

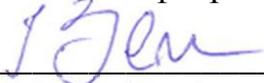
МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Тульский государственный университет»

Институт высокоточных систем им. В.П. Грязева
Кафедра «Стрелково-пушечное вооружение»

Утверждено на заседании кафедры
«Стрелково-пушечное вооружение»
« 18 » января 2022 г., протокол № 6

Заведующий кафедрой


_____ В.К. Зеленко

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
по проведению практических (семинарских) занятий
по дисциплине (модулю)
«Современные методы подготовки расчетно-конструкторской
документации и конструирования механических частей физических
установок»

основной профессиональной образовательной программы
высшего образования – программы магистратуры

по направлению подготовки
15.04.05 Конструкторско-технологическое обеспечение
машиностроительных производств

с направленностью (профилем)
Проектирование и конструирование механических частей физических
установок

Форма обучения: очная

Идентификационный номер образовательной программы: 150405-06-22

Тула 2022 год

Разработчик(и) методических указаний

Разработчик(и):

Власов В.А., профессор, канд. техн. наук, доцент
(ФИО, должность, ученая степень, ученое звание)



(подпись)

1. Основы проектирования технических систем

Проектирование есть сложный специфический вид творческой деятельности, в котором сочетаются искусство, наука и математика.

Главная трудность проектирования заключается в том, что проектировщик на основании современных данных должен прогнозировать некоторое будущее состояние, которое возникнет только в том случае, если его прогнозы верны. В процессе проектирования и конструирования инженер должен наглядно изобразить нечто, что предметно еще не существует, а является лишь продуктом его умственной деятельности. Это и есть творческая инженерная задача в области техники. Другими словами, проектно-конструкторский процесс творчески определяет будущее техническое средство.

В основе творческой инженерной деятельности необходимо исходить из диалектической формы взаимосвязи, прежде всего причинности - связи причины и последующего действия. Возможными являются все действия. Но лишь те возможности будут реализованы, для которых созданы условия и имеются объективные предпосылки.

Трудность проектирования технических систем заключается в необходимости учета большого числа социальных, научно-технических, производственных и других факторов.

1.1 Связь проектирования и конструирования с другими видами деятельности

Техническое творчество существенно связано с наукой и с производством. Современный конструктор обязан знать, понимать и использовать данные основных физических и математических научных дисциплин, должен учитывать возможности производства.

Кроме того, техническое творчество в функционально-эстетическом плане связано с искусством, так как конструктор всегда стремится к тому, чтобы полезная вещь была красивой.

Деятельность проектировщика технических систем связана с экономикой, социологией и психологией. Связь с экономикой очевидна, и инженер проектировщик должен знать экономические возможности как в масштабах своего предприятия, так и в рамках объединения, отрасли и государства в целом. Необходимость учета человеческого фактора ясна сейчас всем.

При рассмотрении основ проектно-конструкторской деятельности целесообразно исходить из общности и различий научных исследований и технического творчества. Исследование ставит своей целью преимущественно научное познание и служит открытию объективных закономерностей. Проектирование же имеет своей целью создание новых функций, и, следовательно, создание новых связей. Для этого требуется мышление, направленное на еще не существующее, придумываемое техническое средство.

Исследование исходит из явления E как результата действия существующей, более или менее разветвленной функциональной цепи. При исследовании проводится анализ явления, для того чтобы получить представление об отдельных действующих факторах F , вызвавших явление. Наконец, в процессе исследования стремятся обнаружить зависимости и установить, почему и на основании каких закономерностей действующие факторы приводят к наблюдаемому явлению. Ответ должен быть выражен по возможности в обобщенной абстрактной форме A , чтобы его можно было распространить на все схожие по сути, но различные по форме события.

От явления $\downarrow E$
Через действующие факторы F
К абстрактной зависимости $\downarrow A$

При техническом проектировании в рамках некоторой ограниченной задачи ищут функционирующие элементы FE для создания функциональной цепи, с помощью которой могут быть вызваны определенные явления E . При этом одни и те же желаемые явления могут быть получены применением различных элементов, действующих в составе различных функциональных цепей. Эта общность всех функциональных цепей может быть выражена только в форме абстракции A . И поэтому лишь она может служить исходным пунктом всех мыслимых решений исходной задачи проектирования.

