$ мм) по сравнению с допуском ($T = 0,1$ мм) при расчете по предельным значениям погрешностей и значительное превышение допуска ($T = 0,1$ мм) по сравнению с погрешностью ($\Delta_{\Sigma} = 0,0646$ мм) при расчете вероятностным методом, устанавливаем, что в проектируемой оправке имеется еще и некоторый запас по точности обработки.

Следовательно, проектируемая конструкция оправки будет обеспечивать требуемую точность обработки.

4.3. Расчет погрешностей сверлильных приспособлений

Допуск на координаты кондукторных втулок обычно составляет [12]

$$TL_{\Pi} = (0,2 \dots 0,5) TL_{\text{д}}, \quad (4.8)$$

где TL_d – допуск на расстояние между обрабатываемыми отверстиями.

Допуск на координаты кондукторных втулок для обработки отверстий на проход под винты, болты и резьбу обычно $\pm 0,05 \dots \pm 1$ мм.

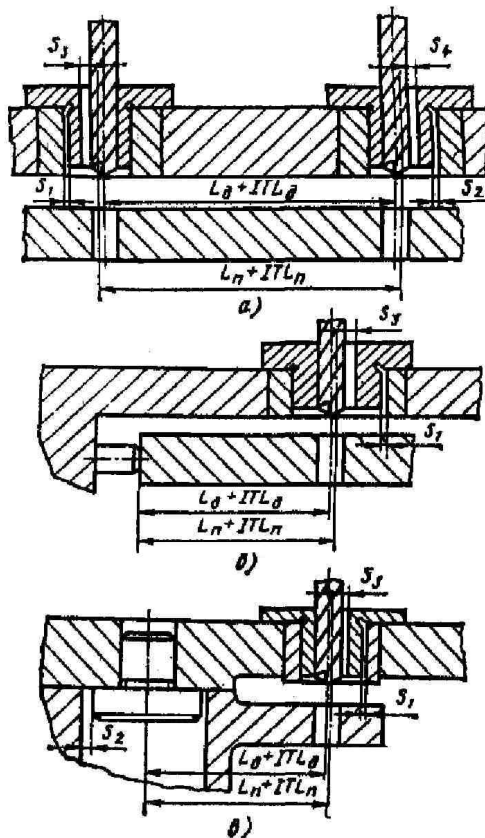


Рис. 4.4. Расчетные схемы допусков на координаты кондукторных втулок при использовании:

- a* – двух кондукторных втулок; *б* – кондукторной втулки и упора;
- в* – кондукторной втулки и установочного пальца

Если допуск TL_d на координаты обрабатываемых отверстий меньше 0,1 мм, то допуск на координаты кондукторных втулок (рис. 4.4, *a*):

$$TL_{\Pi} \leq [0,8TL_{\text{д}} - 0,25(S_{1\text{max}} + S_{2\text{max}} + S_{3\text{max}} + S_{4\text{max}} + \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_3 + \mathcal{E}_4)], \quad (4.9)$$

где $S_{1\text{max}}$ и $S_{2\text{max}}$ – максимальные зазоры между сменными кондукторными втулками и отверстиями для них; $S_{3\text{max}}$ и $S_{4\text{max}}$ – максимальные зазоры между кондукторными втулками и режущими инструментами; \mathcal{E}_1 и \mathcal{E}_2 – допуски радиального биения отверстий под сменные кондукторные втулки; \mathcal{E}_3 и \mathcal{E}_4 – допуски радиального биения сменных кондукторных втулок (\mathcal{E}_3 и \mathcal{E}_4 не более 0,007 мм для диаметров до 50 мм и не более 0,01 мм для диаметров свыше 50 мм).

Если значение TL_{Π} , полученное по формуле (4.9), окажется меньше 0,01 мм, поле допуска по $G7$ на диаметр отверстия кондукторной втулки заменяют полем допуска по $G6$, посадку $H7/g6$ сменной кондукторной втулки заменяют на посадку $H6/g5$ или обеспечивают индивидуальную пригонку кондукторной втулки с зазором 0,002 – 0,005 мм.

При расчете допуска на расстояние от упора или установочной поверхности до оси кондукторной втулки (рис. 4.4, б):

$$S_2 = S_4 = \mathcal{E}_2 = \mathcal{E}_4 = 0.$$

При использовании постоянных (а не сменных) кондукторных втулок $S_1 = S_2 = \mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_2 = 0$.

При расчете допуска на расстояние от установочного пальца (паза, выступа и т.п. до кондукторной втулки (рис. 4.4, в):

$$S_4 = \mathcal{E}_2 = \mathcal{E}_4 = 0.$$

При зависимом допуске расположения зазор S_2 равен нижнему отклонению размера пальца (паза, выступа) e_i . Кроме того, формула (4.9) приобретает вид:

$$TL_{\Pi} \leq [0,8TL_{\text{д}} - 0,25(S_{1\text{max}} + S_{2\text{max}} + S_{3\text{max}} + \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_3) - \omega]. \quad (4.10)$$

Пример. 1. Развертывают два отверстия диаметром $20H7$ мм с межосевым расстоянием 100 мм + 0,08 мм. Определить допуск TL_{Π} на расстояние между осями отверстий в кондукторе для сменных кондукторных втулок.

Приближенное решение получим, пользуясь формулой (4.8): $TL_{\Pi} \approx 0,3 - 0,08 = 0,024$ мм.

Точное решение. В приложении диаметр развертки для обработки отверстия диаметром $20H7$ составит $20_{+0,007}^{+0,013}$ мм. Минимальный диаметр развертки $20,007$ мм.

2. В приложении диаметр отверстия кондукторной втулки с полем допуска $G7$ составит $20_{+0,020}^{+0,041}$ мм. Максимальный диаметр отверстий втулки $20,041$ мм.

3. Максимальный зазор между разверткой и отверстием кондукторной втулки $S_{3\max} = S_{4\max} = 20,041 - 20,007$ мм.

4. Пользуясь ГОСТ 18431–73 на сменные кондукторные втулки, находим, что номинальный наружный диаметр втулки для установки в отверстие кондуктора составит 32 мм.

5. Принимаем посадку втулки в отверстие кондуктора $32H7/g6$.

6. Максимальное значение диаметра $32H7$ отверстия под втулку составит $32,025$ мм.

7. Минимальное значение наружного диаметра $32g6$ втулка составит $31,075$ мм.

8. Максимальные зазоры между втулкой и отверстием в кондукторе $S_{1\max} = S_{2\max} = 32,025 - 31,175 = 0,05$ мм.

9. Назначаем допуски радиального биения отверстий под втулки и самих втулок. Поскольку диаметры меньше 50 мм, $\mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_2 = \mathcal{E}_3 = \mathcal{E}_4 = 0,007$ мм.

10. По формуле (4.9) допуск

$$TL_{\Pi} = 0,8 \cdot 0,08 - 0,25 (2 \cdot 0,05 + 2 \cdot 0,34 + 4 \cdot 0,007) = 0,016 \text{ мм.}$$

4.4. Расчет погрешностей приспособлений с делительными устройствами

На точность взаимного расположения обрабатываемых поверхностей в большинстве случаев ($60 - 90$ %) влияют погрешности, вносимые делительными устройствами приспособления, и в меньшей степени погрешности, вносимые методом обработки. По заданной точности деления при обработке детали классифицируют на группы высокой, средней, низкой точности. Детали высокой группы (точность до $0,1$ мм) составляет 20 % деталей, требующих угловых или линейных делений. Для них основные детали делительного устройства следует обрабатывать по 7-му качеству. Детали средней точности ($0,1 - 0,3$ мм) составляют 38 %. Для них де-

тали делительного устройства должны обрабатываться по 8-му качеству. Детали низкой точности (свыше 0,3 мм) составляют 42 %. Для них детали делительного устройства следует обрабатывать по 9-му качеству [29].

Для обеспечения заданной точности взаимного расположения обрабатываемых поверхностей деталей следует учитывать соотношение радиуса R_d , координирующего положения обрабатываемых плоскостей детали, и радиуса $R_{пр}$, координирующего положение делительного устройства приспособления по их общей оси поворота. Приняты два соотношения $R_d < R_{пр}$ и $R_d > R_{пр}$. Между размерами деталей и приспособлений для их закрепления существует зависимость $D_{пр} = kD_d$, где $D_{пр}$ – диаметр планшайбы приспособления; D_d – наружный диаметр детали; k – коэффициент.

Приняты два вида закрепления деталей. Внутреннее закрепление, при котором зажимные элементы не выходят за размеры детали, и наружное, при котором зажимные элементы расположены с внешней стороны детали. Внутреннее закрепление является доминирующим (78 %), наружное применяют для закрепления мелких деталей (22 %), обрабатываемых в приспособлениях с диаметром планшайбы до 320 мм.

Значение коэффициента k при наружном закреплении деталей приведены в табл. 4.1. Большие значения коэффициента k соответствуют меньшим значениям размеров деталей: $k = 1 + 2m/D_d$, где m – величина зависящая от зажимных устройств, мм. Приспособления с делительными устройствами в основном применяют при фрезеровании, сверлении и резе при притягивании, растачивании и долблении.

Таблица 4.1

Деталь	D_d , мм	k
Мелкая	35 – 55	4,5 – 7,9
	55 – 95	2,9 – 2,1
	95 – 300	2,1 – 1,7
Средняя	300 – 500	1,7 – 1,3
Крупная	500 – 750	1,15 – 1,1

Приспособления с делительными устройствами подразделяют на приспособления с вертикальной осью вращения – столы – и приспособления с горизонтальной осью вращения – стойки.

Применяют различные конструкции приспособлений с делительными устройствами, но все они имеют два характерных конструктив-

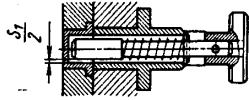
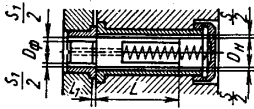
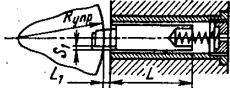
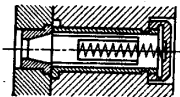
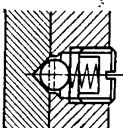
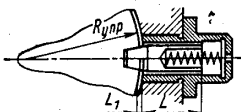
ных элемента: подвижный (прямолинейного перемещения или поворотный) и делительный, обеспечивающий фиксирование подвижного элемента в заданном положении. Устройство представляет собой пару, состоящую из фиксатора и делительного элемента. Делительный элемент связан с поворотной частью приспособления, а фиксатор – с неподвижным корпусом. На поворотной части приспособления устанавливаются базирующие и зажимные элементы. В зависимости от точностных возможностей и конфигурации поверхностей сопряжения фиксатора и делительного диска делительные устройства подразделяют на восемь групп (табл. 4.2). Точность делительного устройства зависит от зазора между фиксатором и направляющей втулкой, зазора между фиксатором и гнездом делительного диска, допуска на межцентровое расстояние гнезд, эксцентриситета между осями наружной и внутренней поверхностей гнезда-втулки, степени износа сопряженных поверхностей.

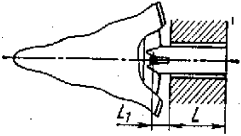
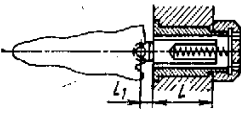
Погрешность Δ_d делительных устройств, показанных на схемах 1, 4, 5, равна зазору S . Погрешность делительных устройств показанных на схемах 2, 7, 8, $\Delta_d = S/L (L + 2L_1)$, где L – длина направляющей части фиксатора; L_1 – длина от торца направляющей втулки фиксатора до периферии делительного диска, а устройств, показанных на схемах 3 и 6,

$$\Delta_d = \frac{S}{1 + \frac{L_1}{R_{пр}} + \frac{L}{R_{пр}}}, \quad (4.11)$$

Погрешность Δ_d увеличивается при увеличении зазора S и уменьшается с увеличением длины направляющей части. Длину направляющей части фиксатора принимают равной 2,5 диаметрам и более. Однако увеличение длины L уменьшает погрешность Δ_d . Погрешность Δ_f , обусловленная зазором S_1 , представляет собой смещение оси гнезда делительного диска. Эта погрешность равна зазору S_1 и имеет место в устройствах, показанных на схемах 1, 2 и 3.

Типы делительных устройств

Фиксатор		Номер группы	Конструктивное исполнение
направляющая часть	фиксирующая часть		
Цилиндрические одинакового диаметра		1	
Цилиндрические различного диаметра		2	
Цилиндрическая	Клиновья (односторонняя)	3	
Цилиндрическая с зазором	Конусная	4	
	Сферическая	5	
Цилиндрическая	Клиновья (двусторонняя)	6	

Фиксатор		Номер группы	Конструктивное исполнение
направляющая часть	фиксирующая часть		
Цилиндрическая	Цилиндрическая	7	
Две параллельные плоскости	Клиновья (двугоронья)	8	

Погрешность Δ_α , обусловленная неточностью взаимного расположения отверстий в делительном диске, зависит от метода обработки. Обработку этих отверстий в большинстве случаев выполняют на координатно-расточных станках с использованием плоских поворотных столов, предельная погрешность угловых перемещений которых 3 – 4" при диаметрах планшайбы 600 – 800 мм и 8" – при диаметрах 200 – 300 мм. Точность межосевых расстояний не зависимо от способа перемещения стола примерно одинакова, однако при диаметрах делительных дисков более 2000 мм эта точность оказывается выше на 30 – 35 % при перемещении стола по прямой, чем при его вращении. Погрешность Δ_ϵ , связанная с неточностью изготовления наружной и внутренней поверхностей втулки, зависит также от метода обработки и равна 0,005 – 0,007 мм. Погрешность $\Delta_{\text{и}}$ устанавливается расчетом, исходя из условия обеспечения требуемой точности обработки.

Погрешности $\Delta_{\text{д}}$, $\Delta_{\text{ф}}$, Δ_α , Δ_ϵ при проектно-точностном расчете относят к категории случайных, а погрешность $\Delta_{\text{и}}$ – к категории систематических. В этом случае суммарная погрешность делительного устройства

$$\Delta = \sqrt{\Delta_{\text{д}}^2 + \Delta_{\text{ф}}^2 + \Delta_\alpha^2 + \Delta_\epsilon^2} + \Delta_{\text{и}}. \quad (4.12)$$

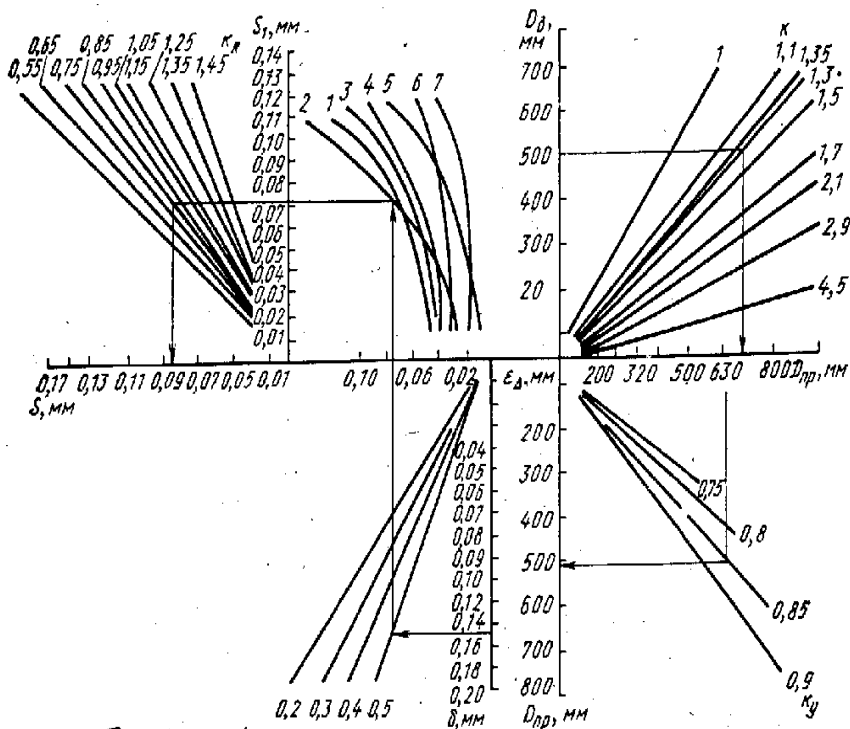


Рис. 4.5. Номограмма для расчета точности делительных устройств

Когда определяют фактическую точность, известными становятся величина и знак погрешностей Δ_α и Δ_ϵ , т.е. их можно отнести к систематическим погрешностям, и суммарная погрешность

$$\Delta = \sqrt{\Delta_d^2 + \Delta_\phi^2} + \Delta_\alpha + \Delta_\epsilon + \Delta_\alpha. \quad (4.13)$$

Формула применима к устройствам, выполненным по схемам 1 и 2. Для устройства, показанного на схеме 3,

$$\Delta = \sqrt{\Delta_d^2 + \Delta_\phi^2 + \Delta_\alpha^2} + \Delta_\alpha; \quad (4.14)$$

для устройства по схеме 5

$$\Delta = 1,1 \cdot \sqrt{\Delta_d^2 + \Delta_\alpha^2} + \Delta_\alpha; \quad (4.15)$$

для устройства по схемам 6, 7, 8

$$\Delta = \sqrt{\Delta_d^2 + \Delta_\alpha^2 + \Delta_\varepsilon^2} + \Delta_{и}. \quad (4.16)$$

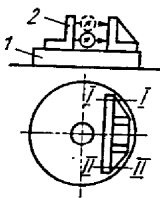
Для расчетов, связанных с определением зазоров S и S_1 при проектировании делительных приспособлений, следует пользоваться номограммой, приведенной на рис. 4.5. Правая часть номограммы позволяет в зависимости от размера D_d и вида закрепления детали определить диаметр $D_{пр}$ планшайбы и размер $R_{пр}$, координирующий положение его делительного устройства. Левая часть номограммы позволяет в зависимости от заданного чертежом допуска на деталь δ определить Δ , выбрать схему конструктивного исполнения делительного устройства и зазор S в зависимости от соотношения координирующих размеров детали R_d и приспособления $R_{пр}$.

4.5. Контроль станочных приспособлений

Контроль приспособлений производится через определенные промежутки времени и по соответствующей методике [29].

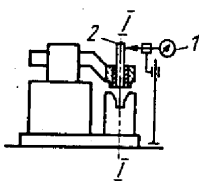
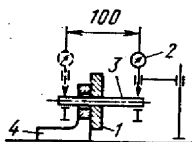
На рисунках, которые представлены ниже приведены схемы проверки соответствующих параметров.

Отклонение от перпендикулярности рабочей поверхности угольника к поверхности планшайбы



На плите устанавливают планшайбу 1. Головка 2 индикаторного угольника настраивается на ноль. Угольник помещают так, чтобы обе головки контактировали с плоскостью угольника, при этом нижняя головка должна показывать ноль. Измерение проводят в направлениях I – I и II – II. Отклонение стрелки верхней головки определяет отклонение от перпендикулярности. Угольник представляет собой компоновку из жесткого угольника с двумя вертикально расположенными индикаторами

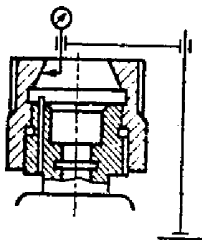
Отклонение от перпендикулярности оси отверстия к плоскости



Прижимную (опорную) плиту 1 прижать к угольнику 4. Установить оправку 3. Индикатор установить так, чтобы кончик касался образующей оправки. Индикатор перемещают в направлении $I-I$. Проверку проводят в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Отклонение определяют как наибольшую разность показаний индикатора

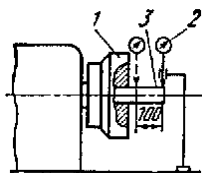
Индикатор 1 устанавливают так, чтобы кончик касался образующей оправки 2, был перпендикулярен к ней. Индикатор перемещают в направлении $I-I$. Измерения проводят по двум диаметрально противоположным образующим оправки при ее повороте на 180° . Отклонение определяют как наибольшую разность показаний индикатора

Радиальное биение цилиндрического и конического отверстий



Для конических отверстий

Индикатор устанавливают так, чтобы кончик касался контролируемой поверхности и был перпендикулярен к оси отверстия. Шпиндель приводят во вращение. Радиальное биение определяют как разность между наибольшим и наименьшим показаниями индикатора

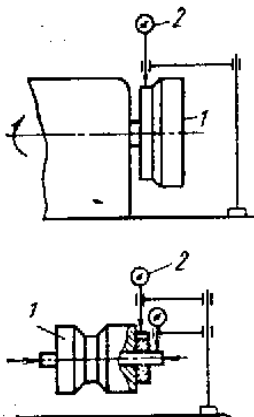


Для цилиндрических отверстий у торца планшайбы на расстоянии 100 мм

В центральное отверстие планшайбы 1 плотно вставляется цилиндрическая оправка 3. Индикатор 2 устанавливается так, чтобы его измерительный кончик касался поверхности оправки. Шпиндель приводится во вращение. Величину радиального биения определяют как разность между наибольшим и наименьшим показаниями индикатора

Радиальное биение наружной цилиндрической поверхности относительно оси вращения

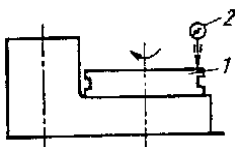
При консольной установке



Приспособление 1 устанавливают на контрольную стойку. Индикатор 2 закрепляют так, чтобы наконечник касался поверхности и был направлен перпендикулярно к ее оси. Приспособление приводят во вращение. Радиальное биение определяют как разность между наибольшим и наименьшим показаниями индикатора

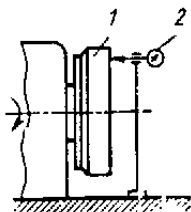
Торцовое биение контролируемой поверхности относительно оси вращения

При горизонтальной оси

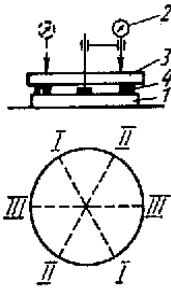


На стойку устанавливают приспособление 1. Индикатор 2 устанавливают так, чтобы наконечник касался у периферии торцовой поверхности приспособления и был перпендикулярен к ней. Приспособление приводят во вращение. Измерение проводят не менее чем в двух диаметрально противоположных точках. Торцовое биение определяют как разность между наибольшим и наименьшим показаниями индикатора

При вертикальной оси

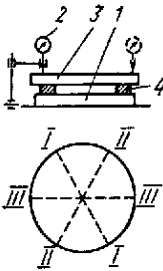


Отклонение от плоскости



На поверхности 1, в направлениях I – I, II – II, III – III на двух регулируемых опорах 4 (плоскопараллельных концевых мерах длины) устанавливают контрольную линейку 3 до получения одинаковых показаний индикатора 2 на концах линейки. По длине линейки более 300 мм опоры должны устанавливаться на расстоянии 2 – 3 мм от края линейки. На контролируемой поверхности перемещают индикатор так, чтобы его наконечник касался поверхности линейки и был перпендикулярен к ней. Отклонение определяют как наибольшую алгебраическую разность показаний индикатора в каждом положении

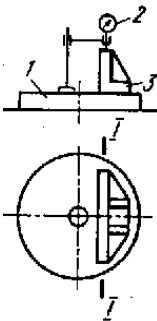
Отклонение от параллельности рабочих поверхностей основанию



На поверхности приспособления 1 на двух регулируемых опорах 4 (плоскопараллельных концевых мерах длины) устанавливают контрольную линейку 3 до получения одинаковых показаний индикатора 2 на концах линейки. При длине линейки более 500 мм опоры должны устанавливаться на 2 – 3 мм от края линейки. По плите перемещают индикатор так, чтобы его наконечник касался поверхности линейки и был перпендикулярен к ней.