От абстрактно сформулированного задания A
Через элементы решения FE \downarrow
К цели, вызывающей желаемое явление E \downarrow

Естественно, что не всегда исследование и проектирование разграничены так строго. Одна область часто вторгается в другую и дополняет ее. Основной же факт остается в силе: исследование направлено от явления к познанию его сущности, проектирование - от сущности задачи к явлению, которое желательно вызвать.

Анализ, синтез и абстракция являются важнейшими компонентами мышления независимо от того, направлено оно на настоящее или будущее. Анализ отделяет существенные свойства от несущественных, и когда явления, скрывающие за собой существенное, выделяются и исключаются из рассмотрения, то анализ переходит в абстракцию. Этот процесс всегда является исходным при решении всякого рода проблем.

1.2. Основные этапы создания технических систем

Процесс создания новых технических средств укрупненно состоит из пяти этапов: поискового проектирования, конструирования, технологической подготовки производства, изготовления опытного

образца, освоения серийного производства. Этап поискового проектирования разбивается на стадии обоснования необходимости создания нового технического средства и научно-технических исследований.



Необходимость создания новой технической системы обуславливается общими условиями развития техники применительно к конкретному случаю. В ходе разработки обоснования важно учесть не только требования текущего момента, но и возможность в будущем изменения технологии, определяющей потребности в таких системах, а также факторы, влияющие на развитие техники в данном направлении. Недостаточное внимание к этим вопросам может привести к тому, что к моменту создания новой техники потребность в ней отпадет. Поэтому обоснование и анализ необходимости создания технического средства проводится с использованием методов научного прогнозирования.

Существует два принципиально возможных пути построения прогноза: прогноз, идущий от имеющегося базиса в будущее (изыскательское прогнозирование); прогноз, движущийся от целей, которые должны быть достигнуты в будущем, к настоящему (нормативное прогнозирование).

Прогнозы, как правило, разрабатываются на период, в течение которого принимаемые решения будут иметь эффективное действие. При этом прогнозирование частных научно-технических проблем по созданию технического средства должно быть увязано с общим прогнозом, характеризующим развитие техники.

На второй стадии поискового проектирования проводят научно-технические исследования тех решений, которые могут быть использованы в конструкции нового технического средства. Перечень вопросов, подлежащих изучению на данном этапе, зависит от вида технического средства, его назначения и условий работы, от специфических условий эксплуатации, степени изученности и т.д. Проводятся широкие патентные исследования, анализ литературных источников, экспериментальные работы. В одних случаях исследования ведутся в направлении поиска рационального принципа действия, в других - в направлении улучшения рабочих характеристик, и т.д.

Следовательно, главной задачей этапа поискового проектирования являются ответы на вопросы: нужно ли это новое техническое средство? Каким принципиально оно должно быть? Данный этап выполняют

проектировщики новых производств и отраслевых систем, экономисты, научные работники и изобретатели.

Материалы поискового проектирования оформляют в виде технического задания на разработку нового технического средства. Техническое задание принадлежит конструкторской документации и появление означает переход к следующему этапу - разработке конструкторского проекта.

Конструирование является этапом, который окончательно определяет инженерно-техническое оформление технического средства, т.е. отвечает на вопрос - каким оно должно быть? Выполняют данный этап работы конструкторы в сотрудничестве со специалистами смежных инженерных дисциплин, в первую очередь с технологами и экономистами.

Результатом конструкторского творчества, средством, с помощью которого конструктор выражает свои творческие мысли и доводит их до изготовителей технических средств, является конструкторская документация (графическая, текстовая). На основе этой документации возможно: изготовить техническое средство, провести его испытания, наладить серийное производство, разобраться в принципах его работы, правилах эксплуатации и обслуживания для обеспечения его надежности и долговечности.