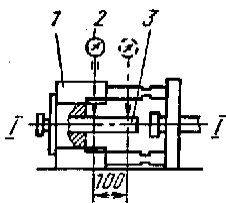
Отклонения определяют как наибольшую алгебраическую разность показаний индикатора в каждом положении линейки

Отклонение от параллельности рабочих плоскостей между собой



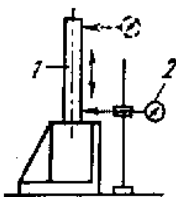
На плите устанавливают планшайбу 1 с закрепленным на ней угольником 3. На поверхности планшайбы устанавливают индикатор 2 так, чтобы его наконечник касался торца угольника перпендикулярно к нему. Измерение проводят в направлении I – I. Отклонение определяют как наибольшую алгебраическую разность показаний индикатора в крайних положениях

Отклонение от параллельности поверхностей баз к оси центрирующего отверстия



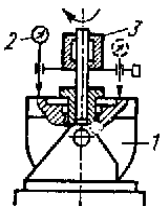
В отверстие кондуктора 1 вставляют цилиндрическую оправку 3. Индикатор 2 устанавливают так, чтобы его наконечник касался оправки. Перемещают подставку индикатора в направлении $I-I$. Измерение проводят по двум диаметрально противоположным образующим оправки при ее повороте на 180° . Отклонение определяют средней алгебраической разностью обоих измерений

Отклонение от перпендикулярности оси направляющей колонки



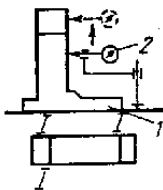
Индикатор 2 устанавливают так, чтобы его наконечник касался образующей колонки 1 и был перпендикулярен к ней. Индикатор перемещают в вертикальном направлении. Измерения проводят по двум диаметрально противоположным образующим колонки при ее повороте на 180° . Отклонение определяют как наибольшую разность показаний индикатора

Отклонение от перпендикулярности оси центрирующего отверстия рабочей плоскости



Индикатор 2 устанавливают так, чтобы наконечник касался плоскости 1 и был перпендикулярен к ней. Индикатор перемещают, вращая вертушку 3. Отклонение определяют как половину разности наибольшего и наименьшего показаний индикатора

Отклонение от перпендикулярности вертикальной плоскости к основанию



Индикатор 2 устанавливают так, чтобы наконечник касался проверяемой поверхности и был перпендикулярен в ней. Индикатор перемещают в направлениях $I-I$. Отклонение определяют как наибольшую разность показаний индикатора

4.6. Задачи для практических решений

Задача 1. Определить исполнительный размер установочной поверхности оправки d , сформулировать технические требования и определить допустимый предел износа. Операция выполняется на токарном станке, биение шпинделя которого не превышает 0,015 мм (рис. 4.6 и табл. 4.3).

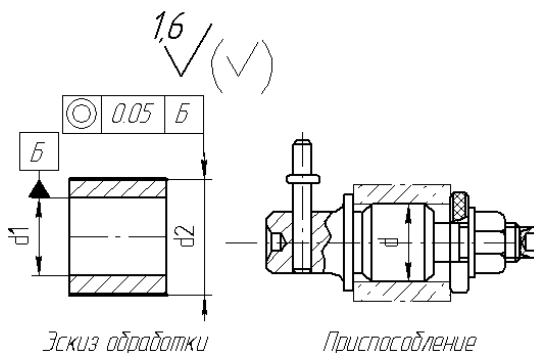


Рис. 4.6

Таблица 4.3

Условия задач

№ варианта	d_1 , мм	Отклонение соосности, мм
1.1	$40^{+0.027}$	0.02
1.2	$45^{+0.027}$	0.02
1.3	$50^{+0.027}$	0.03
1.4	$55^{+0.027}$	0.04
1.5	$60^{+0.275}$	0.02
1.6	$70^{+0.027}$	0.02
1.7	$45^{+0.027}$	0.03
1.8	$50^{+0.027}$	0.04
1.9	$55^{+0.027}$	0.05
1.10	$40^{+0.027}$	0.05
1.11	$65^{+0.027}$	0.05
1.12	$75^{+0.027}$	0.05
1.13	$45^{+0.027}$	0.02
1.14	$80^{+0.027}$	0.03
1.15	$40^{+0.027}$	0.03

Задача 2. Определить исполнительный размер и предел допустимого износа установочной поверхности пальца d , назначить отклонения на размер m к приспособлению для растачивания отверстия в головке шатуна согласно эскизу обработки. Фиксация условного положения детали производится с помощью «ложного» пальца. Условиями установки и выверки приспособления на станке задаться (рис. 4.7 и табл.4.4).

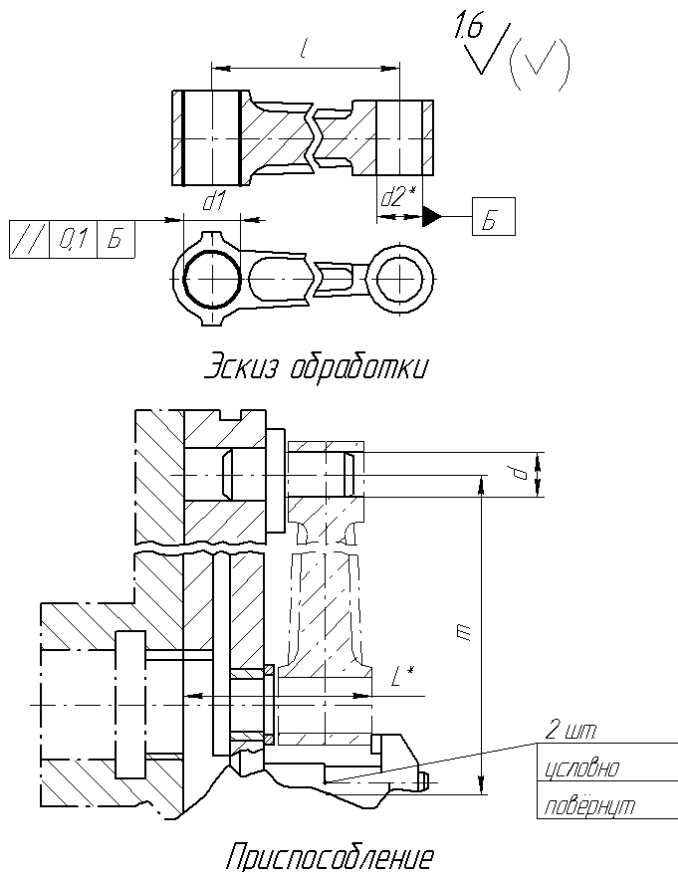


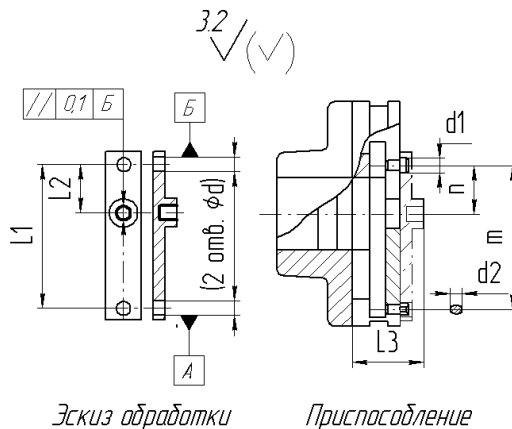
Рис. 4.7

Условия задач

№ варианта	d_1 , мм	d_2^* , мм	L^* , мм	l , мм
2.1	15h7	25h7	80	170±0.05
2.2	25h9	30h7	75	175±0.05
2.3	30h8	25h7	80	180±0.05
2.4	35h7	20h9	70	190±0.05
2.5	30h9	20h9	75	175±0.02
2.6	25h9	25h9	80	180±0.03
2.7	30h9	25h9	85	190±0.03
2.8	30h8	30h8	90	175±0.03
2.9	15h8	25h8	95	180±0.04
2.10	25h9	20h8	85	195±0.04
2.11	30h8	25h7	80	170±0.04
2.12	45h8	25h7	80	180±0.04
2.13	35h8	20h8	95	180±0.02
2.14	40h8	30h9	90	175±0.02
2.15	35h9	25h9	75	170±0.05

Задача 3. Определить исполнительные размеры и пределы допустимого износа установочных поверхностей пальцев d_1 и d_2 , размеры m и n к приспособлению для растачивания отверстия у детали согласно эскизу обработки. Сформулировать технические требования. Условиями установки и выверки приспособления на станке задаться. Размеры в скобках – для сведения (рис. 4.8 и табл. 4.5).

Рис. 4.8



Условия задач

№ варианта	d , мм	L_1 , мм	L_2 , мм	L_3 , мм
3.1	12h7	120±0.05	40±0.05	45
3.2	24h7	125±0.05	45±0.05	50
3.3	15h8	120±0.05	35±0.05	40
3.4	15h7	120±0.02	50±0.02	35
3.5	20h9	125±0.02	55±0.02	45
3.6	25h9	130±0.03	40±0.03	60
3.7	12h9	120±0.04	40±0.03	35
3.8	15h9	125±0.04	45±0.04	50
3.9	15h8	125±0.04	50±0.04	60
3.10	20h8	125±0.02	45±0.05	40
3.11	30h8	130±0.02	45±0.03	55
3.12	35h7	135±0.02	50±0.02	40
3.13	15h7	125±0.05	55±0.04	45
3.14	24h8	130±0.02	45±0.03	55
3.15	24h9	120±0.02	50±0.02	50

Задача 4. Определить исполнительные размеры пневматического силового привода (тип силового привода выбрать) для закрепления детали, обрабатываемой на токарном станке, если известно P_Z . Влиянием силы P_X пренебречь. Размеры в скобках – для сведения (рис. 4.9 и табл. 4.6).

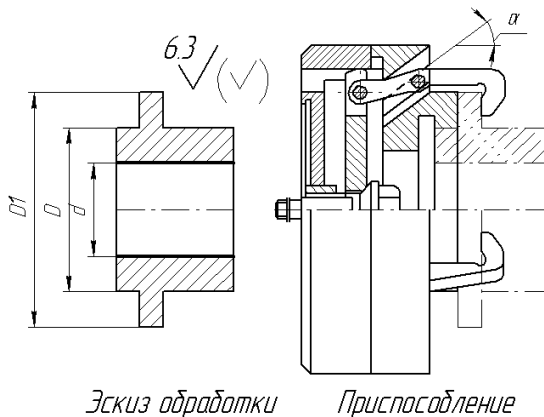


Рис. 4.9
213

Условия задач

№ варианта	D_1 , мм	D , мм	d , мм	P_z , Н
4.1	100	70	40	500
4.2	120	80	45	650
4.3	125	90	55	600
4.4	100	75	50	800
4.5	150	95	60	750
4.6	115	70	40	100
4.7	110	75	40	900
4.8	100	70	40	500
4.9	120	80	45	550
4.10	125	90	55	600
4.11	100	75	50	700
4.12	150	95	60	750
4.13	115	70	40	800
4.14	110	75	50	1000
4.15	100	70	40	650

Задача 5. Определить размеры пневматического цилиндра поршневого типа для закрепления детали в цанговом патроне при обработке ее согласно эскизу. Операция выполняется на токарном станке, сила резания P_z (рис. 4.10 и табл. 4.7).

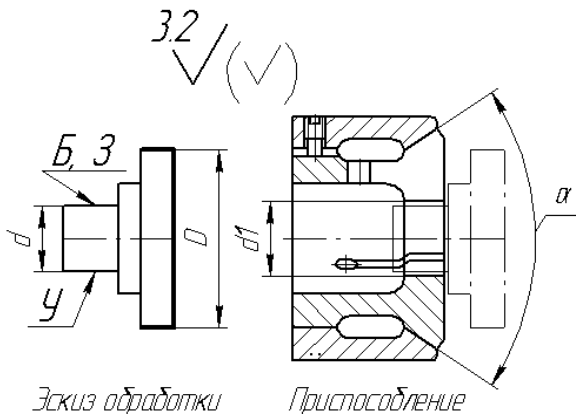


Рис. 4.10

Условия задач

№ варианта	D , мм	d , мм	d_1 , мм	P_Z , Н	α
5.1	80	30h7	40h7	500	30°
5.2	85	25h9	45h9	600	35°
5.3	90	30h8	40h8	750	40°
5.4	85	35h7	35h7	850	30°
5.5	70	30h9	30h9	900	35°
5.6	75	25h9	45h9	1000	40°
5.7	95	30h9	35h9	650	30°
5.8	100	30h8	30h8	1500	35°
5.9	75	30h8	45h8	1400	30°
5.10	85	25h9	30h9	550	35°
5.11	70	30h8	35h8	1200	40°
5.12	75	45h8	45h8	1100	30°
5.13	95	35h8	35h8	1400	40°
5.14	85	40h8	40h8	850	35°
5.15	90	35h9	35h9	800	40°

Задача 6. Определить усилие рабочего, прикладываемое к концу гаечного ключа для закрепления детали на оправке согласно эскизу. Операция выполняется на токарном станке, силы резания P_Z . Недостающими размерами, необходимыми для расчета, задаться (рис. 4.11 и табл. 4.8).

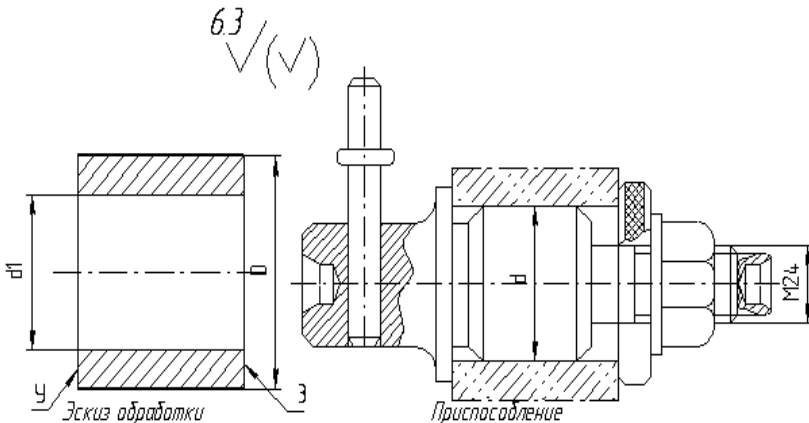


Рис. 4.11

Таблица 4.8

Условия задач

№ варианта	D , мм	d , мм	P_z , Н
6.1	60	40	500
6.2	65	45	600
6.3	70	50	750
6.4	60	40	850
6.5	70	45	900
6.6	65	40	1000
6.7	55	35	650
6.8	50	30	1500
6.9	60	35	1400
6.10	65	40	550
6.11	60	30	1200
6.12	70	55	1100
6.13	65	40	1400
6.14	55	30	850
6.15	50	30	800

Задача 7. Определить исполнительные размеры n , t и пределы допустимого износа поверхностей, сформулировать технические требования к токарному приспособлению для растачивания отверстия у детали согласно эскизу обработки. Условиями установки и выверки приспособления на станке задаться (рис. 4.12 и табл. 4.9).

Таблица 4.9

Условия задач

№ варианта	H , мм	h , мм
7.1	75±0.1	50±0.05
7.2	70±0.05	45±0.07
7.3	65±0.05	35±0.08
7.4	75±0.05	50±0.08
7.5	65±0.08	55±0.09
7.6	60±0.09	40±0.07
7.7	75±0.05	40±0.12
7.8	70±0.07	45±0.10
7.9	80±0.09	50±0.12
7.10	75±0.10	45±0.05
7.11	80±0.12	45±0.06
7.12	65±0.09	50±0.07
7.13	60±0.06	55±0.08
7.14	70±0.06	45±0.09
7.15	45±0.03	50±0.12

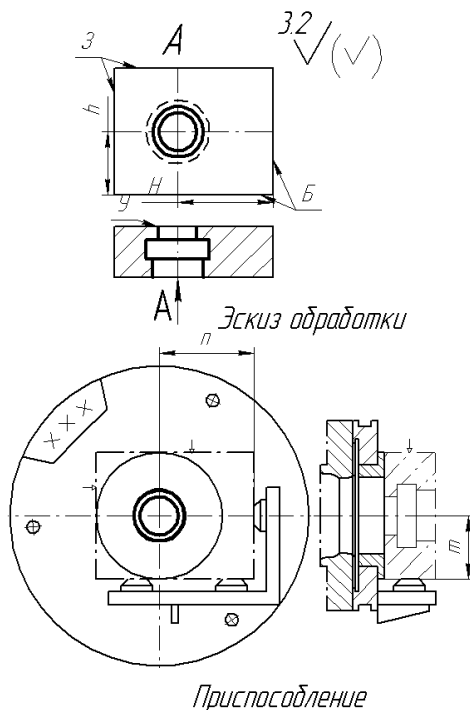


Рис. 4.12

Задача 8. Определить исполнительные размеры d_1, d_2, d_3, d_4, m , α . Назначить посадки сопряжений d_5 и d_6 , и произвести поверочный точностной расчет кондуктора для обработки шести отверстий $\varnothing \dots H8$ у детали согласно эскизу. Размеры в скобках – для сведения (рис. 4.13 и табл. 4.10).

Таблица 4.10

Условия задач

№ варианта	D , мм	d , мм	d_7 , мм	h , мм	β
8.1	100	60h9	10h8	25±0.1	60°
8.2	90	50h8	15h10	15±0.05	60°
8.3	95	40h7	10h10	20±0.05	65°
8.4	105	30h9	15h10	20±0.1	50°

№ варианта	D , мм	d , мм	d_7 , мм	h , мм	β
8.5	100	20h8	10h11	15±0.05	55°
8.6	95	25h7	15h11	15±0.1	60°
8.7	90	45h9	10h11	20±0.1	65°
8.8	105	35h8	15h8	25±0.1	55°
8.9	100	55h8	10h8	15±0.05	65°
8.10	90	50h8	20h8	20±0.05	50°
8.11	95	45h9	15h9	15±0.1	65°
8.12	105	35h9	20h9	15±0.1	60°
8.13	100	30h9	10h9	20±0.1	65°
8.14	95	50h7	15h10	15±0.05	55°
8.15	90	40h8	20h10	20±0.05	60°

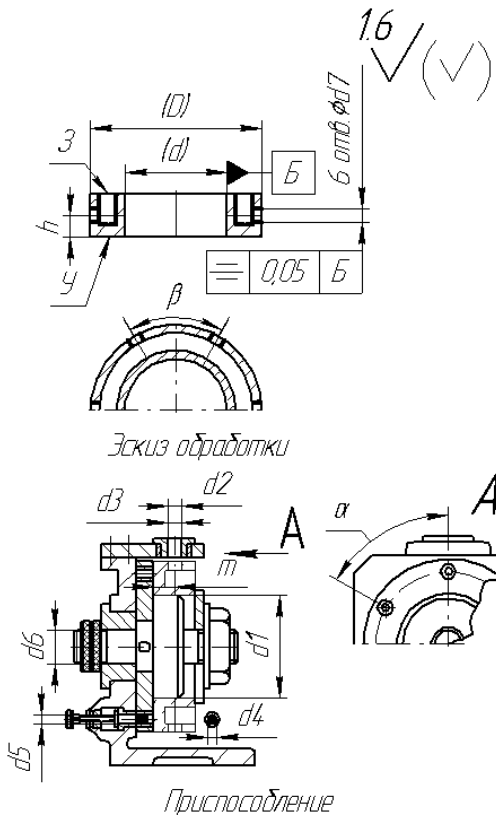


Рис. 4.13
218

Задача 9. Определить исполнительные размеры d_1 , d_2 , d_3 , m , сформулировать технические требования и произвести проверочный точностной расчет кондуктора для обработки отверстия $\Phi 10A_3$ согласно эскизу. Размеры в скобках – для сведения (рис. 4.14 и табл. 4.11).

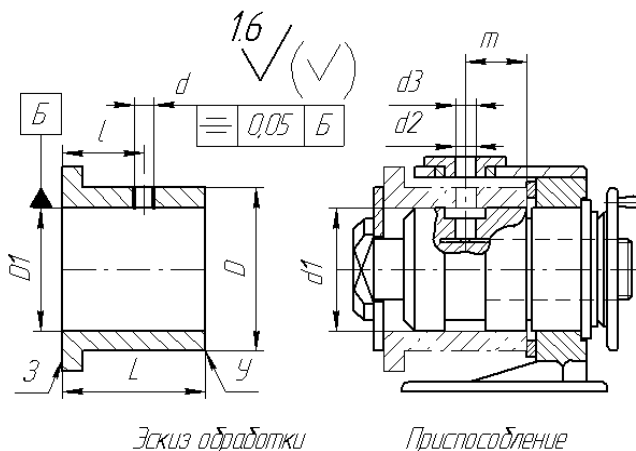


Рис. 4.14

Таблица 4.11

Условия задач

№ варианта	D , мм	D_1 , мм	d , мм	L_1 , мм	L_2 , мм
9.1	80	60h9	10h8	70 _{-0.2}	40±0.2
9.2	85	60h9	15h10	75 _{-0.2}	40±0.05
9.3	80	50h8	10h10	75 _{-0.2}	45±0.05
9.4	90	60h7	20h10	60 _{-0.2}	35±0.05
9.5	95	55h9	20h8	65 _{-0.2}	50±0.02
9.6	80	60h8	15h9	70 _{-0.2}	55±0.02
9.7	85	65h7	15h9	70 _{-0.2}	40±0.03
9.8	90	55h9	10h8	75 _{-0.2}	40±0.03
9.9	80	50h8	10h10	60 _{-0.2}	45±0.04
9.10	85	55h8	10h8	80 _{-0.2}	50±0.04
9.11	80	50h8	15h9	75 _{-0.2}	45±0.05
9.12	90	60h9	15h9	70 _{-0.2}	45±0.03
9.13	95	65h9	20h9	70 _{-0.2}	50±0.02
9.14	80	60h9	20h10	85 _{-0.2}	55±0.04
9.15	85	50h7	10h10	70 _{-0.2}	45±0.03

Задача 10. Определить исполнительные размеры d_1 , d_2 , d_3 , α кондуктора для обработки отверстия $D6^{+0.025}$ у детали согласно эскизу. Произвести поверочный точностной расчет, сформулировав технические требования. Размеры в скобках – для сведения (рис. 4.15 и табл. 4.12).

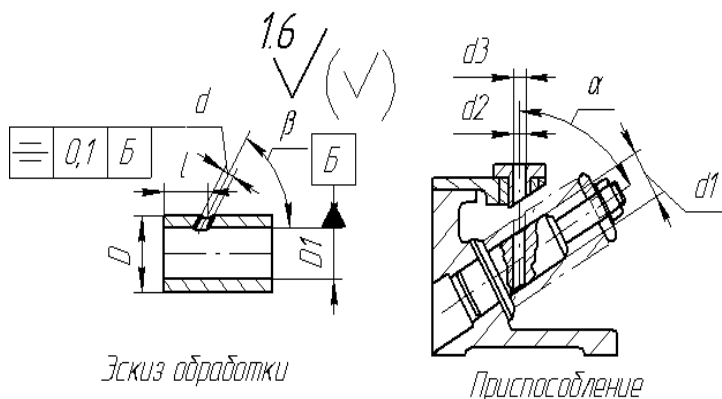


Рис. 4.15

Таблица 4.12

Условия задач

№ варианта	D , мм	D_1 , мм	d , мм	β
10.1	30h8	10h8	5h8	60°
10.2	35h9	15h10	5h9	45°
10.3	35h9	10h10	10h9	55°
10.4	30h8	20h10	5h8	65°
10.5	30h7	20h8	10h7	55°
10.6	35h9	15h9	5h9	60°
10.7	40h8	15h9	10h8	65°
10.8	40h7	20h8	10h7	70°
10.9	45h9	20h10	5h9	65°
10.10	50h8	25h8	10h8	50°
10.11	45h8	20h9	5h8	65°
10.12	50h8	25h9	5h8	60°
10.13	35h9	20h9	5h9	65°
10.14	55h9	20h10	5h9	55°
10.15	40h9	15h8	5h9	60°

Задача 11. Определить исполнительные размеры d_1 , d_2 , d_3 , сформулировать технические требования и произвести поверочный точностной расчет кондуктора для сверления шести отверстий у детали согласно эскизу обработки. Размеры в скобках – для сведения (рис. 4.16 и табл. 4.13).