Технологическая подготовка производства охватывает круг задач и должна ответить на вопрос - как изготовить новое техническое средство в условиях конкретного производства? Цель данного этапа - отработка конструкции на технологичность, разработка технологических процессов изготовления, сборки и контроля данного технического средства. Выполняется данный этап технологами в содружестве со специалистами смежных отраслей знаний.

Изготовление опытных образцов технических систем и их испытание ставит целью проверку правильности основных проектных и конструкторских решений и отработку технологической документации. На данном этапе вместе с конструктором работу выполняют опытные наладчики-испытатели и инженеры-исследователи; на испытания могут также приглашаться представители заказчика.

Освоение серийного производства новых технических средств связано с решением задач достижения объема выпуска в соответствии с проектной мощностью предприятия, стабильного обеспечения требуемого качества и достижения проектной трудоемкости изготовления на всех стадиях производства.

1.3. Системный подход в проектировании

Для решения таких комплексных вопросов, как проектирование и создание современных технических средств, применима единая исследовательская позиция - системный подход. Использование системного подхода обусловлено тем, что в традиционных методах

изучения и формализации сложных объектов и процессов основное внимание уделяется качественному и количественному описанию свойств объекта и составляющих его частей. Это не позволяет строить адекватные действительности модели, отображающие связи объектов с окружающей средой, их функцию и многоуровневую структуру. В то же время указанные характеристики объектов оказывают большое влияние на процесс поиска проектных решений. Применение системного подхода дает возможность рационально разбить задачу на части и принять оптимальное решение.

Основой системного проектирования являются критерии, которые принимаются с позиций оценки технических средств как части системы более высокого уровня. Проектирование же технических средств осуществляется как проектирование системы, состоящей из взаимосвязанных частей и элементов.

При системном подходе в понятие системы в качестве составляющих входят такие понятия, как структура, функция, состояние, связь, элемент, отношение, управление и др. В связи с этим системный подход служит методом комплексного изучения сложных объектов и процессов с точки зрения их устройства, взаимосвязи их частей, функционирования частей и объекта в целом, характера взаимодействия с окружающей средой.

К понятию “системный объект или процесс” относятся объекты и процессы любой природы, которые можно условно или физически расчленивать на совокупность более простых взаимосвязанных между собой частей, выступающих как единое целое, причем каждую часть можно рассматривать как сложный объект, состоящий из более простых элементов. В связи с этим к категории системных относятся не все объекты и процессы, а только те, которые состоят из отдельных частей и элементов и обладают целостным характером функционирования. Свойства и функции системных объектов не сводятся непосредственно к сумме свойств и функций, составляющих их элементов. Например, собранный из отдельных деталей узел представляет собой техническую систему, характеризуемую новыми свойствами и функциями, которых нет у отдельных деталей. Детали машин выполняют различные функции: крепления, фиксации, направления движения, разделения двух сред, объединения деталей в один узел (корпусные детали) и др. Функция каждой детали направлена на выполнение общей функции узла, в который она входит. Точно так же функции отдельных узлов направлены на обеспечение функции машины в целом.

Таким образом, функция технической системы или отдельного ее элемента - это такое их отношение (связь) с другими элементами, которое определяет взаимозависимость части и целого, делает функционирование элемента направленным и целесообразным.

2. Основные положения ЕСКД по разработке конструкторской документации

Проектирование приборов и систем представляет собой сложный многостадийный процесс разработки и постепенного уточнения проекта и рабочей документации, по которой изготавливают изделия в единичном, серийном или массовом производстве. Многоступенчатость процесса говорит о сложности решаемой задачи, причем к качеству принимаемых решений предъявляются высокие требования, так как ошибки проекта приводят к их устранению в ходе производства, что вызывает неоправданные затраты времени и средств.

Стадии разработки технической документации установлены ГОСТ 2.103-68, который входит в единую систему конструкторской документации (ЕСКД). Этот стандарт устанавливает пять стадий разработки конструкторской документации на изделия всех отраслей промышленности: техническое задание, техническое предложение, эскизный проект, технический проект, рабочая документация.