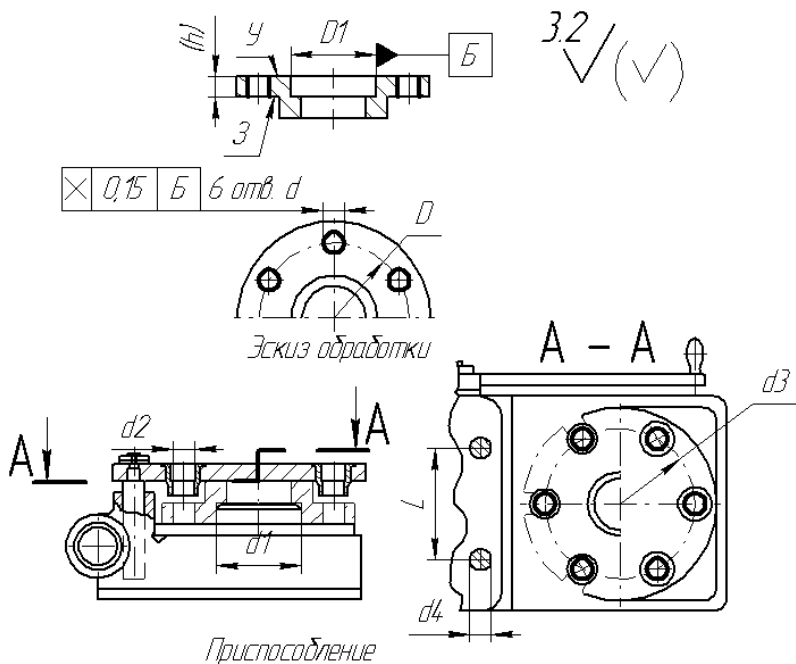


Рис. 4.16

Таблица 4.13

Условия задач

№ варианта	D , мм	D_1 , мм	d , мм	d_4 , мм	l , мм	(h) , мм
11.1	110	40h8	10h8	25	12±0.01	15
11.2	100	35h9	5h9	20	15±0.02	10
11.3	120	55h9	10h9	25	10±0.03	15
11.4	125	60h8	5h8	30	10±0.01	10
11.5	100	30h7	10h7	20	15±0.01	15
11.6	150	55h9	5h9	35	20±0.05	10
11.7	115	40h8	10h8	20	15±0.01	10

№ варианта	D , мм	D_1 , мм	d , мм	d_4 , мм	l , мм	(h) , мм
11.8	110	40h7	10h7	20	15±0.01	10
11.9	100	45h9	5h9	20	10±0.03	15
11.10	120	50h8	10h8	25	15±0.01	15
11.11	125	45h8	15h8	25	20±0.05	15
11.12	100	50h8	5h8	20	10±0.01	15
11.13	150	40h9	15h9	30	15±0.01	15
11.14	115	55h9	5h9	25	10±0.05	10
11.15	110	40h9	5h9	20	15±0.01	10

Задача 12. Определить исполнительные размеры d_1 , d_2 , d_3 , m , сформулировать технические требования и произвести поверочный точностной расчет кондуктора для обработки отверстий у детали согласно эскизу. Размеры в скобках – для сведения (рис. 4.17 и табл. 4.14).

Таблица 4.14

Условия задач

№ варианта	D , мм	d , мм	d_4 , мм	b , мм
12.1	30	5	5	25
12.2	35	10	5	20
12.3	45	10	5	20
12.4	30	5	5	20
12.5	40	5	5	25
12.6	30	5	5	25
12.7	35	5	5	20
12.8	40	10	5	20
12.9	40	10	5	25
12.10	45	10	5	30
12.11	30	5	5	30
12.12	40	5	5	30
12.13	30	5	5	25
12.14	35	10	5	30
12.15	40	5	5	35

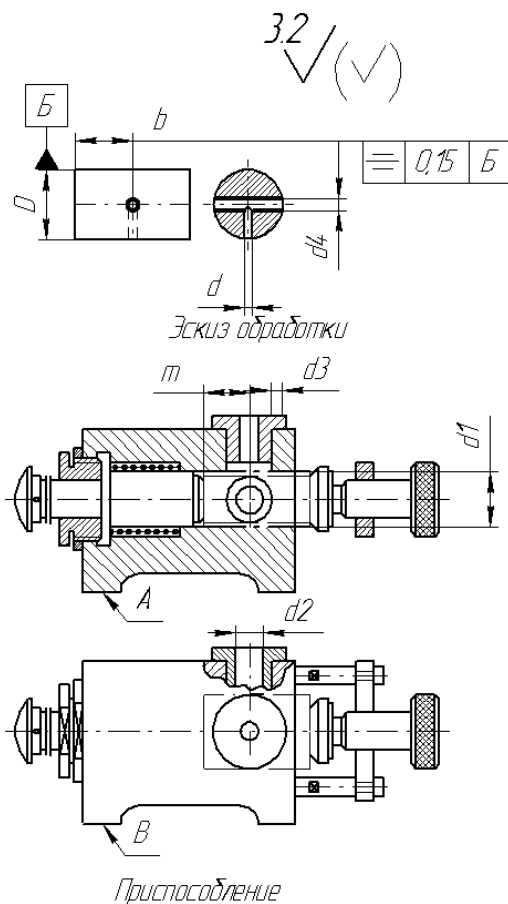


Рис. 4.17

Задача 13. Определить исполнительные размеры d_1 , d_2 , d_3 , сформулировать технические требования и произвести поверочный точностной расчет кондуктора для сверления шести отверстий у детали согласно эскизу обработки. Размеры в скобках – для сведения (рис. 4.18 и табл. 4.15).

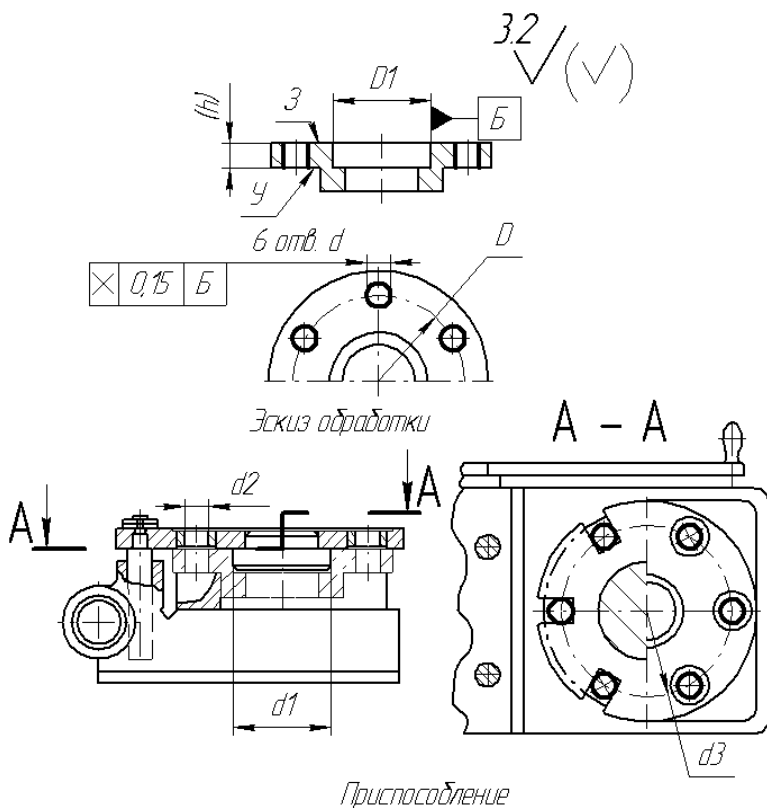


Рис. 4.18

Таблица 4.15

Условия задач

№ варианта	D , мм	D_1 , мм	d , мм	(h) , мм
13.1	110	40h8	10h8	15
13.2	110	35h9	5h9	10
13.3	100	55h9	10h9	10
13.4	120	60h8	5h8	10
13.5	125	30h7	10h7	10
13.6	100	55h9	5h9	15
13.7	150	40h8	10h8	15
13.8	115	40h7	10h7	15
13.9	110	45h9	5h9	10

№ варианта	D , мм	D_1 , мм	d , мм	(h) , мм
13.10	100	50h8	10h8	15
13.11	120	45h8	15h8	10
13.12	125	50h8	5h8	15
13.13	100	40h9	15h9	10
13.14	150	55h9	5h9	15
13.15	115	40h9	5h9	10

Задача 14. Определить исполнительные размеры d_1 , d_2 , d_3 , n , m , k , сформулировать технические требования и произвести поверочный точностной расчет кондуктора для сверления отверстия $D10H8$ у детали согласно эскизу обработки (* – размеры для справок) (рис. 4.19 и табл. 4.16).

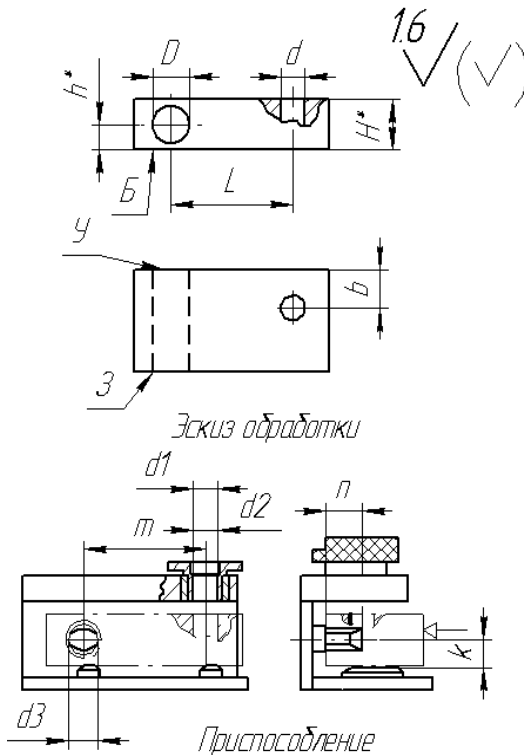


Рис. 4.19

Таблица 4.16

Условия задач

№ варианта	D , мм	d , мм	h^* , мм	b , мм	L , мм
14.1	15h8	10h8	10±0.05	15±0.1	50±0.1
14.2	20h9	15h9	15±0.05	15±0.05	50±0.05
14.3	25h9	15h9	20±0.05	20±0.05	55±0.05
14.4	15h8	10h8	10±0.05	10±0.05	50±0.05
14.5	15h7	10h7	10±0.05	10±0.05	45±0.05
14.6	20h9	15h9	15±0.02	15±0.1	50±0.1
14.7	20h8	10h8	10±0.02	20±0.1	50±0.1
14.8	25h7	15h7	10±0.03	10±0.1	45±0.1
14.9	15h9	10h9	15±0.05	15±0.05	50±0.05
14.10	20h8	15h8	10±0.05	20±0.05	45±0.05
14.11	20h8	15h7	15±0.03	15±0.1	40±0.1
14.12	20h8	20h9	15±0.04	15±0.1	50±0.1
14.13	15h9	10h8	5±0.05	5±0.15	40±0.15
14.14	15h7	15h7	10±0.02	10±0.05	50±0.05
14.15	20h9	20h9	10±0.03	15±0.1	45±0.05

Задача 15. Определить исполнительные размеры и пределы износа установочных поверхностей пальцев d_1 и d_2 , назначить размеры d_3 и t и сформулировать технические требования к приспособлению для фрезерования головки шатуна согласно эскизу обработки. Условиями установки и выверки приспособления на станке задаться. Размеры в скобках – для сведения (рис. 4.20 и табл. 4.17).

Таблица 4.17

Условия задач

№ варианта	d_1 , мм	d_2 , мм	d_3 , мм	l_1 , мм
15.1	30	15h8	35h8	240±0.05
15.2	25	20h9	35h9	215±0.05
15.3	25	25h9	35h9	220±0.05
15.4	25	15h8	30h8	210±0.05
15.5	30	15h7	40h7	240±0.05
15.6	30	20h9	35h9	215±0.1
15.7	30	20h8	40h8	220±0.1
15.8	30	25h7	40h7	240±0.1
15.9	25	15h9	35h9	215±0.05
15.10	25	20h8	40h8	230±0.05
15.11	25	20h8	35h8	225±0.1
15.12	30	20h8	40h8	235±0.1
15.13	30	15h9	40h9	235±0.15
15.14	30	15h7	40h8	240±0.05
15.15	30	20h9	40h9	220±0.05

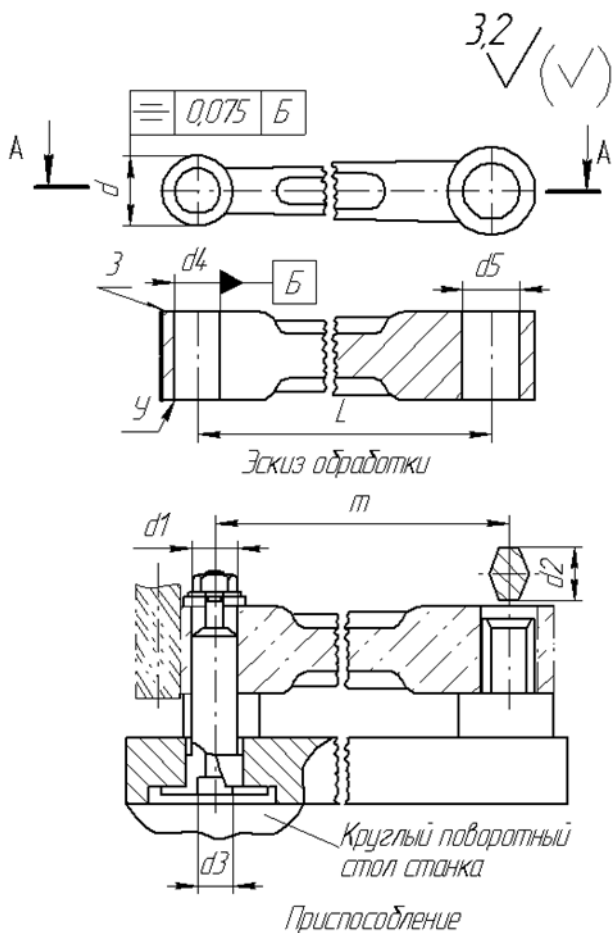
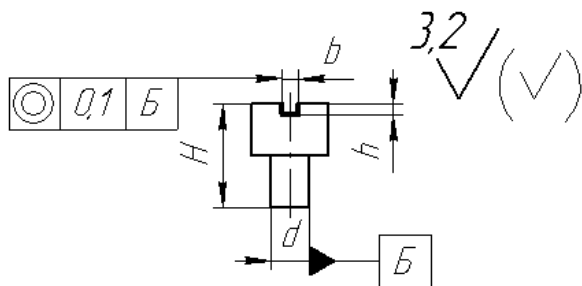
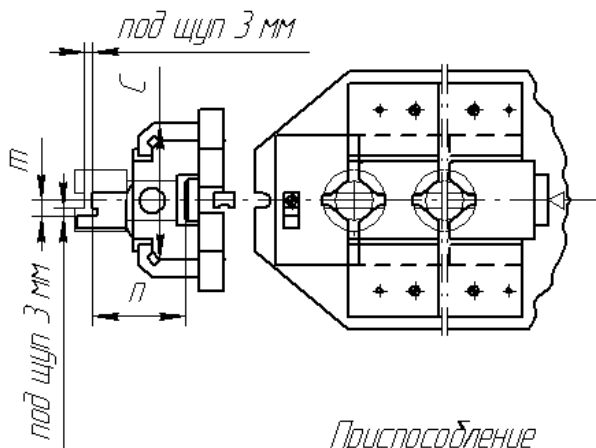


Рис. 4.20

Задача 16. Определить размеры m и n , назначить размер C и посадку, сформулировать технические требования и произвести точностной расчет приспособления для фрезерования паза у детали согласно эскизу обработки. Размеры в скобках – для сведения (рис. 4.21 и табл. 4.18).



Эскиз обработки



Приспособление

Рис. 4.21

Таблица 4.18

Условия задач

№ варианта	H , мм	d , мм	h , мм	b , мм
16.1	$40_{-0.17}$	15h8	$5^{+0.3}$	5
16.2	$40_{-0.17}$	20h9	$5^{+0.3}$	10
16.3	$55_{-0.17}$	25h9	$5^{+0.3}$	10
16.4	$55_{-0.17}$	15h8	$5^{+0.3}$	5
16.5	$50_{-0.17}$	205h7	$10^{+0.3}$	5
16.6	$55_{-0.17}$	25h9	$10^{+0.3}$	10
16.7	$50_{-0.17}$	25h8	$10^{+0.3}$	10
16.8	$40_{-0.17}$	25h7	$5^{+0.3}$	15
16.9	$45_{-0.17}$	15h9	$5^{+0.3}$	5

№ варианта	H , мм	d , мм	h , мм	b , мм
16.10	40 _{-0.17}	20h8	5 ^{+0.3}	5
16.11	40 _{-0.17}	20h8	5 ^{+0.3}	5
16.12	55 _{-0.17}	25h7	10 ^{+0.3}	10
16.13	50 _{-0.17}	15h9	5 ^{+0.3}	5
16.14	50 _{-0.17}	25h7	5 ^{+0.3}	10
16.15	35 _{-0.17}	20h9	15 ^{+0.3}	10

Задача 17. Определить исполнительный размер и допустимый предел износа установочной поверхности пальца d_1 , сформулировать технические требования к приспособлению для фрезерования паза согласно эскизу обработки. Размеры в скобках – для сведения (рис. 4.22 и табл. 4.19).

Таблица 4.19

Условия задач

№ варианта	d_1 , мм	Отклонение от симметричности, мм	D , мм	l , мм	b , мм	h , мм
17.1	50 ^{+0.05}	0.15	65	55	5	60
17.2	55 ^{+0.05}	0.1	60	60	5	55
17.3	50 ^{+0.1}	0.1	65	60	5	60
17.4	60 ^{+0.05}	0.1	65	55	5	60
17.5	50 ^{+0.1}	0.15	60	60	5	55
17.6	50 ^{+0.05}	0.15	60	60	5	50
17.7	65 ^{+0.1}	0.1	55	60	5	40
17.8	50 ^{+0.05}	0.15	55	50	5	40
17.9	60 ^{+0.1}	0.15	65	55	5	50
17.10	55 ^{+0.05}	0.1	65	55	5	50
17.11	50 ^{+0.1}	0.15	65	60	5	60
17.12	60 ^{+0.05}	0.15	60	60	5	60
17.13	50 ^{+0.1}	0.1	65	50	5	55
17.14	50 ^{+0.05}	0.15	65	55	5	50
17.15	65 ^{+0.1}	0.15	60	55	5	40

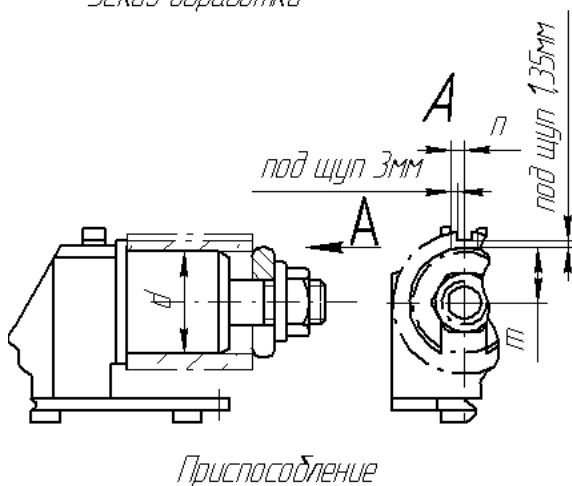
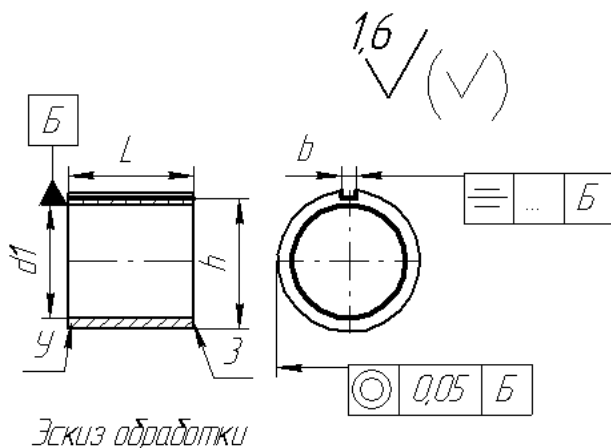
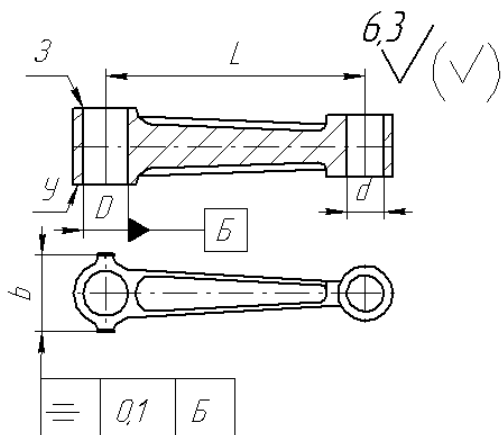
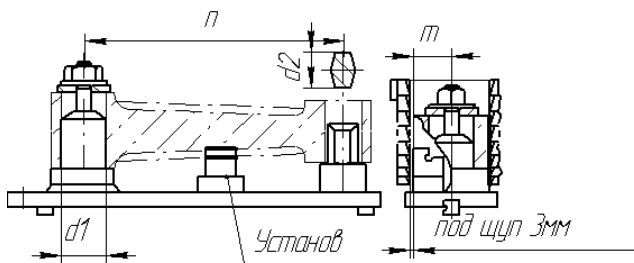


Рис. 4.22

Задача 18. Определить исполнительные размеры и предел допустимого износа установочных поверхностей пальцев d_1 и d_2 , размеры m и n , сформулировать технические требования к приспособлению для фрезерования боковых сторон головки шатуна. Размеры в скобках – для сведения (рис. 4.23 и табл. 4.20).



Эскиз обработки



Приспособление

Рис. 4.23

Таблица 4.20

Условия задач

№ варианта	D , мм	d , мм	l , мм	b , мм
18.1	$40^{+0.05}$	$25^{+0.05}$	170 ± 0.05	70
18.2	$50^{+0.05}$	$30^{+0.05}$	170 ± 0.05	75
18.3	$55^{+0.05}$	$25^{+0.05}$	175 ± 0.1	60
18.4	$50^{+0.1}$	$30^{+0.1}$	180 ± 0.05	65
18.5	$60^{+0.05}$	$35^{+0.05}$	190 ± 0.05	75
18.6	$50^{+0.1}$	$30^{+0.1}$	175 ± 0.1	70
18.7	$50^{+0.05}$	$25^{+0.05}$	180 ± 0.1	65

№ варианта	D , мм	d , мм	l , мм	b , мм
18.8	$65^{+0.1}$	$40^{+0.1}$	190 ± 0.05	75
18.9	$50^{+0.05}$	$20^{+0.05}$	175 ± 0.1	70
18.10	$60^{+0.1}$	$30^{+0.1}$	180 ± 0.05	70
18.11	$55^{+0.05}$	$25^{+0.05}$	195 ± 0.05	70
18.12	$50^{+0.05}$	$30^{+0.05}$	170 ± 0.1	75
18.13	$55^{+0.05}$	$20^{+0.05}$	180 ± 0.05	85
18.14	$50^{+0.1}$	$35^{+0.1}$	180 ± 0.1	75
18.15	$55^{+0.05}$	$25^{+0.05}$	175 ± 0.05	70

Задача 19. Определить диаметр резьбы и усилие рабочего, прикладываемое к концу гаечного ключа для закрепления детали в приспособлении. Операция выполняется на горизонтально-фрезерном станке дисковой фрезой с P_Z (рис. 4.24 и табл. 4.21).

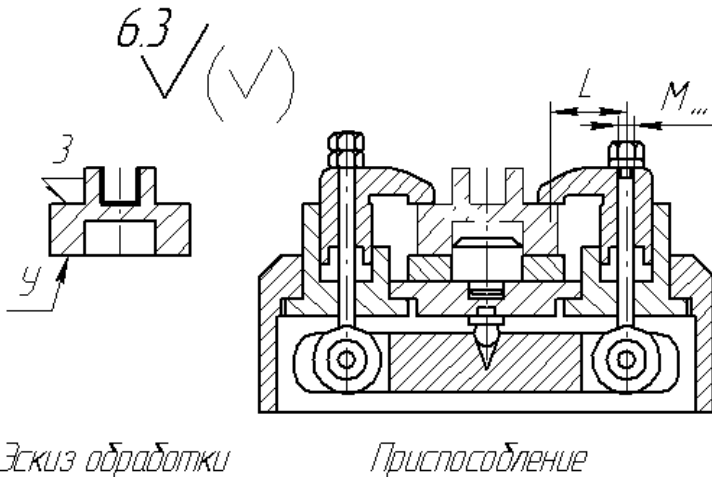


Рис. 4.24

Условия задач

№ варианта	$P_z, \text{Н}$	$L, \text{мм}$
	500	40
19.1	550	100
19.2	650	75
19.3	600	85
19.4	750	65
19.5	1200	55
19.6	800	95
19.7	900	100
19.8	1000	65
19.9	1500	85
19.10	1400	80
19.11	1300	65
19.12	1350	75
19.13	1450	70
19.14	1100	100

Задача 20. Определить исполнительные размер установочной поверхности оправки d и допустимый предел износа ее для выполнения операции долбления 40 зубьев у детали согласно эскизу обработки. Долбяк дисковый, $m = 2,5$, $z = 40$, биение шпинделя станка $0,02$ (* – размеры для справок) (рис. 4.25 и табл. 4.22).

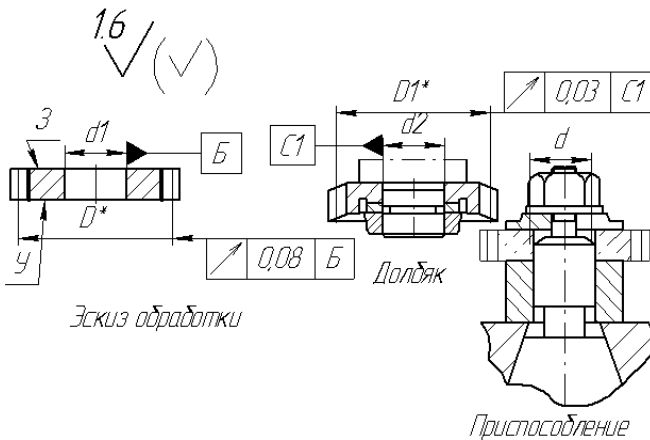


Рис. 4.25

Таблица 4.22

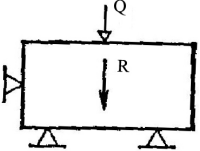
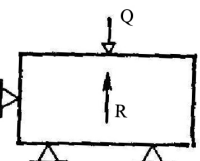
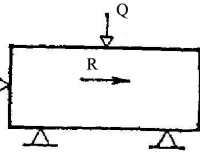
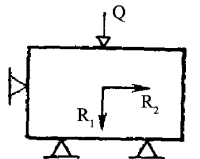
Условия задач

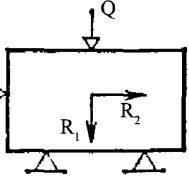
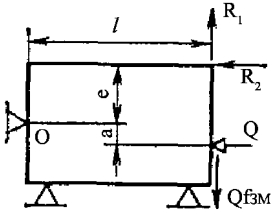
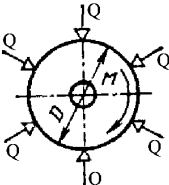
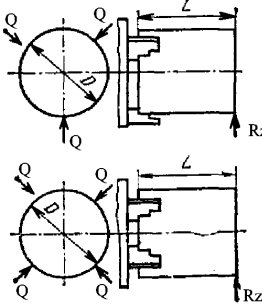
№ варианта	D^* , мм	D_1^* , мм	d_1 , мм	d_2 , мм
20.1	100	100	4h7	40
20.2	90	90	45h7	45
20.3	95	95	35h7	35
20.4	100	100	30h7	30
20.5	105	105	40h7	35
20.6	95	95	35h7	50
20.7	90	90	45h7	50
20.8	90	90	40h7	45
20.9	95	95	35h7	40
20.10	085	085	40h7	35
20.11	85	85	35h7	30
20.12	80	80	40h7	55
20.13	100	100	45h7	50
20.14	80	80	40h7	40
20.15	85	85	40h7	30

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

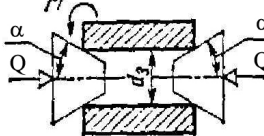
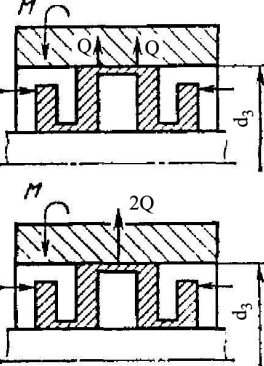
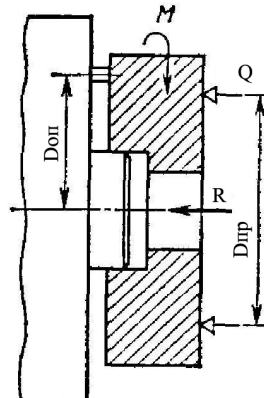
Таблица П.1.1

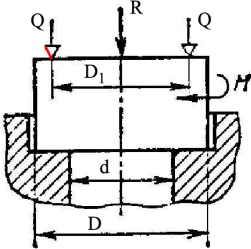
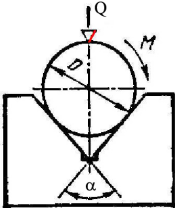
Расчетные схемы и формулы для вычисления сил закрепления Q заготовок

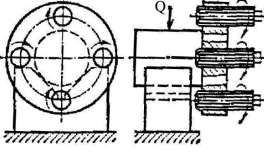
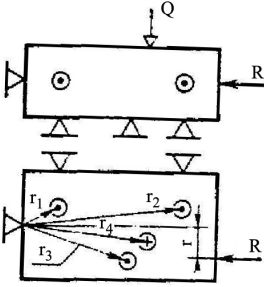
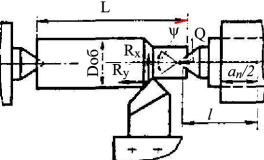
Расчетная схема	Пояснение к схеме	Формула
	<p>Силы R и Q прижимают заготовку к опорам (протягивание отверстий, цекование бобышек и др.)</p>	<p>При $R = \text{const}$ $Q = 0$ при $R = \text{var}$ $Q > 0$ (для устранения зазоров в системе и вибрации)</p>
	<p>Сила R направлена против силы Q и стремится оторвать заготовку от опор (цекование бобышек на вертикально-сверлильном станке с подачей вверх и др.)</p>	<p>Для ЗМ типа I $Q = \frac{KRJ_2}{(J_1 + J_2)}$; Для ЗМ типа II $Q = KR$</p>
	<p>Сдвигу заготовки под действием силы R препятствуют силы трения, возникающие в местах контактов заготовки с опорами и ЗМ (фрезерование по замкнутому контуру и др.). Здесь и в некоторых случаях ниже силы трения на эскизе не показаны</p>	$Q = \frac{KR}{(f_{\text{оп}} + f_{\text{ЗМ}})}$
	<p>Составляющая R_1 направлена к опорам, а составляющая R_2 стремится сдвинуть заготовку в боковом направлении</p>	<p>Для ЗМ типа I $Q = [KR_2 + f_{\text{ЗМ}}R_1J_1/(J_1 + J_2) - f_{\text{оп}}R_1J_2/(J_1 + J_2)]/(f_{\text{оп}} + f_{\text{ЗМ}})$. Для ЗМ типа II $Q = (KR_2 - R_1f_{\text{оп}})/(f_{\text{оп}} + f_{\text{ЗМ}})$. Если $KR_2 < R_1f_{\text{оп}}$ и отсутствуют вибрации, то $Q = 0$</p>

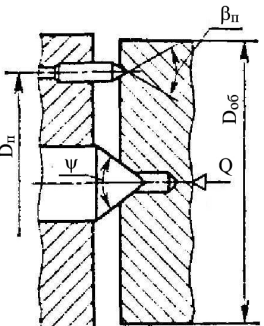
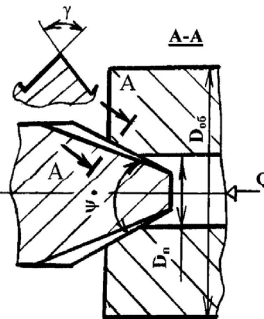
Расчетная схема	Пояснение к схеме	Формула
	<p>Составляющая R_1 направлена навстречу силе Q и стремится оторвать заготовку от опор, а составляющая R_2 стремится сдвинуть заготовку в боковом направлении</p>	<p>Для ЗМ типа I принимать большее из двух значений: $Q = KR_1 J_2 / (J_1 + J_2)$ и $Q = [KR_1 - f_{3M} R_1 J_1 / (J_1 + J_2) + f_{0П} R_1 J_2 / (J_1 + J_2)] / (f_{3M} + f_{0П})$; для ЗМ типа II принимать большее из двух значений: $Q = KR_1$ и $Q = (KR_2 + R_1 f_{0П}) / (f_{0П} + f_{3M})$</p>
	<p>Сила Q определяется из равенства нулю моментов всех сил относительно точки O</p>	$Q = K(R_2 e + R_1 l) / (a + f_{0П} l)$
	<p>Короткая заготовка диаметром D установлена в патроне с n кулачками. Опасен проворот заготовки под действием момента M</p>	$Q = 2KM / (nDf)$
	<p>Длинная заготовка диаметром D консольно закреплена в трех- или четырехкулачковом патроне, имеющем кулачки с короткими уступами. Опасен сдвиг заготовки под действием составляющей R_z силы резания; L – расстояние от места закрепления заготовки до силы R_z</p>	<p>Для трехкулачкового патрона $Q = KR_z L / (0,75Df)$; Для четырехкулачкового патрона $Q = KR_z L / (1,42Df)$</p>

Расчетная схема	Пояснение к схеме	Формула
	<p>Заготовка закреплена в гидропластмассовом патроне (а) или на гидропластмассовой оправке (б). Давление p_k действует по цилиндрической поверхности заготовки на длине зоны контакта l_k. Силы T действуют по краям зоны контакта (расчет p_k, l_k и T)</p>	$KM = (T + 0,5p_k l_k) \pi D_3^2 f$ <p style="text-align: center;">и</p> $KM = (T + 0,5p_k l_k) \pi d_3^2 f$
	<p>Заготовка закреплена на прессовой цилиндрической оправке. Давление p_k действует по цилиндрической поверхности диаметром d_3 и длиной l_k, равной длине рабочей шейки оправки</p>	$P_k = 2KM / (\pi d_3^2 l_k f)$
	<p>Цилиндрическая оправка для установки заготовки с гарантированным зазором и с креплением по торцам. Давление p_6 и $p_{ш}$ действует на торцы заготовки навстречу друг другу. При равенстве диаметров буртика и шайбы ($D_6 = D_{ш}$) можно считать $p_6 = p_{ш} = p$</p>	$P = 12KM / [f\pi(D_{ш}^3 - d_3^3)]$

Расчетная схема	Пояснение к схеме	Формула
	<p>Оправка с креплением заготовки двумя конусами, стягиваемыми с осевой силой Q</p>	$Q = 2KM \sin \alpha / (fd_3)$
	<p>Оправка с гофрированными втулками. Силы закрепления, создаваемые одной гофрированной втулкой, представляют собой две кольцевые силы Q. Поскольку эти силы расположены близко друг от друга, можно считать, что одна гофрированная втулка создает одну кольцевую силу $2Q$</p>	$2Q = 2KM / (\pi d_3 f n),$ <p>где n – число гофрированных втулок</p>
	<p>Заготовка центрируется по выточке и прижата к торцовым опорам, расположенным по диаметру $D_{оп}$, прихватами, расположенными по диаметру $D_{пр}$. Заготовка нагружена моментом M и осевой силой R</p>	<p><i>Для 3М тупа I</i> Если тангенциальная жесткость (по касательной к поверхности заготовки в месте приложения силы закрепления) зажима велика, то $Q = \{KM - f_{оп}D_{оп}RJ_2/[2(J_1 + J_2) + f_{3М}RD_{пр}J_1/[2(J_1 + J_2)]]\} / [0,5(f_{3М}D_{пр} + f_{оп}D_{оп})]$. Если тангенциальная жесткость мала, то $Q = \{KM - f_{оп}D_{оп}RJ_2/[2(J_1 + J_2)]\} / (0,5D_{оп}f_{оп})$. <i>Для 3М тупа II</i> Если тангенциальная жесткость велика, то $Q = (2KM - f_{оп}RD_{оп}) / (f_{3М}D_{пр} + f_{оп}D_{оп})$. Если тангенциальная жесткость мала, то $Q = (2KM - f_{оп}RD_{оп}) / (f_{оп}D_{оп})$</p>

Расчетная схема	Пояснение к схеме	Формула
	<p>Заготовка установлена в кольцевую проточку и нагружена моментом M и осевой силой R</p>	<p>Для ЗМ типа I Если тангенциальная жесткость велика, то $Q = [KM - 0,33f_{оп}R \cdot (D^3 - d^3)/(D^2 - d^2)] / \{[(D^3 - d^3)f_{оп}] / [3(D^2 - d^2)] + D_1 f_{3M} / 2\}.$ Если тангенциальная жесткость мала, то $Q = [3KM - f_{оп}R(D^3 - d^3)/(D^2 - d^2)] / [f_{оп} \cdot (D^3 - d^3)/(D^2 - d^2)]$ Для ЗМ типа II Если тангенциальная жесткость велика, то $Q = \{KM - \frac{1}{3}f_{оп}R \times (D^3 - d^3)/(D^2 - d^2) \times J_2 / (J_1 + J_2) + f_{3M}RD_1/2 \times J_1(J_1 + J_2)\} / [\frac{1}{3}f_{оп} \times (D^3 - d^3)/(D^2 - d^2) + f_{3M}D_1/2].$ Если тангенциальная жесткость мала, то $Q = [3KM - f_{оп}R \times (D^3 - d^3)/(D^2 - d^2) \times J_2 / (J_1 + J_2)] / [f_{оп} \times (D^3 - d^3)/(D^2 - d^2)]$ </p>
	<p>Цилиндрическая заготовка установлена в призме с углом α и нагружена моментом M</p>	<p>Без учета трения на торце $Q = KM / [f_{3M}D/2 + f_{оп}D / (2 \sin \frac{\alpha}{2})]$ </p>

Расчетная схема	Пояснение к схеме	Формула
	<p>В заготовке, установленной в призме, одновременно обрабатывают несколько отверстий. При малой радиальной жесткости инструмента (большом вылете, нет кондукторных втулок), возможен проворот заготовки под действием суммарного момента M</p>	$Q = KM/[f_{3M}D/2 + F_{оп}D/(2\sin \frac{\alpha}{2})]$
	<p>Инструмент имеет большую радиальную жесткость (малый вылет, работа по кондукторным втулкам)</p>	<p>$Q = 0$, так как проворот заготовки предупреждает режущим инструментом</p>
	<p>Заготовка установлена горизонтальной и боковыми поверхностями. Сила резания R стремится повернуть заготовку вокруг точки O, чему препятствуют силы трения</p>	<p>Если сила закрепления Q приложена в точке, являющейся, центром тяжести опорного треугольника, то $Q = 3KRr/[f_{оп}(r_1 + r_2 + r_3) + 3f_{3M}r_4]$ Если сила Q не совпадает с центром тяжести опорного треугольника, то $Q = KRr/[f_{оп}(ar_1 + br_2 + cr_3) + f_{3M}r_4]$ (коэффициенты a, b, c в сумме равны 1 и находятся из уравнений статики)</p>
	<p>Заготовка установлена в центрах и поджата задней бабкой с силой Q. Составляющая R_z силы резания и осевая сила, действующая со стороны переднего центра, условно не показаны</p>	$Q = K \times \sqrt{R_z^2 + (R_y - (R_x D_{об} / (2L))^2} \times [1 - \operatorname{tg}(\beta + \varphi_1) \operatorname{tg} \varphi_2 \times 3l/a_{п1}] [\operatorname{tg}(\beta + \varphi_1)]$

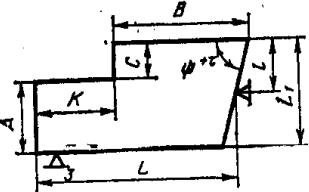
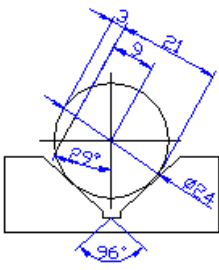
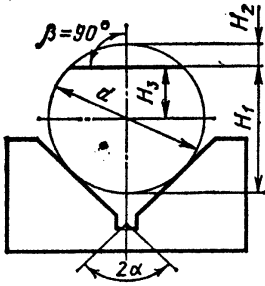
Расчетная схема	Пояснение к схеме	Формула
	<p>Заготовка установлена в центрах и поджата задней бабкой с силой Q. Поводковое устройство врезается в торец заготовки. Составляющая P_Z силы резания условно не показана</p>	<p>Силу поджима задней бабкой вычислять, как указано выше, и проверить по врезанию поводка в торец заготовки: $Q \geq \pi P_Z \operatorname{tg}(\beta_{\text{п}}/2) \times D_{\text{об}}/D_{\text{п}}$</p>
	<p>Заготовка установлена в центрах и поджата задней бабкой с силой Q, передний центр рифленый. Составляющая R_Z силы резания условно не показана</p>	<p>Силу Q вычислять, как указано выше, и проверить по внедрению рифлей переднего центра в заготовку: $Q \geq 2P_Z \operatorname{tg}(\gamma/2)/\sin(\psi/2) \times D_{\text{об}}/D_{\text{п}}$</p>

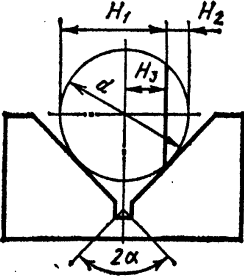
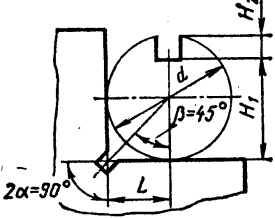
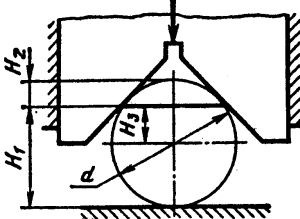
Примечание. Q – сила закрепления; M – момент; R – сила резания и ее составляющие R_x , R_y , R_z , $f_{\text{оп}}$ и $f_{3\text{М}}$ – коэффициенты трения в местах контакта заготовки с опорами и с ЗМ соответственно; J_1 , J_2 – жесткости ЗМ и опор соответственно [если значения J_1 и J_2 неизвестны, принимать $J_1/(J_1 + J_2) = 0,3 \div 0,4$ и $J_2/(J_1 + J_2) = 0,6 \div 0,7$]; K – коэффициент запаса; $D_{\text{об}}$ – диаметр обрабатываемой поверхности, мм; L – длина заготовки, мм; ψ – угол при вершине центра, $\beta = 90^\circ - \psi/2$; φ_1 и φ_2 – углы трения на поверхности конуса центра и пиноли соответственно ($\varphi_1 = \varphi_2 = 3^\circ$); l – расстояние от середины центрального гнезда до середины пиноли, мм; $a_{\text{п}}$ – длина пиноли, мм; $\beta_{\text{п}}$ – угол при вершине поводка; $D_{\text{п}}$ – диаметр окружности расположения поводков; γ – угол при вершине рифлений.