Стадия **разработки технического задания** (иногда носит название “поисковое проектирование” или “научно-исследовательская разработка”) выполняется для определения назначения и технических требований к новому изделию. Эти вопросы изучаются и формируются, исходя из анализа требований функционирования изделия и возможностей их реализации на основании достижений науки и техники, сырьевой базы, финансирования, людских ресурсов, ограничений во времени и т.д. Кроме того, на данной стадии обосновываются критерии оценки эффективности технического средства и определяются ограничения на его характеристики, такие, как габаритные размеры, масса, надежность и т.д. Желательно чтобы в техническом задании указывалась производственная база, объем потребной и планируемой продукции, продолжительность изготовления, цена и т.п. Техническое задание в обязательном порядке согласовывается с заказчиком или формируется полностью им, и после утверждения является основанием для выполнения дальнейших проектно-конструкторских работ.

На стадии **технического предложения** (ГОСТ 2.118-73) рассматриваются принципиально возможные способы создания проектируемого изделия, проводится сравнительная оценка этих решений. На основании предварительной конструкторской проработки техническое задание может быть уточнено.

Уже на этой стадии проектирования осуществляют проверку изделия на патентную чистоту, производят оформление заявок на изобретения.

Эскизный проект (ГОСТ 2.119-73) разрабатывают для установления принципиальных (конструктивных и схемных) решений изделия, дающих общее представление о работе и устройстве изделия. По эскизной документации изготавливают, испытывают макет.

На этапе **технического проекта** (ГОСТ 2.120-73) принимаются окончательные технические решения с проработкой общих видов, чертежей деталей и схем изделия, позволяющих оценить его технологичность, соответствие требованиям ТЗ, удобство эксплуатации и т.п. На стадии технического проекта могут быть использованы документы, разработанные на предыдущей стадии с соответствующей корректировкой по замечаниям к эскизному проекту. Технический проект служит основанием для разработки рабочей конструкторской документации.

На стадии создания **рабочей документации** выполняют следующие виды работ:

разработку конструкторских документов, предназначенных для изготовления и испытания опытного образца;

корректировку конструкторских документов по результатам испытаний опытного образца;

приемочные испытания опытного образца;

корректировка конструкторских документов по результатам приемочных испытаний опытного образца;

изготовление и испытание установочной серии; изготовление и испытание головной (контрольной) серии (при необходимости);

Откорректированные документы поступают в серийное производство.

Документам технического предложения присваивается литера “П”; эскизного проекта - “Э”; технического проекта - “Т”; рабочей документации опытного образца - “О”; серийного производства - “А”.

2.1. Комплектность конструкторских документов

Комплектность конструкторских документов на каждой стадии разработки устанавливают ГОСТ 2.1102-68, 2.118-73, ..., 2.120-73, 2.601-68, и техническое задание на разработку изделия.

Виды обязательных проектных документов:

1. **Ведомости** технического предложения (ПТ), эскизного проекта (ЭП), технического проекта (ТП)-перечни надлежащих документов.

2. **Пояснительная записка** (ПЗ).

3. **Чертеж общего вида** (ВО, рис.2.1). Определяет конструкцию изделия, взаимодействие его составных частей, включая форму деталей (например, обозначение диаметра деталей круглой формы), содержит посадки - предельные отклонения сопрягаемых поверхностей, сопровождается техническими требованиями к изделию (например, в части покрытий, пропитки обмоток, методов сварки), дает технические характеристики (например, модуль зубчатого зацепления и числа зубьев колес, необходимые для разработки рабочих чертежей).

составляет таблицу по своему усмотрению; рекомендуется записывать последовательно: изделия заимствованные, покупные, вновь разрабатываемые. Можно приводить соответствующие сведения на полках линий выносок или оформлять в виде спецификаций.

Чертеж общего вида является обязательным документом только на стадии “Технический проект” и не обязателен для стадий “Техническое предложение” и “Эскизный проект”.

На стадии разработки рабочей документации (О,А) обязательными являются документы:

1. **Сборочный чертеж (СБ)**, содержащий изображение сборочной единицы и другие данные, необходимые для ее сборки и контроля (рис.2.2).