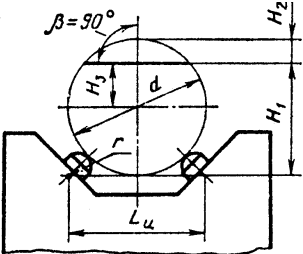
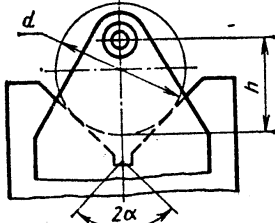
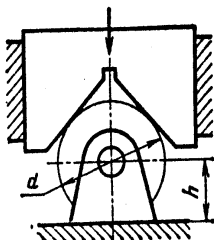
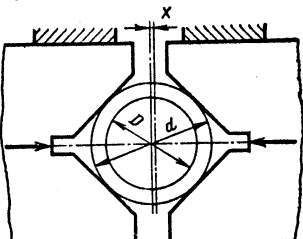
ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Таблица П.2.1

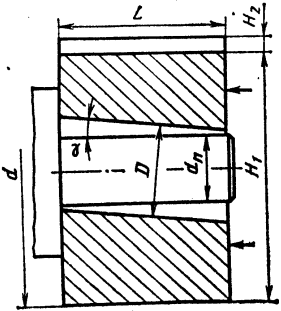
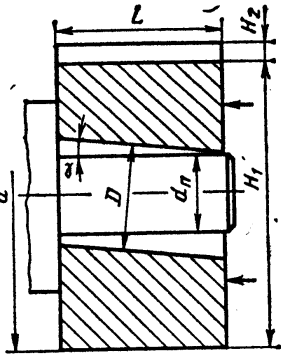
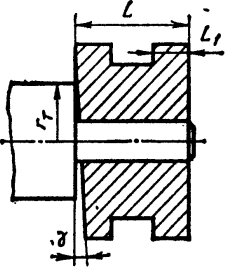
Погрешности базирования Δ_6 заготовок в СП

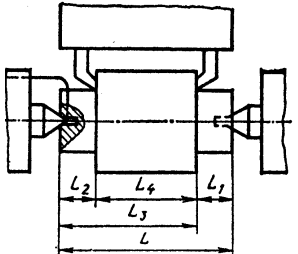
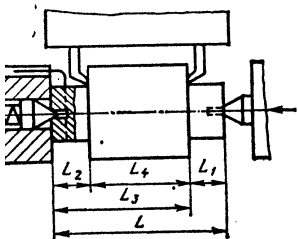
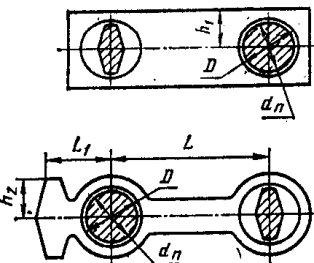
Базирование. Обрабатываемые поверхности	Схема установки	Выдер- живае- мый размер	Δ_6
По плоским поверхностям. Обработка уступа		A	0
		B	$IT_l \cdot \operatorname{tg} \tau$ при $\psi \neq 90^\circ$; 0 при $\psi = 90^\circ$
		C	IT_{l1}
		K	IT_L
По наружной цилиндрической поверхности в призму с углом 2α при обработке плоской поверхности или паза под углом β к оси симметрии призмы		H_1	$0,5IT_d$ $(\sin \beta / \sin \alpha - 1)$ при $\beta = \alpha \div 90^\circ$; $0,5IT_d(1 -$ $-\sin \beta / \sin \alpha)$ при $\beta = 0 \div \alpha$
		H_2	$0,5IT_d \times$ $\times (\sin \beta / \sin \alpha + 1)$
		H_3	$(0,5IT_d \sin \beta / \sin \alpha)$
То же, при $\beta = 90^\circ$		H_1	$0,5IT_d \times$ $\times (1 / \sin \alpha - 1)$
H_2		$0,5IT_d \times$ $\times (1 / \sin \alpha + 1)$	
H_3		$(0,5IT_d) / \sin \alpha$	

Базирование. Обрабатываемые поверхности	Схема установки	Выдерживаемый размер	Δ_6
То же, при $\beta = 0^\circ$		H_1	$0,5IT_d$
		H_2	$0,5IT_d$
		H_3	0
То же, с прямым углом при обработке паза под углом $\beta = 45^\circ$		L	$0,5IT_d$
		H_1	0
H_2	IT_d		
Наружной цилиндрической поверхностью на установочную плоскую поверхность и с закреплением призмой при обработке плоской поверхности или паза, параллельных установочной плоской поверхности		H_1	0
		H_2	IT_d
		H_3	$0,5IT_d$

Базирование. Обрабатываемые поверхности	Схема установки	Выдерживаемый размер	Δ_6
Наружной цилиндрической поверхностью в призму со сферическими опорами при обработке плоской поверхности или паза под углом $\beta = 90^\circ$		H_1	$Z - 0,5IT_d$
		H_2	$Z + 0,5IT_d$
		H_3	Z
Базирование как на схеме 2 при обработке отверстий по кондуктору		h	$0,5IT_d(1/\sin \alpha - 1)$ при $h > 0,5d$ $(0,5IT_d) / \sin \alpha$ при $h = 0,5d$ $0,5IT_d(1/\sin \alpha + 1)$ при $h < 0,5d$
Базирование как на схеме 6, обработка как на схеме 8		h	$0,5IT_d$ при любом h
Наружной цилиндрической поверхностью в самоцентрирующ ие призмы при обработке отверстия в торце заготовки		x	0

Базирование. Обрабатываемые поверхности	Схема установки	Выдерживаемый размер	Δ_6
<p>Внутренней цилиндрической поверхностью на жесткий цилиндрический палец (оправку) с гарантированным зазором при обработке плоской поверхности или паза</p>	<p>11</p>	H_1, H_2	$0,5IT_d + 2e + IT_D + IT_{dn} + \Delta_{\text{gap}}$
		H_3	$2e + IT_D + IT_{dn} + \Delta_{\text{gap}}$
		H_4	$0,5IT_D + IT_{dn} + \Delta_{\text{gap}}$
<p>То же, но с односторонним прижатием заготовки</p>	<p>12</p>	H_1, H_2	$0,5IT_d + 2e + IT_{dn}$
		H_3	$2e + 0,5IT_D + 0,5IT_{dn}$
		H_4	$0,5IT_D + 0,5IT_{dn}$
<p>Внутренней цилиндрической поверхностью на жесткий цилиндрический палец с гарантированным натягом или на разжимную оправку; обрабатываемая поверхность как на схеме 11</p>	<p>1.</p>	H_1, H_2	$0,5IT_d + 2e$
		H_3	$2e$
		H_4	0

Базирование. Обрабатываемые поверхности	Схема установки	Выдерживаемый размер	Δ_6
<p>Как на схеме 11, но с учетом, что опорный торец заготовки не перпендикулярен к оси базы</p>	<p>14</p> 	<p>H_1, H_2</p>	$0,5IT_d + 2e + IT_D + IT_{d_n} + \Delta_{\text{rap}} - 2Ltg\gamma$
<p>То же, но с односторонним прижатием заготовки</p>	<p>15</p> 	<p>H_1, H_2</p>	$0,5IT_d + 2e + 0,5IT_{d_{II}} + Ltg\gamma$
<p>Как на схеме 13, но с учетом, что опорный торец заготовки не перпендикулярен к оси базы</p>	<p>16</p> 	<p>L_1</p>	$IT_{L_1} + 2r_Ttg\gamma$

Базирование. Обрабатываемые поверхности	Схема установки	Выдерживаемый размер	Δ_6
<p>Центровыми гнездами на центры (передний центр жесткий) при обработке двух торцов подрезными резцами, настроенными на размер L_4</p>	<p>17</p> 	L_1	$IT_L + IT_{Ц}$
		L_2, L_3	$IT_{Ц} = 0,5IT_{DЦ}ctg\alpha_{Ц}$
		L_4	0
<p>То же, но передний центр плавающий</p>	<p>18</p> 	L_1	IT_L
L_2, L_3, L_4	0		
<p>Двумя цилиндрическими отверстиями на жесткие цилиндрический и срезанный пальцы при обработке верхней плоской поверхности</p>	<p>19</p> 	h_1	$IT_D + IT_{dn} + \Delta_{rap}$
h_2	$(IT_D + IT_{dn} + \Delta_{rap})(2l_1 + l) / l$		

Примечания:

1. $L, L_1, L_2, L_3, L_4, l, l_1, d, D$ – линейные размеры заготовок, $IT_L, IT_{L_1}, IT_d, IT_D$ – допуски на размеры L, L_1, d, D соответственно.
2. На схемах 2 – 10 d – диаметр базы (наружной цилиндрической поверхности) заготовки. На схемах 11 – 15 и 19 D – диаметр базы (внутренней цилиндрической поверхности) заготовки.
3. На схемах 11, 12, 14, 15, 19 d_{Π} – наружный диаметр жестких цилиндрических пальца и оправки, а $IT_{d\Pi}$ – допуск на d_{Π} .
4. На схеме 10 x – расстояние между осями базы и обработанного отверстия заготовки.
5. На схемах 11 – 15 e – эксцентриситет между базой и обработанной поверхностью вращения заготовки.
6. На схемах 11, 14, 19: $\Delta_{\text{гар}}$ – гарантированный диаметральный зазор между базой заготовки и жесткими цилиндрическими пальцем и оправкой диаметром d_{Π} .
7. На схемах 14 – 16 γ – угол, характеризующий отклонение от перпендикулярности торца к оси базы заготовки.
8. На схеме 16 r_T – радиус опорного торца.
9. На схеме 7

$$Z = \sqrt{(r + 0.5d_{\min} + 0.5IT^2d)^2 - 0.5L_{\Pi}^2} - \sqrt{(r + 0.5d_{\min})^2 - 0.25L_{\Pi}^2},$$

где L_{Π} – расстояние между центрами кривизны сферических головок опор радиусом r , а d_{\min} – наименьшее значение диаметра базы заготовок в партии.

10. На схеме 9 показан частный случай, когда $h = 0.5d$.
11. На схемах 2 – 5 и 8: 2α – угол призмы.
12. На схемах 2 – 5: β – угол между осью симметрии призмы и обратной поверхностью заготовки.
13. На схеме 17: α_{Π} и D_{Π} – соответственно, половина угла при вершине рабочего конуса и наибольший диаметр центрального отверстия заготовки; $IT_{D_{\Pi}}$ и IT_{α} – соответственно, допуск на размер D_{Π} и глубину центрального отверстия заготовки. Для центральных отверстий с углом $\alpha_{\Pi} = 30^\circ$ IT_{α} составляет: 0.11 мм при значениях $D_{\Pi} = 1; 2$ и 2.5 мм; 0.14 мм при $D_{\Pi} = 4; 5$ и 6 мм; 0.18 мм при $D_{\Pi} = 7.5$ и 10 мм; 0.21 мм при $D_{\Pi} = 12.5$ и 15 мм; 0.25 мм при $D_{\Pi} = 20$ и 30 мм. Размеры α_{Π} и D_{Π} на эскизе не показаны.
14. На схеме 1 условно показаны три горизонтальные и только одна боковая опоры; τ – допуск угла ψ .

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Таблица П.3.1

Погрешность закрепления Δz . Формулы для расчета контактных перемещений Y , мкм, в стыке заготовка-опора СП

Тип опоры	Перемещение
Опора с головкой: сферической (ГОСТ 13441-68*)	$8,2(\theta^2 Q^2 / ri)^{1/3} + 0,46 R_{max} \{ Q^{1/3} / [3,3 \pi HB (\theta ri)^{2/3}] \}^{1/3}$
насеченной (ГОСТ 13442-68*)	$0,46 R_{max} \{ Q^2 / [\pi D^2 (b1 + 2u)^2 HB] \}^{1/3}$
плоской (ГОСТ 13440-68*) и пластины опорной (ГОСТ 4743-68*)	$(4 + R_{max3}) [100 Q / (AC \sigma_T b_{\Sigma})]^{1/(2+v3)} + 0,13 R_{B3}^{1/3} (W_2 \theta Q / A)^{2/3}$
Призма с углом 2α	$1 / \sin \alpha \{ [C_M / (10 K_{и})] q + 1,15 C_B / K_{и}^{0,4} (q/d)^{0,2} + 1,07 C_{ш} / K_{и}^{1/5(v0+v3)} \} (q/d)^{1/[10(v0+v3)]}$

Примечания:

1. Q — сила, действующая по нормали на опору, Н.
2. q — суммарная линейная нагрузка, действующая по нормали к рабочим поверхностям призмы, Н/см.
3. индексы 0 и 3 означают, что рассматриваемые параметры относятся к заготовке и к опоре соответственно.
4. E_0, E_3, μ_0, μ_3 — соответственно модули упругости, ГПа, и коэффициенты Пуассона материала опоры и заготовки.
5. Упругая постоянная материалов контактирующих заготовки и опоры (1/ГПа).

$$\theta = (1 - \mu_0^2) / E_0 + (1 - \mu_3^2) / E_3.$$

6. HB — твердость материала заготовки по Бринеллю.
7. C — безразмерный коэффициент стеснения, характеризующий степень упрочнения поверхностных слоев обработанных без заготовки
8. d — диаметр цилиндрической базы заготовки, мм.
9. ITd — допуск на диаметр, мм.
10. σ_T — предел текучести материала заготовки, МПа.
11. A — номинальная площадь опоры, мм².
12. Радиус изношенной сферической опоры, мм, $ri = r^2 / (r - 8u)$, где r — радиус неизношенной сферической опоры (ГОСТ 13441-68*), мм.
13. u — линейный износ опоры (призмы), мм.
14. 2α — угол призмы.
15. R_{max} — наибольшая высота неровностей профиля, мкм, см. табл.
16. R_z — высота неровностей профиля по десяти точкам, мкм.

17. R_a – среднее арифметическое отклонение профиля, мкм.
 18. Для практических расчетов принимают $R_{max} \approx 1.25R_z \approx 6R_a$
 19. v и b – безразмерные параметры опорной кривой.
 20. W и R_B соответственно высота, и длина волны поверхности, мкм.
 21. Безразмерный приведенный параметр кривой опорной поверхности, характеризующий условия контакта базы заготовки с опорой.
 $b_2 = 0.24(0.4 - 0.1v_3)b_3(4 + R_{max3})^{2 + v_3/3} R_{max3}^{v_3}$.
 22. Безразмерный коэффициент, учитывающий влияние износа призм,

$$K_u = \sqrt{R_u / (R_u - 0.5d)}$$

где R_u – радиус изношенной поверхности призмы, мм; если обрабатываемая поверхность заготовки расположена с одной стороны от призмы, то $R_u = 0.22[\sqrt{2.28du} + (0.5ITd + 0.57u)ctga]^2/u$;

если обрабатываемая поверхность заготовки расположена с двух сторон от призмы, то $R_u = 0.125[2\sqrt{du} + (0.5ITd + u)ctga]^2/u$.

23. C_M, C_B, C_{III} – Безразмерные расчетные коэффициенты (см. табл. П.2).

24. При проектном расчете опор, не бывших в эксплуатации, принимают $r_{и} = r$; $u = 0$ и $K_u = 1$.

25. Перемещения Y рассчитывают по средним значениям входящих параметров.

Таблица П.3.2

Данные для определения коэффициентов C_M, C_B, C_{III}

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

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

Таблица П.3.3

Формулы для расчета погрешности закрепления Δ_3

Погрешности закрепления	
Δ_3^I из-за непостоянства силы закрепления	Δ_3^{II} из-за неоднородности шероховатости базы заготовок
Δ_3^{III} из-за неоднородности волнистости базы заготовок	Δ_3^{IV} из-за износа опорной поверхности установочного элемента
Опоры со сферической головкой (ГОСТ 13441-68*)	
$\{6.2(\theta^2/Q)^{1/3} + R_{\max}^{0.8}/(1.9 \cdot 56Q^{0.8})\} \cdot \Delta Q$ * $[1/(10 \cdot 4NB(\theta)^2 \beta)^{1/3}] \cdot \Delta Q$	$[Q^{1/3}/(22 \cdot 4NB(\theta)^2 \beta)^{1/3}] \cdot \Delta R_{\max}$ 0 (волнистость на необработанных базах заготовок отсутствуют)
$0.15R_{\max}^{0.2} \beta$ * $[(\pi D^2 b_1^2 NB)^{1/3}] \cdot \Delta Q$	$0.46[Q^2/(\pi D^2 b_1^2 NB)^{1/3}] \cdot \Delta R_{\max}$ 0 (волнистость на необработанных базах заготовок отсутствуют)
Опоры с насеченной головкой (ГОСТ 13442-68*)	
$\{0.4(4+R_{\max}) \cdot [(2+V_3) \cdot Q(2+V_3)/(3+V_3)] + [100/(Ac \cdot \sigma \tau b_2)]^{1/3} + 0.9(R_{33}/Q)^{1/3} \cdot (W_3/\theta/A^2 \beta)\} \cdot \Delta Q$	$4.3 \cdot 10^{-2}(\theta Q/A)^2 \beta [W_3/R_{33}]^{2\beta}$ * $\Delta R_{33} + 2(R_{33}/W_3)^{1/3} \Delta W_3$
Опоры с плоской головкой и опорные пластины (ГОСТ 13440-68* и ГОСТ 4743-68*)	
$0.1C_M / \sin \alpha \cdot \Delta q$	$\{1.1q^{1/(0.6+0.3\beta)} \cdot K_1 \cdot a_1 \cdot [\sin \alpha(1+W_3+R_{Z0}+R_{Z3})^{1-\alpha}] \cdot \Delta R_{Z3}\}$
Примы	
<p>Примечания: 1. Обозначения параметров, входящих в расчетные зависимости, соответствуют табл. П.2.1. Величины с индексом Δ определяют непостоянство соответствующих параметров.</p> <p>2. Коэффициенты C_M, K_1, a_1 и a_2 определяют по табл. П.2.</p> <p>3. Суммарная погрешность закрепления $\Delta_3 = \cos \beta \cdot (\Delta_{30}^2 + \varepsilon_{30}) \cdot \Delta_{30} = \sqrt{(\Delta_3^I)^2 + (\Delta_3^II)^2}$, где β - угол между направлением выдаваемого размера и направлением наибольшего перемены.</p> <p>4. Параметры качества поверхности заготовок определяют по табл. П.4 и П.5.</p> <p>5. Параметры шероховатости базующей поверхности призмы при расчете перемены $Y: R_{Z0}=3,5$ мкм, $v=2$ - для новых призм, $R_{Z0}=1,1$ мкм, $v=1,4$ - для призм, бывших в эксплуатации.</p>	

Таблица П.3.4

Параметры качества цилиндрических баз заготовок

Материал заготовки	Метод обработки базы	Rz_3	ΔRz_3	W_3	ΔW_3	V_3
		мкм				
Сталь	Точение	30	20	10	10	1,94
		15	10	8	8	1,89
		7,5	5	5	6	1,8
		3,8	2,5	3	2	1,51
	Шлифование цилиндрических наружных поверхностей	7,5	5	5	5	2,18
		3,8	2,5	3	2	1,94
		1,7	1,25	2	2	1,92
		1	0,65	1,5	1	1,9
Чугун	Точение	30	20	10	10	2,6
		15	10	8	8	2,2
		7,5	5	5	6	2,1
		3,8	2,5	3	2	1,8
	Шлифование цилиндрических наружных поверхностей	7,5	5	5	5	1,99
		3,8	2,5	3	2	1,95
		1,7	1,25	2	2	1,83
Бронза	Точение	30	20	10	10	2,2
		15	10	8	8	1,95
		7,5	5	5	6	1,9
		3,8	2,5	3	2	1,4
Алюминиевые сплавы	Точение	30	20	10	10	1,8
		15	10	8	8	1,65
		7,5	5	5	6	1,6
		3,8	2,5	3	2	1,6
Примечание. Значение ΔW_3 приведены для случая обработки баз заготовок на нескольких станках одной модели. При обработке баз на одном и том же станке $\Delta W_3 \approx 0,3 W_3$.						

Таблица П.3.5

Параметры качества плоских баз стальных и чугунных заготовок

Метод обработки баз	R_{max}	ΔR_{max}	W_3	R_{B3}	V_3	b_3	C'
	МКМ						
Строгание	45	30	12	95/20	2,2	1,75/0,75	5,24
	22,5	15	3,5/4	40/30	2,1/2	1,9/0,9	
	11,2	7,5	2	85/60	2/1,95	2/1,2	
	5,7	3,3	1/1,4	100/80	1,95/1,9	2,1/1,65	
Фрезерование торцовыми фрезами	22,5	15	7/6,2	250/200	2,2/2	0,4/0,425	5,24
	11,2	7,5	5/4,7	600/700	1,65/1,95	0,55/0,7	5
	5,7	3,3	3/2,3	700/800	1,4/1,8	0,6/0,75	5
	45	30	40/30	5/10	2,8	1,2/1,4	5,7
22,5	15	15/12	40/25	2,55/2,6	1,5/1,6		
11,2	7,5	9/10	40/30	2,35/2,4	1,6/1,7		
Шлифование плоских поверхностей	5,7	3,3	7/5	45/60	2,25/2,15	1,65/2,1	5,48
	11,2	7,5	12/9	45/42	1,95/2	0,9/1	
	5,7	3,3	7,5/5	50/115	1,85/1,97	0,95/1,25	
	3,7	1,8	3,75/1,7	30/225	1,8/1,95	1,6/1,9	
	1,4	1	1,2/1,3	350/340	1,65/1,19	2,3/2,7	5

Примечания 1. В числителе – только для стальных, а в знаменателе – только для чугунных заготовок, остальное – и для стальных и для чугунных заготовок.
 2. $\Delta W_3 = 0,15 - 0,2 W_3$ при обработке на одном и том же станке; $\Delta W_3 \approx W_3$ при обработке на нескольких станках одной модели.
 3. $\Delta R_{B3} \approx (0,01 - 0,05) R_{B3}$, если заготовки были обработаны на одном изношенном станке; $\Delta R_{B3} \approx R_{B3}$, если заготовки были обработаны на нескольких станках одной и той же модели, причем эти станки изношенные.

Во многих технологических расчетах необходимо знать жесткость стыка заготовка-опоры приспособления $j = Q/y \cdot 10^6$, где, как указано выше, нормальная сила Q в Н, а перемещение Y в мкм.

Пример П.3.1. 1. Дано: заготовки из чугуна ($E_3 = 140$ ГПа, $\mu_3 = 0,25$; HB170-190; $R_{max} = 230-300$ мкм) устанавливают на сферические опоры ($E_0 = 210$ ГПа, $\mu_0 = 0,3$; $r = 20$ мм). Действующая по нормали на одну опору сила $Q = 2000 \pm 300$ Н. Допустимый износ опоры $u = 300$ мкм = 0,3 мм. Определить минимальную жесткость стыка в начале эксплуатации ($u = 0$, $r_u = r$) и погрешность закрепления до допустимого износа.

2. Исходя из условий: $Q = 2000$ Н; $\Delta Q = 600$ Н; $R_{max} = 250$ мкм; $\Delta R_{max} = 100$ мкм; твердость HB = 180, по табл. П.3.1 вычисляем

$$\theta = (1 - 0,3^2)/210 + (1 - 0,25^2)/140 = 1,1/10^3, 1/\text{ГПа}; r_u = 20^2/(20 - 8 \cdot 0,3) = 22,8 \text{ мм.}$$

3. По табл. П. 3.1

$$Y = 8,2$$

$$(1,1/10^3 \cdot 2000^2/20)^{1/3} + 0,46 \cdot 250 \cdot \{2000^{1/3} [3,3\pi 180(1,1/10^3 \cdot 20)^{2/3}]\}^{1/3} = 161,2 \text{ мкм.}$$

$$4. \zeta = 2000/161,2 \cdot 10^6 = 12,4 \cdot 10^6 \text{ Н/м.}$$

5. По табл. П.3.3

$$\Delta_3^I = \{6,2[(1,1/10^3)^2/(20 \cdot 2000)] + 250/(19,56 \cdot 2000^{8/9}) \cdot [1/(10,4 \cdot 180 \cdot (1,1/10^3 \cdot 20)^{2/3})]\}^{1/3} \cdot 600 = 10 \text{ мкм};$$

$$\Delta_3^{II} = \{2000^{1/3}/[22,4 \cdot 180 \cdot (1,1/10^3 \cdot 20)^{2/3}]\}^{1/3} \cdot 100 = 57 \text{ мкм};$$

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

$$6. \Delta_3 = \sqrt{10^2 + 57^2} + 4,96 = 62,8 \text{ мкм.}$$

Пример П.3.2. 1. Дано: заготовки из чугуна ($R_{\max} = 230 - 300$ мкм; НВ170-190) устанавливаются на рифленные опоры 7034-0379 ГОСТ 13442-68* ($D = 20$ мм; $t = 2$ мм; $b_1 = 0,5$ мм). Действующая по нормали на одну опору сила $Q = 2000 \pm 300$ Н. Допустимый износ опоры $u = 300$ мкм. Определить минимальную жесткость стыка заготовка-опора приспособления в начале эксплуатации ($u = 0$) и погрешность закрепления при эксплуатации до допустимого износа.

2. Исходя из условий: $Q = 2000$ Н; $\Delta Q = 600$ Н; $R_{\max} = 250$ мкм; $\Delta R_{\max} = 100$ мкм; НВ = 180.

3. По табл. П 3.1

$$Y = 0,46 \cdot 250 \{2000 \cdot 2^2 / [\pi \cdot 20^2 (0,5 + 20^2) \cdot 180]\}^{1/3} = 35,75 \text{ мкм};$$

$$4. \zeta = 2000/35,75 \cdot 10^6 = 55,95 \cdot 10^6 \text{ Н/м.}$$

5. По табл. П 3.3

$$\Delta_3^I = 0,15 \cdot 250/2000^{2/3} [2^2 / (\pi 20^2 \cdot 0,5^2 \cdot 180)]^{1/3} \cdot 600 = 6 \text{ мкм};$$

$$\Delta_3^{II} = 0,46 [2000 \cdot 2^2 / (\pi 20^2 \cdot 0,5^2 \cdot 180)]^{1/3} \cdot 100 = 24,2 \text{ мкм};$$

$$\Delta_{3,и} = 0,46 \cdot 250 [2000 \cdot 2^2 / (\pi 20^2 \cdot 180)]^{1/3} \cdot [1/0,5^{2/3} - 1/(0,5 + 2 \cdot 0,3)^{2/3}] = 24,7 \text{ мкм};$$

$$6. \Delta_3 = \sqrt{6^2 + 24,2^2} + 24,7 = 49,65 \text{ мкм.}$$

Пример П.3.3. 1. Дано: заготовки из стали 45, диаметром $50^{+0,2}$ мм, обработанные точением ($R_{z3} = 30$ мкм; $\Delta R_{z3} = 20$ мкм; $V_3 = 1,9$; $W_3 = 8$ мкм; $\Delta W_3 = 6$ мкм), устанавливаются в призме с углом $2\alpha = 90^\circ$ для фрезерования шпоночного паза. Нормальная нагрузка

на опоре $q = 2000$ Н/см. Максимально допустимый износ опорной поверхности призмы $u = 0,3$ мм. Сила резания приложена с одной стороны призмы. Определить минимальную жесткость стыка заготовка-опора СП в начале эксплуатации ($u = 0$, $K_{и} = 1$) и погрешность закрепления при эксплуатации до допустимого износа.

2. По табл. П. 3.2

$$C_M = 0,026; K = 0,82; a = 0,695; K_1 = 0,62; a_1 = 0,55;$$

$$C_B = 0,82 (1 + 8)^{0,695} = 3,8;$$

$$C_{ш} = (0,62 \cdot 91 + 8 + 3,5 + 30)^{0,55} = 4,85.$$

Вычисляем

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

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

3. По табл. П.3.1 при $Rz_0 = 3,5$ мкм и $V_0 = 2$

$$Y = 1/\sin 45^\circ \cdot \{ [0,026 / (10 \cdot 1)] 2000 + 1,15 \cdot 3,8 / 1^{0,4} (2000/50)^{0,2} + 1,07 \cdot 4,85 / 1^{1/[5(2+1,9)]} \cdot (2000/50)^{1/[10(2+1,9)]} \} = 18,4 \text{ мкм};$$

4. $j = 2000 \cdot 2 / 18,4 \cdot 10^6 = 219 \cdot 10^6$ Н/м.

5. По табл. П.3.3 при $Rz_0 = 1,1$ мкм и $V_0 = 1,4$.

$$\Delta_3^I = 0,1 \cdot 0,026 / \sin 45^\circ \cdot 600 = 2,2 \text{ мкм};$$

$$\Delta_3^{II} = \{ 1,1 \cdot 2000^{1/[10(1,1+1,9)]} \cdot 0,62 \cdot 0,55 / [\sin 45^\circ (1 + 8 + 1,1 + 30)^{1-0,55}] \} \cdot 20 = 2 \text{ мкм};$$

$$\Delta_3^{III} = \{ 0,87 \cdot 2000^{0,2} \cdot 0,82 \cdot 0,695 / [\sin 45^\circ \cdot 50^{0,2} (1 + 8)^{1-0,695}] \} 6 = 5,9 \text{ мкм};$$

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

$$6. \Delta_3 = \sqrt{2,2^2 + 2^2 + 5,9^2} + 6,25 = 12,85 \text{ мкм}.$$

В компоновках разборных СП необходимо учитывать перемещения Y , при этом следует пользоваться следующей зависимостью:

$$Y = 0,3n[(p_0 + p)^{0,4} - p_0^{0,4}] + 0,26 / (1 + 5,4p^{0,36})^{0,3} [(p_0 + p)^{0,06} - p_0^{0,06}],$$

где p_0 – давление, возникающее в стыках разборных СП при установке их элементов, МПа; p – давление, возникающее в стыках элементов разборных СП от сил закрепления и резания, МПа; n – число стыков в направлении действия сил.

Погрешность положения заготовки в приспособлении $\Delta_{\text{п}}$

Погрешность положения $\Delta_{\text{пр}}$ заготовки возникает в результате погрешностей изготовления СП, погрешностей установки и фиксации СП на станке и износа опор СП.

Погрешность изготовления приспособления $\Delta_{\text{ус}}$ зависит в основном от точности изготовления деталей СП. Точность изготовления опор и других стандартных деталей СП см.[14]. Расчеты допусков и посадок для СП в некоторых распространенных случаях см.[14]. Допуски ответственных размеров нестандартных изделий СП обычно составляют 10-30% допуска на соответствующий обрабатываемый размер заготовки. Как правило, $\Delta_{\text{ус}} \leq 0,01-0,005$ мм.

Составляющая $\Delta_{\text{с}}$ возникает в результате перемещений и перекосов корпуса приспособлений на столе, планшайбе или шпинделе станка. В массовом производстве при однократном неизменном закреплении СП на станке эту величину доводят до определенного минимума выверкой и считают постоянной в течение эксплуатации данного СП. При определенных условиях составляющая $\Delta_{\text{с}}$ может быть устранена соответствующей настройкой станка. В серийном производстве, когда имеет место многократная периодическая смена СП на станках, $\Delta_{\text{с}}$ превращается в случайную некомпенсируемую величину, изменяющуюся в определенных пределах.

На величину $\Delta_{\text{с}}$ влияют износ и возможные повреждения поверхностей сопряжения в процессе регулярной смены СП. При соблюдении рациональных условий смены СП и при правильном выборе зазоров в сопряжениях величину $\Delta_{\text{с}}$ можно снизить до 0,01-0,02 мм.

Составляющая $\Delta_{\text{и}}$ характеризует изменение положения базисующих поверхностей опор в результате их износа в процессе эксплуатации СП. Интенсивность износа опор зависит от их конструкции и размеров, материала и массы заготовки, состояния ее баз, а также условий установки заготовки в СП и снятия после обработки. Число установок, вызывающих износ опоры на 1 мкм, называют износостойкостью опор S . Величину S рассчитывают в порядке, указанном в табл. П.4.2.

При известной величине $S_{\text{ф}}$ (фактическая износостойкость) можно определить погрешность обработки, связанную с износом

опор при заданном числе установок N , или оценить допустимое по износу число установок и, следовательно, найти периодичность замены опор СП. В этом случае необходимо предварительно рассчитать допустимый износ опор $u_{\text{доп}}$. Износостойкость можно также определить по зависимости $C = m - m_1 P_1 - m_2 P_2$. Коэффициенты m , m_1 и m_2 приведены в табл. П.4.1, а критерии P_1 и P_2 – в табл. П.4.2.

Таблица П.4.1

Коэффициенты m , m_1 , m_2

Опоры	m	m_1	m_2
Постоянные с головками: сферической плоской и рифленной	1529	981	481
	2248	1212	65497
Пластины опорные	6832	4287	293750
Призмы	1818	1014	1309

Таблица П.4.2

Расчет износостойкости C опор

Последовательность и содержание расчета	Формула, рисунок или таблица
Выбрать твердость HV рабочих поверхностей опор	Табл. П.4.3
Определить критерий износостойкости P_1 с учетом материала заготовки и опор	Табл. П.4.4
Вычислить силу Q , действующую по нормали на опору, с учетом сил резания, закрепления, массы заготовки и т. п.	По нормативным материалам для данной схемы базирования заготовки
Определить номинальную площадь касания F с базой заготовки	Табл. П.4.5
Вычислить критерий нагружения опор P_2	$P_2 = Q / (F * HV)$
Для найденных значений P_1 и P_2 определить C	Рис. П.1
Определить поправочные коэффициенты: К общий	$K = K_t * K_L * K_y$
K_t , учитывающий время неподвижного контакта заготовки с опорами (t_m – машинное время обработки)	$K_t = 0,79 t_m$
K_L , учитывающий влияние длины L пути скольжения заготовки по опорам СП в момент базирования	При $L < 25$ мм $K_L = 1$; при $25 < L < 100$ мм $K_L = 1,25$; при $L > 100$ мм $K_L = 1,51$
K_y , учитывающий условия обработки	Табл. П.4.6
Вычислить фактическую износостойкость C_f	$C_f = C / K$

Таблица П.4.3

Твердость опор СП

Твердость опор		Область применения
<i>HRC_c</i>	<i>HV</i>	
46,5-56	470-615	При серийном производстве деталей по 8-12 качеству При обработке деталей по 7-8 качеству и установке по необработанным базам При массовом или серийном производстве деталей по 6-7 качеству
56-61	615-717	
61-66	717-830	

Таблица П.4.4

Критерий износостойкости П₁

Материал заготовки	Материал опор				
	Сталь 20 (цементованная, закаленная)	Сталь 40X (закаленная)	Сталь У10А (закаленная)	Сталь 45 (хромированная базисная поверхность опор)	Сплав ВК8
Чугун	1,0	0,94	0,80	0,44	0,09
Сталь: незакаленная	1,03	0,97	0,82	0,45	0,10
закаленная	1,07	1,01	0,86	0,47	0,12

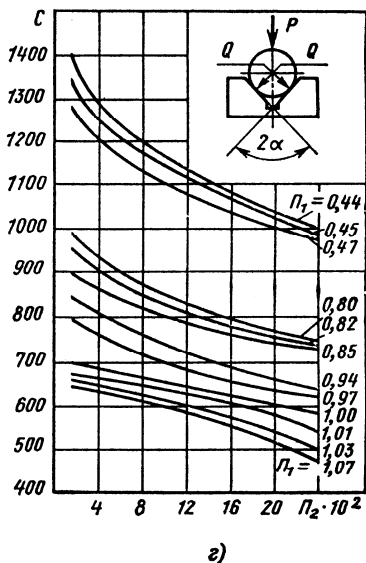
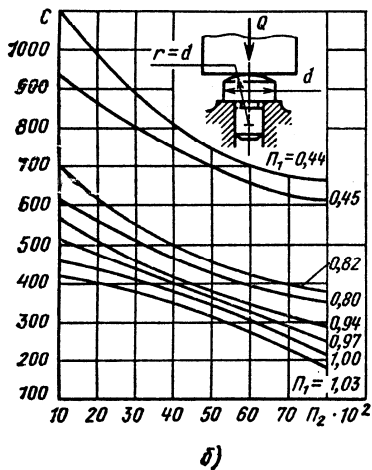
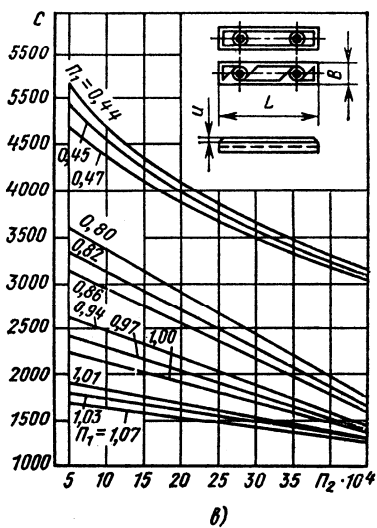
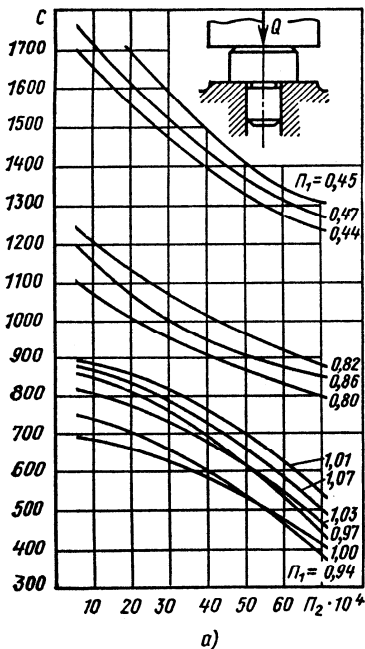


Рис. П.4.1. Графики для определения износостойкости C опоры:
 а – штырей с плоской головкой; б – штырей со сферической головкой;
 в – пластин; г – призм

Таблица П.4.5

Номинальная площадь касания опор с базой заготовки, F , мм²

Опоры постоянные со сферической головкой (ГОСТ 13441-68*)			Призмы опорные			Пластины опорные (ГОСТ 4743-68*)		
Номинальный диаметр D опоры, мм	Материал заготовки		Диаметр устанавливаемых валов, мм	Материал заготовки		Исполнение 1	Исполнение 2 (с пазами)	Размеры в плане, мм
	Сталь	Чугун		Сталь	Чугун			
6	1,76	1,31	10-15	7,9	4,0	640	480	16*60
12	2,78	2,06	15-20	11,6	6,0	960	720	16*90
16	3,36	2,50	20-25	15,0	7,1	1066	800	20*80
20	3,90	2,90	25-35	21,2	11,2	1600	1200	20*120
25	4,52	3,35	35-45	28,5	14,8	1660	1250	25*100
30	5,18	3,76	45-60	36,1	18,7	1500	1875	25*150
40	5,27	4,56	60-80	48,5	25,2	2400	1800	30*120
-	-	-	80-100	61,0	31,6	3600	2700	30*180

Примечания: 1. Таблица составлена для случая, когда действующая на опору нормальная сила $Q=10$ кН, причем площадь F не зависит от силы Q для пластин (ГОСТ 4743-68*).

2. Для опор со сферической головкой (ГОСТ 13441-68*) и опорных призм в общем случае $F = \sqrt{0,1Q \cdot F_{\text{табл.}}}$, где $F_{\text{табл.}}$ – указанная в таблице площадь F .

3. Величину F для постоянных опор с плоской (ГОСТ 13440-68) и насеченной (ГОСТ 13442-68*) головками определяют по фактической площади рабочей поверхности.

Таблица П.4.6

Поправочный коэффициент K_y

Материал заготовки	Методы обработки	K_y
Чугун	Точение, фрезерование, сверление без охлаждения	1,12
	Шлифование без охлаждения	1,58
Сталь с твердостью: HB 150-220	Точение, фрезерование, сверление с охлаждением	0,94
	То же, без охлаждения	1,0
HRC_2 46,5-63	Шлифование с охлаждением	1,32

Пример П.4.1. Дано: У цилиндрических заготовок диаметром $d = 50^{+0.2}$ мм, устанавливаемых в призму с углом $2\alpha = 90^\circ$ (рис. П.1), фрезеруют шпоночный паз. Определить погрешность установки при выполнении размера после обработки 15000 деталей. Фрезы после переточки настраивают по установу; сила, действующая на призму, $Q = 10000$ Н (что соответствует нагрузке $q = 2000$ Н/см); машинное время $t_m = 1,95$ мин, фрезерование выполняют с охлаждением: призма изготовлена из стали 20Х, подвергнута цементации и закалке. Все остальные данные, необходимые для расчета, принять по примеру П.3.3.

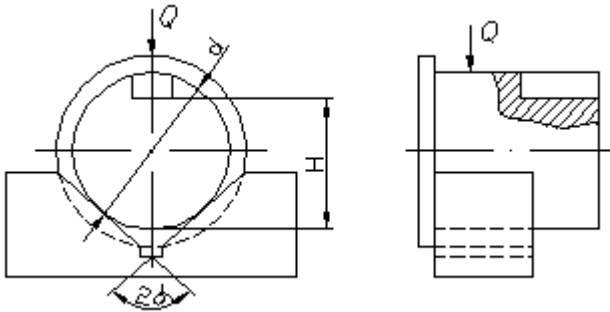


Рис. П.4.2. Схема к примеру П.3.1

$$2. \Delta_y = \sqrt{\Delta_0^2 + \varepsilon_{3.0}^2} + \varepsilon_{3.и} + \varepsilon_u + \Delta_{yc} + \Delta_c.$$

3. По табл.П.2

$$\Delta_0 = 0,5IT_d(1/\sin\alpha - 1) = 0,5 \cdot 0,2(1/\sin 45^\circ - 1) = 0,041 \text{ мм} = 41 \text{ мкм}.$$

Из примера П.3.3 $\varepsilon_{3.0} = 6,6$ мкм.

Износостойкость призмы рассчитывают по данным табл. 1, 6. Твердость призмы $HV650$ (табл. П.4.3). Критерий $\Pi_1 = 1,03$ (табл. П.4.4), $F = 36,1 \text{ мм}^2$ (табл. П.4.5),

$$\Pi_2 = 1000 / (36,1 \cdot 650) = 0,042.$$

По табл.П.4.1 $m = 1818$, $m_1 = 1014$, $m_2 = 1309$,

$$C = 1818 - 1014 \cdot 1,03 - 1309 \cdot 0,042 = 721 \text{ установок/мкм},$$

$$K = K_t \cdot K_L \cdot K_y.$$

Определим поправочный коэффициент (табл. П.4.2)

$$K_t = 0,79 \cdot 1,95 = 1,54; \quad K_L = 1 \quad \text{при} \quad L \leq 25 \quad \text{мм}; \quad K_y = 0,94;$$

$$K = 1,54 \cdot 1 \cdot 0,94 = 1,45.$$

Фактическая износостойкость

$$C_\Phi = 721/1,45 = 500 \text{ установок/мкм.}$$

Нормальный износ призмы

$$u = 15000/500 = 30 \text{ мкм}, \quad \varepsilon_{\text{н}} = 30/0,707 = 42,5 \text{ мкм.}$$

Радиус изношенной поверхности призмы при одностороннем приложении силы резания

$$R_{\text{н}} = \frac{0,22 \cdot (\sqrt{2,28 \cdot 50 \cdot 3 \cdot 10^{-3}} + (0,5 \cdot 0,2 + 0,057 \cdot 3 \cdot 10^{-3}) \operatorname{ctg} 45^\circ)^2}{3 \cdot 10^{-3}} = 28 \text{ см},$$

$$K_{\text{н}} = \sqrt{\frac{28}{28} - 0,5 \cdot 50} = 3,2.$$

По табл. П.2.3

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

Согласно рекомендациям, приведенным на см. [14], принимаем $\Delta_{\text{yc}} = 10 \text{ мкм}$ и $\Delta_{\text{c}} = 20 \text{ мкм}$.

$$\Delta_y = \sqrt{41^2 + 6,6^2} + 4,6 + 42,5 + 10 + 20 = 115,4 \text{ мкм.}$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

Рекомендуемые значения параметров при расчетах точности обработки

Таблица П.5.1

Средне-экономическая точность различных методов обработки (к определению погрешности $\Delta_{м,о}$)

№	Метод обработки	Квалитет точности	
		диаметральных	продольных
1	Обтачивание и растачивание черновые поверхностей, полученных литьем, свободной ковкой	12...13	12...13
2	Обтачивание и растачивание черновые поверхностей, полученных точным литьем, штамповкой и из проката	11...12	11...12
3	Обтачивание и растачивание чистовое	8...9	8...9
4	Обтачивание и растачивание тонкое	6...8	7...8
5	Долбление и строгание черновое		13...14
6	Строгание чистовое		10...12
7	Фрезерование черновое		12...14
8	Фрезерование чистовое		8...10
9	Протягивание предварительное	10...11	9...10
10	Протягивание чистовое	6...8	7...8
11	Шлифование предварительное	9...10	8...10
12	Шлифование чистовое	6...8	7...8
13	Шлифование тонкое	5...7	6...7
14	Сверление спиральными сверлами	12...14	
15	Сверление ружейными сверлами	7...11	
16	Зенкерование предварительное	11...12	
17	Зенкерование чистовое	9...10	
18	Развертывание предварительное	8...9	
19	Развертывание чистовое	6...7	
20	Цекование черновое		14...15
21	Цекование чистовое		11...12
22	Хонингование	5...7	

Таблица П.5.2

**Характеристики точности металлорежущих станков
общего назначения (класса точности *H*)
(к определению погрешности Δ_c)**

Типы станков	Проверяемый параметр	Допуск, мм
Токарные	Радиальное биение центрирующего пояска шпинделя для установки СП при диаметре $3r$, мм:	
	до 400	0,010
	до 800	0,015
	Радиальное биение оси отверстия шпинделя при диаметре $3r$, мм:	
	у торца шпинделя	
	до 400	0,010
	до 800	0,015
	на расстоянии 330мм	
	до 400	0,020
	до 800	0,025
Токарно-револьверные	Радиальное биение центрирующего пояска шпинделя при диаметре $3r$, мм:	
	до 200	0,007
	свыше 200 до 320	0,010
	свыше 320 до 500	0,015
Вертикально-сверлильные	Радиальное биение посадочной поверхности шпинделя, мм:	
	на расстоянии 150 мм от торца	0,020
	на расстоянии 300 мм от торца	0,030
	Отклонение от перпендикулярности оси вращения шпинделя к рабочей поверхности стола, мм:	
	на расстоянии 150 мм от торца	0,040
	на расстоянии 300 мм от торца	0,050
	на расстоянии 500 мм от торца	0,080
Фрезерно-консольные	Отклонение от параллельности рабочей поверхности стола направлению его продольного перемещения на длине хода, мм:	
	до 400	0,020
	до 630	0,025
	до 1000	0,030
	свыше 1000	0,040

Продолжение табл. П.5.2

	Отклонение от параллельности боковых сторон среднего паза стола направлению его продольного перемещения на длине хода, мм:	
	до 400	0,020
	до 630	0,025
	до 1000	0,030
	свыше 1000	0,040
	Радиальное биение конического отверстия шпинделя у торца, мм:	0,010
	Отклонение от перпендикулярности оси вращения шпинделя и рабочей поверхности стола для станков с шириной стола, мм:	
	до 160 мм на диаметре 300 мм	0,012
свыше 160 мм на диаметре 300 мм	0,025	
Зубофрезерные	Радиальное биение контрольной оправки, установленной в отверстие стола, для станков с наибольшим диаметром Z_r , мм:	
	до 125	0,008
	до 320	0,010
	до 800	0,015

Предельные отклонения диаметров сверл, зенкеров и разверток

Номинальный диаметр инструмента, мм	Предельные отклонения диаметров, мм				
	Сверло		Зенкер		
	Общего назначения	Повышенной точности	Для черновой обработки	Для чистовой обработки	
				по Н8	по Н9
1...3	-0,025	-0,014	-	-	-
3...6	-0,030	-0,018	-0,025	+0,040... ...+0,015	+0,120... ...+0,070
6...10	-0,036	-0,022	-0,035	+0,050... ...+0,015	+0,150... ...+0,080
10...18	-0,043	-0,027	-0,040	+0,060... ...+0,020	+0,180... ...+0,100
18...30	-0,052	-0,033	-0,050	+0,070... ...+0,020	+0,210... ...+0,110
30...50	-0,062	-0,039	-0,060	+0,090... ...+0,030	+0,280... ...+0,160
50...80	-0,074	-0,046	-0,075	+0,110... ...+0,035	+0,320... ...+0,170
Номинальный диаметр инструмента, мм	Зенкер под черновую развертку	Развертка			
		Черновая	по Н6	по Н7	по Н8
1...3	-	-	+0,004... ...+0,002	+0,006... ...+0,003	+0,013... ...+0,006
3...6	-	-	+0,005... ...+0,002	+0,008... ...+0,004	+0,017... ...+0,00
6...10	-0,150 -0,200	+0,012 -0,013	+0,006... ...+0,003	+0,010... ...+0,005	+0,020... ...+0,010
10...18	-0,210 -0,245	+0,015 -0,015	+0,007... ...+0,003	+0,012... ...+0,006	+0,024... ...+0,012
18...30	-0,245 -0,290	+0,018 -0,017	+0,009... ...+0,004	+0,015... ...+0,007	+0,030... ...+0,015
30...50	-0,290 -0,340	+0,023 -0,022	+0,010... ...+0,005	+0,018... ...+0,009	+0,033... ...+0,018
50...80	-0,350 -0,410	+0,025 -0,025	+0,012... ...+0,006	+0,020... ...+0,010	+0,040... ...+0,020

Погрешности закрепления Δ заготовки в СП, в мкм

Поперечные размеры заготовки, мм	Характеристика базовой поверхности									
	Полученная литьем				Полученная горя- чей штамповкой	Горячекаланная	Предварительно обработанная	Холодногнутая калиброванная	Окончательно обработанная	Шлифованная
	в песчаную форму	по металличе- ской модели	по выплавляе- мой модели	под давлением						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1. Установка в цанговой оправке или патроне (погрешность в радиальном биении)										
6...10	-	-	-	-	-	-	40	40	20	-
10...18	-	-	-	-	-	-	50	50	25	-
18...30	-	-	-	-	-	-	60	60	30	-
30...50	-	-	-	-	-	-	70	70	35	-
50...80	-	-	-	-	-	-	80	80	40	-
80...120	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
120...180	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
180...260	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
260...360	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
360...500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2. Установка в трехкулачковом патроне с ручным приводом (погрешность в радиальном биении)										
6...10	220	150	50	25	220	220	-	50	25	-
10...18	270	175	60	30	270	270	-	60	30	-
18...30	320	200	70	35	320	320	-	70	35	-
30...50	370	250	80	40	370	370	-	80	40	-
50...80	420	300	100	50	420	420	-	100	50	-
80...120	500	350	120	60	500	500	-	120	60	-
120...180	600	400	140	70	600	600	-	140	70	-
180...260	700	450	160	80	700	-	-	160	80	-
260...360	800	550	-	-	800	-	-	180	90	-
360...500	900	650	-	-	-	-	-	200	100	-
3. Установка в трехкулачковом патроне с механизированным приводом (погрешность в радиальном биении)										
6...10	180	120	40	20	180	180	-	40	20	-
10...18	220	140	50	25	220	220	-	50	25	-
18...30	260	170	60	30	260	260	-	60	30	-
30...50	320	200	70	35	320	320	-	70	35	-
50...80	380	240	80	40	380	380	-	80	40	-
80...120	440	280	90	45	440	440	-	90	45	-

Продолжение табл. П.5.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
120...180	500	320	100	50	500	500	-	100	50	-
180...260	580	380	120	60	580	-	-	120	60	-
260...360	660	440	-	-	660	-	-	140	70	-
360...500	760	500	-	-	-	-	-	160	80	-
Примечания: 1. При установке на оправку надо учитывать погрешность базирования и принимать погрешность закрепления в зависимости от крепления оправки в 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 изменением положения заготовки под действием сил резания.										
4. Установка в цанговой оправке или по упору (погрешность в осевом направлении)										
6...10	-	-	-	-	-	-	40	40	20	-
10...18	-	-	-	-	-	-	50	50	25	-
18...30	-	-	-	-	-	-	60	60	30	-
30...50	-	-	-	-	-	-	70	70	35	-
50...80	-	-	-	-	-	-	80	80	40	-
80...120	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
120...180	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
180...260	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
260...360	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
360...500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5. Установка в трехлапчатом патроне с ручным приводом (погрешность в осевом направлении)										
6...10	70	60	50	30	70	70	-	50	30	-
10...18	80	70	60	40	80	80	-	60	40	-
18...30	90	80	70	50	90	90	-	70	50	-
30...50	100	90	80	60	100	100	-	80	60	-
50...80	110	100	90	70	110	110	-	90	70	-
80...120	120	110	100	80	120	120	-	100	80	-
120...180	130	120	110	90	130	130	-	110	90	-
180...260	140	130	120	100	140	-	-	120	100	-
260...360	150	140	-	-	150	-	-	130	110	-
360...500	160	150	-	-	-	-	-	140	120	-
6. Установка в трехлапчатом патроне с механизированным приводом (погрешность в осевом направлении)										
6...10	55	55	45	25	55	55	-	40	25	-
10...18	60	60	50	35	60	60	-	50	30	-
18...30	70	65	55	45	70	70	-	60	35	-
30...50	80	75	65	50	80	80	-	70	40	-

Продолжение табл. П.5.4

50...80	90	80	75	55	90	90	-	80	50	-
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
80...120	100	90	80	65	100	100	-	90	60	-
120...180	110	100	85	70	110	110	-	90	70	-
180...260	120	110	90	80	120	-	-	100	80	-
260...360	130	120	-	-	130	-	-	110	90	-
360...500	140	130	-	-	-	-	-	120	100	-
Примечания: 1. При установке на оправку надо учитывать погрешность базирования и принимать погрешность закрепления в зависимости от крепления оправки в патроне или в зажимном приспособлении. 2. Установка в центрах не дает погрешности закрепления, но дает погрешность базирования в осевом направлении.										
7. Установка в зажимное приспособление с винтовым или эксцентриковым зажимными устройствами (погрешность при установке на точечные опоры)										
6...10	-	-	80	70	-	90	-	80	70	60
10...18	100	100	90	80	100	100	-	90	80	70
18...30	125	110	100	90	125	125	-	100	90	80
30...50	150	120	110	100	150	150	-	110	100	90
50...80	175	130	120	110	175	175	-	120	110	100
80...120	200	140	130	120	200	200	-	130	120	110
120...180	225	150	140	130	225	225	-	140	130	120
180...260	250	160	150	140	250	-	-	150	140	130
260...360	300	180	-	-	300	-	-	160	150	140
360...500	350	200	-	-	-	-	-	170	160	150
8. Установка в приспособление с пневматическим зажимным устройством (погрешность при установке на точечные опоры)										
6...10	-	-	65	40	-	70	-	65	50	40
10...18	90	80	70	45	90	80	-	70	60	50
18...30	100	90	75	50	100	100	-	75	70	60
30...50	120	100	80	60	120	120	-	80	80	70
50...80	140	110	90	70	140	140	-	90	90	80
80...120	160	120	100	80	160	150	-	100	90	80
120...180	180	130	110	90	180	180	-	110	100	90
180...260	200	140	120	100	200	-	-	120	110	100
260...360	240	160	-	-	240	-	-	130	120	110
360...500	280	180	-	-	-	-	-	140	130	120
Примечания: 1. При установке на магнитной плите погрешность закрепления отсутствует. 2. Поперечный размер заготовки принимать наибольшим в сечении по нормали к обрабатываемой поверхности. 3. Погрешность закрепления дана по нормали к обрабатываемой поверхности.										

9. Установка в зажимное приспособление с винтовым или эксцентриковым зажимными устройствами (погрешность при установке на опорные пластины)										
6...10	-	55	40	30	-	90	-	40		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
10...18	100	60	50	40	100	100	-	50	30	20
18...30	110	70	60	50	110	110	-	60	40	30
30...50	120	80	70	60	120	120	-	70	50	40
50...80	135	90	80	70	135	135	-	80	60	50
80...120	150	100	90	80	150	150	-	90	70	60
120...180	175	110	100	90	175	175	-	100	80	70
180...260	200	120	110	100	200	-	-	110	90	80
260...360	240	130	-	-	240	-	-	120	100	90
360...500	280	140	-	-	-	-	-	130	110	100
10. Установка в приспособление с пневматическим зажимным устройством (погрешность при установке на опорные пластины)										
6...10	-	50	35	25	-	70	-	35	25	15
10...18	80	55	40	30	80	80	-	40	30	20
18...30	90	60	50	35	90	90	-	50	35	25
30...50	100	65	55	40	100	100	-	55	40	30
50...80	110	70	60	50	110	110	-	60	50	40
80...120	120	80	70	60	120	120	-	70	60	50
120...180	140	90	80	70	140	140	-	80	70	60
180...260	160	100	90	80	160	-	-	90	80	70
260...360	190	110	-	-	190	-	-	100	90	80
360...500	220	120	-	-	-	-	-	110	100	90
Примечания: 1. При установке на магнитной плите погрешность закрепления отсутствует. 2. Поперечный размер заготовки принимать наибольшим в сечении по нормали к обрабатываемой поверхности. 3. Погрешность закрепления дана по нормали к обрабатываемой поверхности.										

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

Таблица П.6.1

Примеры обозначений допусков формы и расположений








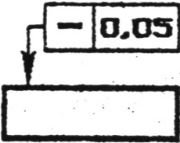
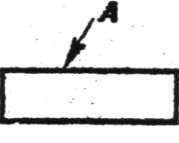
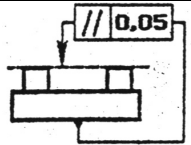
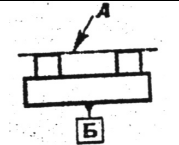
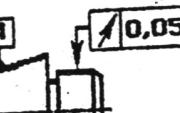
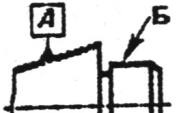
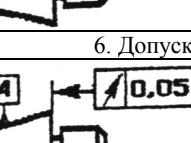
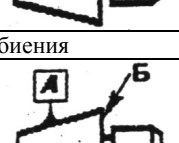
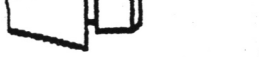

Группа допусков	Вид допуска	Обозначение
Допуск формы	Допуск прямолинейности	—
	Допуск плоскостности	
	Допуск круглости	
	Допуск цилиндричности	
	Допуск профиля продольного сечения	=
Допуск расположения	Допуск параллельности	//
	Допуск перпендикулярности	⊥
	Допуск наклона	∠
	Допуск соосности	
	Допуск симметричности	
	Допуск пересечения осей	X
	Позиционный допуск	
Суммарные допуски	Допуск радиального биения	
	Допуск торцового биения	
	Допуск биения в заданном направлении	
	Допуск полного радиального биения	
	Допуск полного торцового биения	
	Допуск формы заданного профиля	
	Допуск формы заданной поверхности	

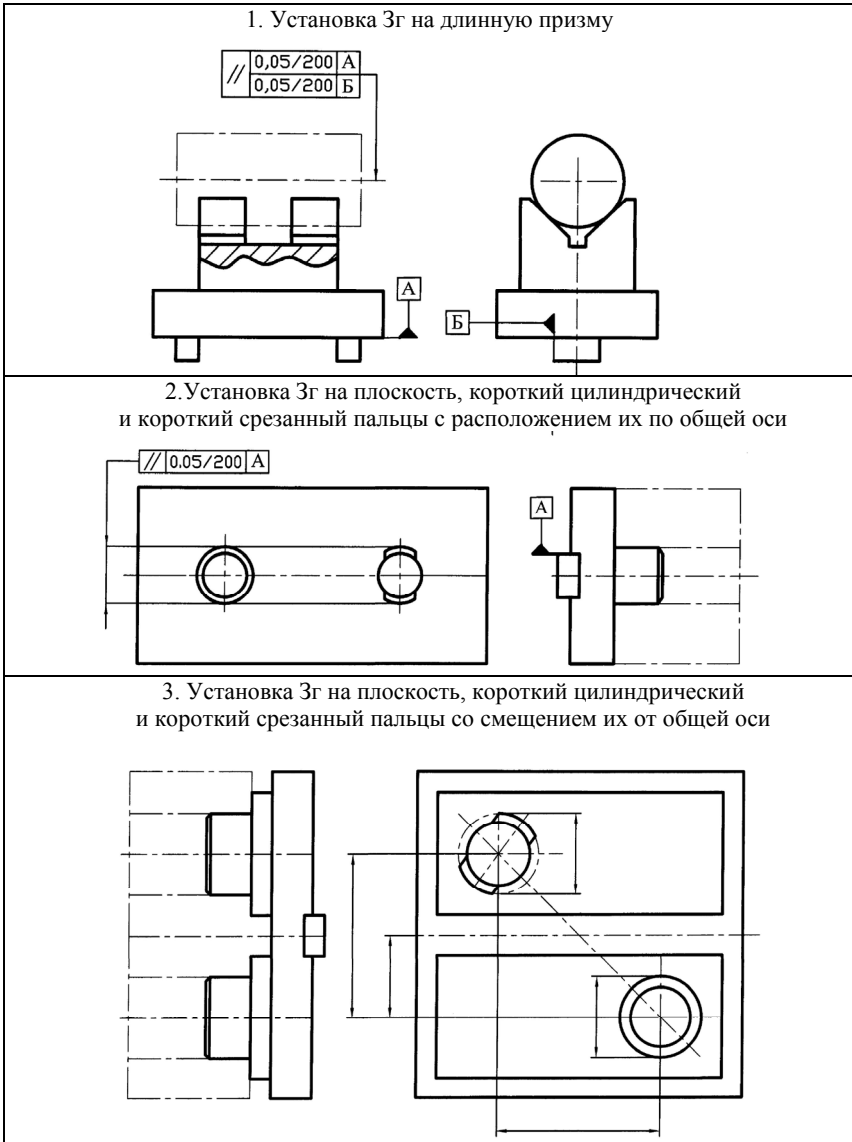
Таблица П.6.2

Группа допусков	Эскиз графического обозначения	Эскиз обозначения в тексте
Допуск формы	1. Допуск прямолинейности	
		
Допуск расположения	2. Допуск плоскостности	
		
Суммарные допуски	3. Допуск параллельности	
		
Суммарные допуски	4. Допуск перпендикулярности	
		
Суммарные допуски	5. Допуск радиального биения	
		
Суммарные допуски	6. Допуск торцевого биения	

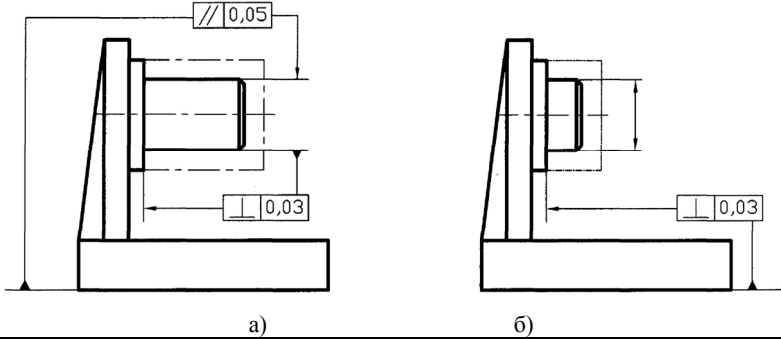
Технические требования текстом к пунктам 1...6

1. Допуск прямолинейности поверхности А 0,1 мм.
2. Допуск плоскостности поверхности А 0.05 м.
3. Допуск параллельности поверхности А относительно поверхности Б 0.05 мм.
4. Допуск перпендикулярности поверхности А относительно поверхности Б 0.05 мм.
5. Допуск радиального биения поверхности Б относительно поверхности А 0.05 мм.
6. Допуск торцового биения поверхности Б относительно поверхности А 0.05 мм.

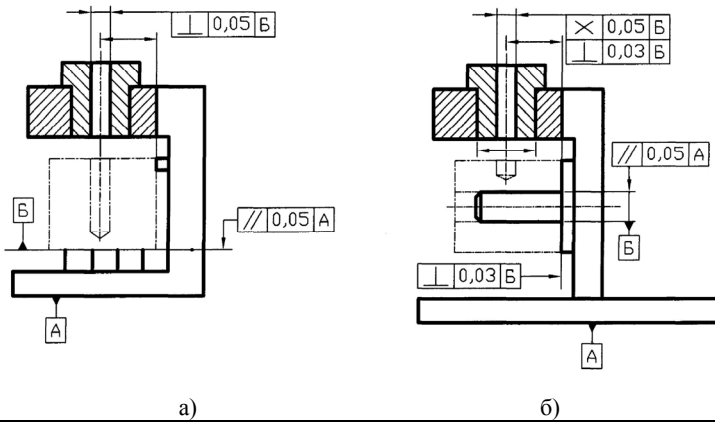
**Примеры простановки размеров и технических требований
на типовых схемах установки**



4. Установка Зг на длинный цилиндрический палец с упором в торец (а) и на плоскость и короткий цилиндрический палец (б)



5. Установка Зг на длинные установочные пластины (а) и на длинный цилиндрический палец (б) с упором в торец



Примеры дополнительных технических требований на чертежах СП

1	Сварные швы по ГОСТ 5264-80.
2	Пневмокамеру испытать на герметичность при давлении 0,6 МПа.
3	При сборке обеспечить плавность хода подвижных элементов без люфтов и заеданий.
4	Трущиеся поверхности, сопрягаемых деталей смазать солидолом УС-2 по ГОСТ 1033-79. Трущиеся поверхности, сопрягаемых деталей смазать ЦИАТИМ-202 по ГОСТ11110-75.
5	Контроль приспособления производить через каждые два месяца с начала эксплуатации.
6	Нерабочие поверхности покрыть синей эмалью МЛ-152 по ГОСТ 18099-78. Нерабочие поверхности окрасить в серый цвет эмалью ГФ-230 по ГОСТ 18099-78.
7	Окончательную отладку приспособления выполнять после обработки пробных Зг.
8	При отладке приспособления между корпусом ... и призмой ... допускается ставить прокладки из медной фольги толщиной до ... мм.
9	В период хранения приспособления поверхности без лакокрасочных покрытий необходимо смазывать синтетическим солидолом марки С по ГОСТ 4366-76 или солидолом жировым марки Ж по ГОСТ 1033-79.
10	Расчистывание отверстий в кронштейне ... под кондукторные втулки ... следует производить после сборки приспособления с допусками размеров и техническими требованиями согласно чертежу.

Таблица П.6.5

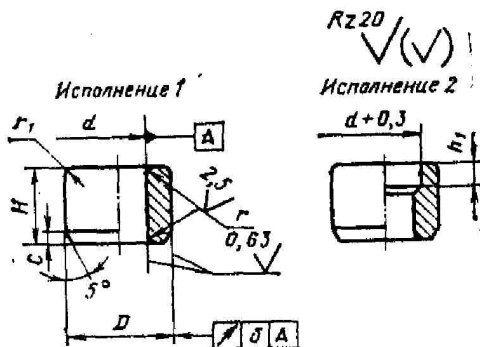
Периодичность проверок некоторых конструкций СП

Приспособления	Тип производства		
	Единичное	Серийное	Массовое
	Периодичность проверок, мес.		
Токарные:			
Оправки (гладкие, резьбовые)	3	2	1
Нашпindelные СП	5	3	2
Патроны (кулачковые и др.)	6	3	2
Сверлильные, расточные:			
кондукторы	5	3	2
для расточки	2	1	1
Фрезерные:			
Поворотные вертикальные	6	3	2
Поворотные горизонтальные	5	2	1
СП с круговой подачей	4	2	1
СП для нарезания шестерен	5	2	1
Прочие:			
К шлифовальным станкам	4	2	1
К строгальным станкам	6	3	2

ПРИЛОЖЕНИЕ 7

Таблица П.7.1

Втулки кондукторные постоянные (ГОСТ 18429–73*).
Размеры, мм



Обозначения	d	D (поле допуска п6)	H	c	r	r_1	Масса 1000 шт., кг, не более
7051-0085	Св. 7,5 до 9	14	8	0,8	1	0,4	6,8-6
7051-0086			10	1,2			8,6-7
7051-0087			12				9,8-8,5
7051-0088			16	1,6			13-11,3
7051-0089			20	2			17,3-14,2
7051-0091	Св. 9 до 10,5	16	10	1,2			10,8-9
7051-0092			12				12,9-10,7
7051-0093			16	1,6			17,2-15,1
7051-0094			20	2			21,6-18
7051-0095			25	2,5			
7051-0096	Св. 10,5 до 12	18	10	1,2	1,2	0,6	13,2-11,1
7051-0097			12				15,8-13,3
7051-0098			16	1,6			21,9-17,8
7051-0099			20	2			26,4-22,2
7051-0101			25	2,5			33-27,8
7051-0102	Св. 12 до 14	20	12	1,2			18,9-15,1
7051-0103			16	1,6			25,3-20,2
7051-0104			20	2			31,5-25,1
7051-0105			25	2,5			39,5-31,5
7051-0106			32	3,2			50,5-40,2

Продолжение табл. П.7.1

7051-0107	Св. 14 до 15	22	12	1,2	1,6		21,3-19,2
7051-0108			16	1,6			28,4-25,5
7051-0109			20	2			35,5-32
7051-0111			25	2,5			44,4-39,9
7051-0112			32	3,2			56,8-51,1
7051-0113	Св. 15 до 17	25	12	1,2	1,6		29,6-24,8
7051-0114			16	1,6			39,4-33,1
7051-0115			20	2			49,4-41,5
7051-0116			25	2,5			61,6-51,7
7051-0117			32	3,2			78,9-66,3
7051-0118	Св. 17 до 20	28	15	1,6			55,9-37,8
7051-0119			20	2			68,2-47,4
7051-0121			25	2,5			85,3-59,2
7051-0122			32	3,2			110,1- 75,8
7051-0123			40	4			136,4- 94,8
7051-0124	Св. 20 до 23	32	16	1,6	2	0,8	61,5-48,8
7051-0125			20	2			77-61,1
7051-0126			25	2,5			96,1-76,3
7051-0127			32	3,2			123,1- 97,6
7051-0128			40	4			153,9- 122,1
<p>Примечания: 1. В ГОСТ 18429-73* диапазон основных размеров шире: $d=0,19-80$, $D=2,8-100$; $H=4-80$; $c=0,6-6$.</p> <p>2. Исполнение 1 для всего диапазона размеров; исполнение 2 только для втулок диаметром $d=0,19-1,5$ ($h_f=1$; 2 и 4).</p> <p>3. Для втулок с толщиной стенки не более 1 мм $r=r_f=0,1$ мм.</p> <p>4. Пример условного обозначения постоянной кондукторной втулки исполнения 1 с размерами $d=2,9$, $D=5,6$ и $H=12$: <i>Втулка 7051-0045/0290 f7 ГОСТ 18429-73</i></p>							

Втулки кондукторные сменные (ГОСТ 18431-73*).
Размеры, мм

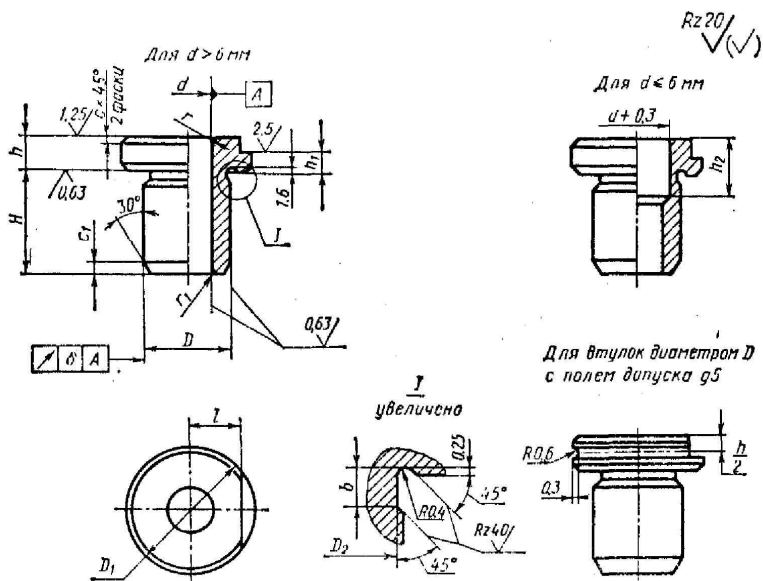


Таблица П.7.2

Обозначение втулок диаметром D с полем допуска		d не более	D (поле допуска g5 или g6)	H	D ₁	L	h ₁ (поле допуска b11)	l	Масса 1000 шт., кг, не более
g5	g6								
7051-2087	7051-2088	9	14	12	24	10	4	9.5	42
7051-2091	7051-2092			16					44.8
7051-2093	7051-2094			20					47.7
7051-2095	7051-2096	10.5	16	10	26	10	4	10.5	49.1
7051-2097	7051-2098			12					51.5
7051-2101	7051-2102			16					54.1
7051-2103	7051-2104	12	18	20	30	10	4	12.5	57.5
7051-2105	7051-2106			25					61.6
7051-2107	7051-2108			10					57.7
7051-2111	7051-2112	12	18	12	30	10	4	12.5	59.9
7051-2113	7051-2114			16					64.4
7051-2115	7051-2116			20					68.8
7051-2117	7051-2118	12	18	25	30	10	4	12.5	74.4
7051-2121	7051-2122			12					81.2
7051-2123	7051-2124			16					86.3

Продолжение табл. П.7.2

Обозначение втулок диаметром D с полем допуска		d не более	D (поле допуска $g5$ или $g6$)	H			h_1 (поле допуска $b11$)	l	Масса 1000 шт., кг, не более
7051-2125	7051-2126	14		20	32	12	5	13	91,2
7051-2127	7051-2128			25					97,6
7051-2131	7051-2132			32					106,3
7051-2133	7051-2134	15		12	34			14	98,5
7051-2135	7051-2136			16					104,8
7051-2137	7051-2138			20					111,3
7051-2141	7051-2142			25					119,2
7051-2143	7051-2144			32					130,4
7051-2145	7051-2146	17		12	36	12	5	15	110,2
7051-2147	7051-2148			16					118,5
7051-2151	7051-2152			20					126,9
7051-2153	7051-2154			25					137,1
7051-2155	7051-2156			32					151,7
7051-2157	7051-2158	20		16	40			17	138,7
7051-2161	7051-2162			20					148,3
7051-2163	7051-2164			25					160,1
7051-2165	7051-2166			32					176,7
7051-2167	7051-2168			40					195,7
7051-2171	7051-2172	23		16	45			19,5	166,3
7051-2173	7051-2174			20					178,6
7051-2175	7051-2176			25					193,8
7051-2177	7051-2178			32					215,1

Примечание: 1. В ГОСТ 18431-73* диапазон основных размеров шире: $d=4,5-50$; D (поле допуска $g5$ или $g6$)= $8-63$; $H=6,3-63$; $D_1=16-88$; $h=9-16$; $l=6-39,5$.

2. $D_2=7,7-62,5$; $h_2=4-14$; $b=1,6-3$; $r=0,6-2,5$; $r_1=0,3-1,6$; $c=0,3-1,2$; $c_1=0,4-1$.

3. Установку сменных втулок в СП см. стр. 272, 273.

4. Технические требования см. 275.

5. Пример условного обозначения сменной кондукторной втулки размерами $d=4,5$ мм, $D=8$ мм, $H=6,3$ мм:
Втулка 7051-2021/04500 f7 ГОСТ 18431-73

ПРИЛОЖЕНИЕ 8

Таблица П.8

Поля допусков

Интервал размеров, мм	Отв.	валов										
	H6	f6	g6	h6	js6	к6	m6	n6	p6	r6	s6	t6
Предельные отклонения, мкм												
от 1 до 3	+6	-6	-2	0	+3,0	+6	+8	+10	+12	+16	+20	
	0	-12	-8	-6	-3,0	0	+2	+4	+6	+10	+14	
св. 3 до 6	+8	-10	-4	0	+4,0	+9	+12	+16	+20	+23	+27	
	0	-18	-12	-8	-4,0	+1	+4	+8	+12	+15	+19	
6 – 10	+9	-13	-5	0	+4,5	+10	+15	+19	+24	+28	+32	
	0	-22	-14	-9	-4,5	+1	+6	+10	+15	+19	+23	
10 – 14	+11	-16	-6	0	+5,5	+12	+18	+23	+29	+34	+39	
	0	-27	-17	-11	-5,5	+1	+7	+12	+18	+23	+28	
14 – 18												
	+13	-20	-7	0	+6,5	+15	+21	+28	+35	+41	+48	
18 – 24												
	0	-33	-20	-13	-6,5	+2	+8	+15	+22	+28	+35	+54
24 – 30												+41
												+64
30 – 40	+16	-25	-9	0	+8,0	+18	+25	+33	+42	+50	+59	+48
	0	-41	-25	-16	-8,0	+2	+9	+17	+26	+34	+43	+70
40 – 50												+54
												+66
50 – 65	+19	-30	-10	0	+9,5	+21	+30	+39	+51	+60	+72	+85
	0	-49	-29	-19	-9,5	+2	+11	+20	+32	+41	+53	+66
65 – 80												+94
												+75
80 – 100												+113
	+22	-36	-12	0	+11,0	+25	+35	+45	+59	+73	+93	+91
100 – 120	0	-58	-34	-22	-11,0	+3	+13	+23	+37	+51	+71	+126
												+104
120 – 140												+147
												+122
140 – 160	+25	-43	-14	0	+12,5	+28	+40	+52	+68	+90	+125	+159
	0	-68	-39	-25	-12,5	+3	+15	+27	+43	+65	+100	+134
160 – 180												+171
												+146
180 – 200												+195
												+166
200 – 225	+29	-50	-15	0	+14,5	+33	+46	+60	+79	+106	+151	+209
	0	-79	-44	-29	-14,5	+4	+17	+31	+50	+77	+122	+180
225 – 250												+225
												+196
250 – 280												+250
	+32	-56	-17	0	+16,0	+36	+52	+66	+88	+126	+190	+250
280 – 315	0	-88	-49	-32	-16,0	+4	+20	+34	+56	+94	+158	+218
												+218
315 – 355												+304
	+36	-62	-18	0	+18,0	+40	+57	+73	+98	+144	+226	+304
355 – 400	0	-98	-54	-36	-18,0	+4	+21	+37	+62	+108	+190	+268
												+330
												+294

Продолжение табл. П.8

Интервал размеров, мм	отв.	валов								
	H7	e7	f7	h7	js7	k7	m7	n7	s7	u7
Предельные отклонения, мкм										
от 1 до 3	+10	-14	-6	0	+5	+10		+14	+24	+28
	0	-24	-16	-10	-5	0		+4	+14	+18
св. 3 до 6	+12	-20	-10	0	+6	+13	+16	+20	+31	+35
	0	-32	-22	-12	-6	+1	+4	+8	+19	+23
6 – 10	+15	-25	-13	0	+7	+16	+21	+25	+38	+43
	0	-40	-28	-15	-7	+1	+6	+10	+23	+28
10 – 14	+18	-32	-16	0	+9	+19	+25	+30	+46	+51
	0	-50	-34	-18	-9	+1	+7	+12	+28	+33
18 – 24	+21	-40	-20	0	+10	+23	+29	+36	+56	+62
	0	-61	-41	-21	-10	+2	+8	+15	+35	+41
24 – 30	+25	-50	-25	0	+12	+27	+34	+42	+68	+69
	0	-75	-50	-25	-12	+2	+9	+17	+43	+48
30 – 40	+25	-50	-25	0	+12	+27	+34	+42	+68	+85
	0	-75	-50	-25	-12	+2	+9	+17	+43	+60
40 – 50	+25	-50	-25	0	+12	+27	+34	+42	+68	+95
	0	-75	-50	-25	-12	+2	+9	+17	+43	+70
50 – 65	+30	-60	-30	0	+15	+32	+41	+50	+83	+117
	0	-90	-60	-30	-15	+2	+11	+20	+53	+87
65 – 80	+30	-60	-30	0	+15	+32	+41	+50	+89	+132
	0	-90	-60	-30	-15	+2	+11	+20	+59	+102
80 – 100	+35	-72	-36	0	+17	+38	+48	+58	+106	+159
	0	-107	-71	-35	-17	+3	+13	+23	+71	+124
100 – 120	+35	-72	-36	0	+17	+38	+48	+58	+114	+179
	0	-107	-71	-35	-17	+3	+13	+23	+79	+144
120 – 140	+40	-85	-43	0	+20	+43	+55	+67	+132	+210
	0	-125	-83	-40	-20	+3	+15	+27	+92	+170
140 – 160	+40	-85	-43	0	+20	+43	+55	+67	+140	+230
	0	-125	-83	-40	-20	+3	+15	+27	+100	+190
160 – 180	+40	-85	-43	0	+20	+43	+55	+67	+148	+250
	0	-125	-83	-40	-20	+3	+15	+27	+108	+210
180 – 200	+46	-100	-50	0	+23	+50	+63	+77	+168	+282
	0	-146	-96	-46	-23	+4	+17	+31	+122	+236
200 – 225	+46	-100	-50	0	+23	+50	+63	+77	+176	+303
	0	-146	-96	-46	-23	+4	+17	+31	+130	+258
225 – 250	+46	-100	-50	0	+23	+50	+63	+77	+186	+330
	0	-146	-96	-46	-23	+4	+17	+31	+140	+284
250 – 280	+52	-110	-56	0	+26	+56	+72	+86	+210	+367
	0	-162	-108	-52	-26	+4	+20	+34	+158	+315
280 – 315	+52	-110	-56	0	+26	+56	+72	+86	+222	+402
	0	-162	-108	-52	-26	+4	+20	+34	+170	+350
315 – 355	+57	-125	-62	0	+28	+61	+78	+94	+247	+447
	0	-182	-119	-57	-28	+4	+21	+37	+190	+390
355 – 400	+57	-125	-62	0	+28	+61	+78	+94	+256	+492
	0	-182	-119	-57	-28	+4	+21	+37	+208	+435

Интервал размеров, мм	ОТВ.		ВАЛОВ									ОТВ.		ВАЛОВ				
	H8	c8	d8	e8	f8	h8	u8	x8	z8	H9	d9	e9	f9	h9				
	Предельные отклонения, мкм																	
от 1 до 3	+14 0	-60 -74	-20 -34	-14 -28	-6 -20	0 -14	+32 +18	+34 +20	+40 +26	+25 0	-20 -45	-14 -39	-6 -31	0 -25				
св. 3 до 6	+18 0	-70 -88	-30 -48	-20 -38	-10 -28	0 -18	+41 +23	+46 +28	+53 +35	+30 0	-30 -60	-20 -50	-10 -40	0 -30				
6 – 10	+22 0	-80 -102	-40 -62	-25 -47	-13 -35	0 -22	+50 +28	+56 +34	+64 +42	+36 0	-40 -76	-25 -61	-13 -49	0 -36				
10 – 14	+27 0	-95 -122	-50 -77	-32 -59	-16 -42	0 -27	+60 +33	+40 +72	+50 +87	+43 0	-50 -93	-32 -75	-16 -59	0 -43				
14 – 18								+67 +40	+77 +50									
18 – 24	+33 0	-110 -143	-65 -98	-40 -73	-20 -53	0 -33	+74 +41	+87 +54	+106 +73	+52 0	-65 -117	-40 -92	-20 -72	0 -52				
24 – 30							+81 +48	+97 +64	+121 +88									
30 – 40	+39 0	-120 -159	-80 -119	-50 -89	-25 -64	0 -39	+99 +60	+119 +80	+151 +112	+62 0	-80 -142	-50 -112	-25 -87	0 -62				
40 – 50							+109 +70	+136 +97	+175 +136									
50 – 65	+46 0	-140 -186	-100 -146	-60 -106	-30 -76	0 -46	+133 +87	+168 +122	+218 +172	+74 0	-100 -174	-60 -134	-30 -104	0 -74				
65 – 80							+148 +102	+192 +146	+256 +210									
80 – 100	+54 0	-170 -224	-120 -174	-72 -126	-36 -90	0 -54	+178 +124	+232 +178	+312 +258	+87 0	-120 -207	-72 -159	-36 -123	0 -87				
100 – 120							+198 +144	+264 +210	+364 +310									
120 – 140							+233 +170	+311 +248	+428 +365									
140 – 160	+63 0	-200 -263	-145 -208	-85 -148	-43 -106	0 -63	+253 +190	+343 +280	+478 +415	+100 0	-145 -245	-85 -185	-43 -143	0 -100				
160 – 180							+273 +210	+373 +310	+528 +465									
180 – 200							+308 +236	+422 +350	+592 +520									
200 – 225	+72 0	-240 -332	-170 -242	-100 -172	-50 -122	0 -72	+330 +258	+457 +385	+647 +575	+115 0	-170 -285	-100 -215	-50 -165	0 -115				
225 – 250							+356 +284	+497 +425	+712 +640									
250 – 280	+81 0	-300 -381	-190 -271	-110 -191	-56 -137	0 -81	+396 +315	+556 +475	+791 +710	+130 0	-190 -320	-110 -240	-56 -186	0 -130				
280 – 315							+431 +350	+606 +525	+871 +790									
315 – 355							+479 +390	+679 +590	+989 +900									
355 – 400	+89 0	-360 -449	-210 -299	-125 -214	-62 -151	0 -89	+524 +435	+749 +660	+1089 +1000	+140 0	-210 -350	-125 -265	-62 -202	0 -140				

Интервал размеров, мм	ОТВ.			ВАЛОВ						ОТВ.			ВАЛОВ		
	H10			H11			H12			H14					
	d10	h10		a11	b11	c11	d11	h11	b12	h12	H14	h14	js14		
Предельные отклонения, мкм															
от 1 до 3	+40 0	-20 -60	0 -40	+60 0	-270 -330	-140 -200	-60 -120	-20 -80	0 -60	+100 0	-140 -240	0 -100	+250 0	0 -250	+125 -125
св. 3 до 6	+48 0	-30 -78	0 -48	+75 0	-270 -345	-140 -215	-70 -145	-30 -105	0 -75	+120 0	-140 -260	0 -120	+300 0	0 -300	+150 -150
6 – 10	+58 0	-40 -98	0 -58	+90 0	-280 -370	-150 -240	-80 -170	-40 -130	0 -90	+150 0	-150 -300	0 -150	+360 0	0 -360	+180 -180
10 – 14	+70 0	-50 -120	0 -70	+110 0	-290 -400	-150 -260	-95 -205	-50 -160	0 -110	+180 0	-150 -330	0 -180	+430 0	0 -430	+215 -215
14 – 18															
18 – 24	+84 0	-65 -149	0 -84	+130 0	-300 -430	-160 -290	-110 -240	-65 -195	0 -130	+210 0	-160 -370	0 -210	+520 0	0 -520	+260 -260
24 – 30															
30 – 40	+100 0	-80 -180	0 -100	+160 0	-310 -470	-170 -330	-120 -280	-80 -80	0 -160	+250 0	-170 -420	0 -250	+620 0	0 -620	+310 -310
40 – 50					-320 -480	-180 -340	-130 -290	-240 -290			-180 -430				
50 – 65	+120 0	-100 -220	0 -120	+190 0	-340 -530	-190 -380	-140 -330	-100 -290	0 -190	+300 0	-190 -490	0 -300	+740 0	0 -740	+370 -370
65 – 80					-360 -550	-200 -590	-150 -340	-290 -340			-200 -500				
80 – 100	+140 0	-120 -260	0 -140	+220 0	-380 -600	-220 -440	-170 -390	-120 -340	0 -220	+350 0	-220 -570	0 -350	+870 0	0 -870	+435 -435
100 – 120					-410 -630	-240 -460	-180 -400	-340 -400			-240 -590				
120 – 140					-460 -710	-260 -510	-200 -450				-260 -660				
140 – 160	+160 0	-145 -305	0 -160	+250 0	-520 -570	-280 -530	-210 -460	-145 -395	0 -250	+400 0	-280 -680	0 -400	+1000 0	0 -1000	+500 -500
160 – 180					-580 -830	-310 -560	-230 -480				-310 -710				
180 – 200					-660 -950	-340 -630	-240 -530				-340 -800				
200 – 225	+185 0	-170 -155	0 -185	+290 0	-740 -1030	-380 -670	-260 -550	-170 -460	0 -290	+460 0	-380 -840	0 -460	+1150 0	0 -1150	+575 -575
225 – 250					-820 -1110	-420 -710	-280 -570				-420 -880				
250 – 280	+210 0	-190 -400	0 -210	+320 0	-920 -1240	-480 -800	-300 -620	-190 -510	0 -320	+520 0	-480 -1000	0 -520	+1300 0	0 -1300	+650 -650
280 – 315					-1050 -1370	-540 -860	-330 -650	-510 -650			-540 -1060				
315 – 355	+230 0	-210 -440	0 -230	+360 0	-1200 -1560	-600 -960	-360 -720	-210 -570	0 -360	+570 0	-600 -1170	0 -570	+1400 0	0 -1400	+700 -700
355 – 400					-1350 -1710	-680 -1040	-400 -760	0 -760			-680 -1250				

ЛИТЕРАТУРА

1. Базирование и базы в машиностроении. Термины и определения. ГОСТ 21495–76. – М.: Издательство стандартов, 1976. – 35 с.
2. Маталин А.А. Технология машиностроения: Учебник для машиностроительных вузов по специальности «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты». Л.: Машиностроение, Ленинградское отделение. 1985. – 496 с.
3. Мясников Ю.И. Проектирование технологической оснастки. Часть III. Особенности проектирования станочных приспособлений гибкого автоматизированного производства: Учебное пособие. Челябинск: издательство ЮУрГУ, 1996. – 92 с.
4. Андреев Г.Н., Новиков В.Ю., Схиртладзе А.Г. Проектирование технологической оснастки: Учебное пособие для высших учебных заведений. – М.: Издательство «Станкин», 1997. – 416 с.
5. Болотин Х.Л., Костромин Ф.П. Станочные приспособления: Учебное пособие для студентов машиностроительных специальностей высших учебных заведений. – М.: Машиностроение, 1973. – 344 с.
6. Технологический классификатор деталей машиностроения и приборостроения. М.: Издательство стандартов, 1987. – 256 с.
7. Коваленко А.В., Подшивалов Р.Н. Станочные приспособления. – М.: Машиностроение, 1986. – 152 с.
8. Гельфгат Ю.И. Сборник задач и упражнений по технологии машиностроения: Учебное пособие для машиностроительных спец. техникумов. – М.: Высшая школа, 1986. – 271 с.
9. Станочные приспособления: Справочник в 2-х т./ Ред. совет: Б.Н. Вардашкин (пред.) и др. – М.: Машиностроение, 1984. – Т.2 / Под ред. Б.Н. Вардашкина, В.В. Данилевского, 1984. – 656 с.
10. Альбом по проектированию приспособлений: Учебное пособие для студентов машиностроительных специальностей вузов / Б.М. Базров, А.И. Сорокин, В.А. Губарь и др. – М.: Машиностроение, 1991. – 121 с.
11. Корсаков В.С. Основы конструирования приспособлений: Учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп.. – М.: Машиностроение, 1983. – 277 с.

12. Станочные приспособления: Справочник в 2-х т./ Ред. совет: Б.Н. Вардашкин (пред.) и др. – М.: Машиностроение, 1984. – Т.1 / Под ред. Б.Н. Вардашкина, А.А. Шатилова, 1984. – 592 с.

13. Махаринский И.И., Горохов В.А. Основы технологии машиностроения: Учебник. – Минск: Высшая школа, 1997. – 423 с.

14. Схиртладзе А.Г., Новиков В.Ю. Станочные приспособления: Учебное пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 2001. – 110 с.

15. Кузнецов Ю.И. Технологическая оснастка для станков с ЧПУ и промышленных роботов: Учебное пособие для машиностроительных техникумов. – М.: Машиностроение, 1987. – 112 с.

16. Шубников К.В. Унифицированные переналаживаемые станочные приспособления. Л.: Машиностроение, 1973. – 208 с.

17. Белоусов А.П. Проектирование станочных приспособлений: Учебное пособие для учащихся техникумов. – М.: Высшая школа, 1980. – 240 с.

18. Аршинов В.А., Алексеев Г.А. Резание металлов и режущий инструмент. Учебник для машиностроительных техникумов. – М.: Машиностроение, 1976. – 440 с.

19. Королева Е.М. Векторно-базовый анализ силового поля при фрезеровании // Вестник машиностроителя, 2003. №1. С. 42-49.

20. Шарин Ю.С. Технологическое обеспечение станков с ЧПУ. – М.: Машиностроение, 1986. – 176 с.

21. Терликова Т.Ф., Мельников А.С., Баталов В.И. Основы конструирования приспособлений: Учебное пособие для машиностроительных вузов. – М.: Машиностроение, 1980. – 119 с.

22. Гжиров Р.И., Серебrenицкий П.П. Программирование обработки на станках с ЧПУ. – Л.: Машиностроение, 1990. – 519 с.

23. Справочник необходимых познаний. – Пермь РИА «Вся Пермь». 1994. – 512 с.

24. Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения. РМГ 29–99. 45 с.

25. Соколовский А.П. Научные основы технологии машиностроения. – М.: Машгиз, 1955. – 515 с.

26. Балакшин Б.С. Основы технологии машиностроения. Изд. 3-е, доп. – М.: Машиностроение 1969. – 358 с.

27. Косилова А.Г. Точность обработки деталей на автоматических линиях. – М.: Машиностроение, 1976 – 224с.

28. Фираго В.П. Основы проектирования технологических процессов и приспособлений. – М.: Машиностроение, 1973. – 259 с.
29. Микитянский В.В. Точность приспособлений в машиностроении. – М.: Машиностроение, 1984. – 128 с.
30. Махаринский Е.И., Горохова В.А. Основы технологии машиностроения: учебник. – Минск: Выш. шк., 1997. – 423 с.
31. Базаров Б.М. Модульная технология в машиностроении. – М., 2001. – 368 с.
32. Павлов В.В. CALS – технологии в машиностроении (математические модели) / Под ред. Ю.М. Соломенцева. – М.: ИЦМГТУ СТАНКИН, 2002. – 328 с.
33. Проектирование металлорежущих станков и станочных систем: Справочник-учебник. – В 3-х т. Т.1. Проектирование станков / А.С. Пронников, О.И. Аверьянов, Ю.С. Аполлонов и др.; под общ. ред. А.С. Пронникова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана; Машиностроение, 1994. – 444 с.
34. Основы автоматизации машиностроительного производства: учебное пособие для машиностроительных специальностей вузов / Е.Р. Ковальчук, М.Г. Косов, В.Г. Митрофанов и др.; под ред. Ю.М. Соломенцева. – 2-е изд., испр. – М.: Высшая школа, 1999. – 312 с.
35. ГОСТ 12479–67 Опоры постоянные. Конструкция и размеры. Приспособления станочные. Детали и узлы (ч. 2): ГОСТ 4738–67, ГОСТ 12458–67 – ГОСТ 12486–67 Гос. комитет СССР по стандартам. – М. – 143 с.
36. Олеров И.М. Допуски на изготовление и износ деталей станочных приспособлений: Справочник. – 2-е изд. перераб. – М.: Машиностроение, 1983. – 56 с.
37. Солонин И.С., Солонин С.И. Расчет сборочных и технологических размерных цепей. – М.: Машиностроение, 1980. – 110 с.
38. Шамин В.Ю. Теория и практика решения конструкторских и технологических размерных цепей: Учебное пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 1999. – 429 с.
39. Мясников Ю.И. Проектирование технологической оснастки Ч.1. Методика инженерного проектирования станочных приспособлений: Учебное пособие. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 1996. – 105 с.