Чертеж помимо основной надписи содержит:

необходимое количество изображений; допускается показывать тонкими линиями примыкающие изделия (обстановку);

габаритные размеры;

установочные, присоединительные размеры, а также размеры, характеризующие изделие;

размеры, необходимые для контроля;

указания о способе выполнения неразъемных соединений, например сварных, паяных;

номера позиций составных частей, входящих в сборочную единицу.

Номера позиций на сборочных чертежах наносятся на полках линий-выносок, проводимых от изображения составных частей, номера позиций располагают параллельно основной надписи чертежа и группируют их в колонку или строчку;

в целях сокращения графических работ допускается не показывать на сборочном чертеже (ГОСТ 2.109-68):

а) фаски, скругления, проточки, углубления, выступы, накатки, насечки, оплетки и другие мелкие элементы;

б) зазоры между стержнем и отверстием;

в) несколько одинаковых по форме, размерам и содержанию составных частей, или равномерно расположенных элементов;

г) надписи на шкалах;

д) крышки, кожухи, щиты, перегородки и т.п., если необходимо показать закрытые или составные части изделия. Над изображением делается соответствующая надпись, например, “Крышка не показана” или “Крышка поз.3 не показана”.

Пример оформления сборочного чертежа изделия показан на рис. 2.2.

Рис. 2.2. Сборочный чертеж

2. **Спецификация** - документ, определяющий состав сборочной единицы, комплекса или комплекта. Спецификация состоит из разделов, которые располагаются в следующей последовательности (ГОСТ 2.108-68): документация; сборочные единицы; детали; стандартные изделия; прочие изделия; материалы.

Наличие тех или иных разделов определяется составом специфицируемого изделия. Наименование раздела указывается в виде заголовка в графе “Наименование” и подчеркивается (рис.2.3).

Ф	З	Поз	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
				<u>Документация</u>		
			<i>АБВГ.ХХХХХХХ.000СБ</i>	<i>Сборочный чертеж</i>		
				<u>Сборочные единицы</u>		
		1	<i>АБВГ.ХХХХХХ.000</i>	<i>Плата</i>	1	
				<u>Детали</u>		
		2	<i>АБВГ.ХХХХХХ.000</i>	<i>Лепесток</i>	1	
		3	<i>АБВГ.ХХХХХХ.000</i>	<i>Корпус</i>	1	
		4	<i>АБВГ.ХХХХХХ.000</i>	<i>Крышка</i>	1	
		5	<i>АБВГ.ХХХХХХ.000</i>	<i>Угольник</i>	1	
		6	<i>АБВГ.ХХХХХХ.000</i>	<i>Штырь</i>	2	
		7	<i>АБВГ.ХХХХХХ.000</i>	<i>Ручка</i>	2	
				<u>Стандартные изделия</u>		
		8		<i>Винт М3-6g x 8.36.016</i>	4	
				<i>Гост 17475-80</i>		
				<i>Винты ГОСТ 1494-80</i>		
		9		<i>М3-6g x 8.36.016</i>	12	
		10		<i>М3-6g x 10.36.016</i>	1	
		11		<i>М3-6g x 12.36.016</i>	1	

Рис.2.3. Спецификация на «Блок питания»

3.Рабочий чертеж детали (рис. 2.4). Детали обычно изображают полностью законченными. Чертеж является основой всего технологического процесса изготовления и контроля. Необходимое количество изображений зависит от формы детали.

На чертеже детали (например, рис. 2.5) должны быть даны:

размеры с предельными отклонениями;

указания о шероховатости поверхностей, покрытии, термообработке.

На чертеже находят отражение особенности технологии изготовления изображаемых деталей. Например, плоская деталь (рис. 2.4), изготовленная из листового материала изображена одной проекцией с условной записью толщины *S 1.2*. Этот размер помечен звездочкой (для справок), поскольку толщина материала содержится в его марке в основной надписи чертежа. Если деталь получается штамповкой или гибкой из листового материала, то показывают радиусы изгиба только внутренние. На чертеже может быть приведена развертка элемента детали,

форма которого не ясна из основных проекций с соответствующими размерами.

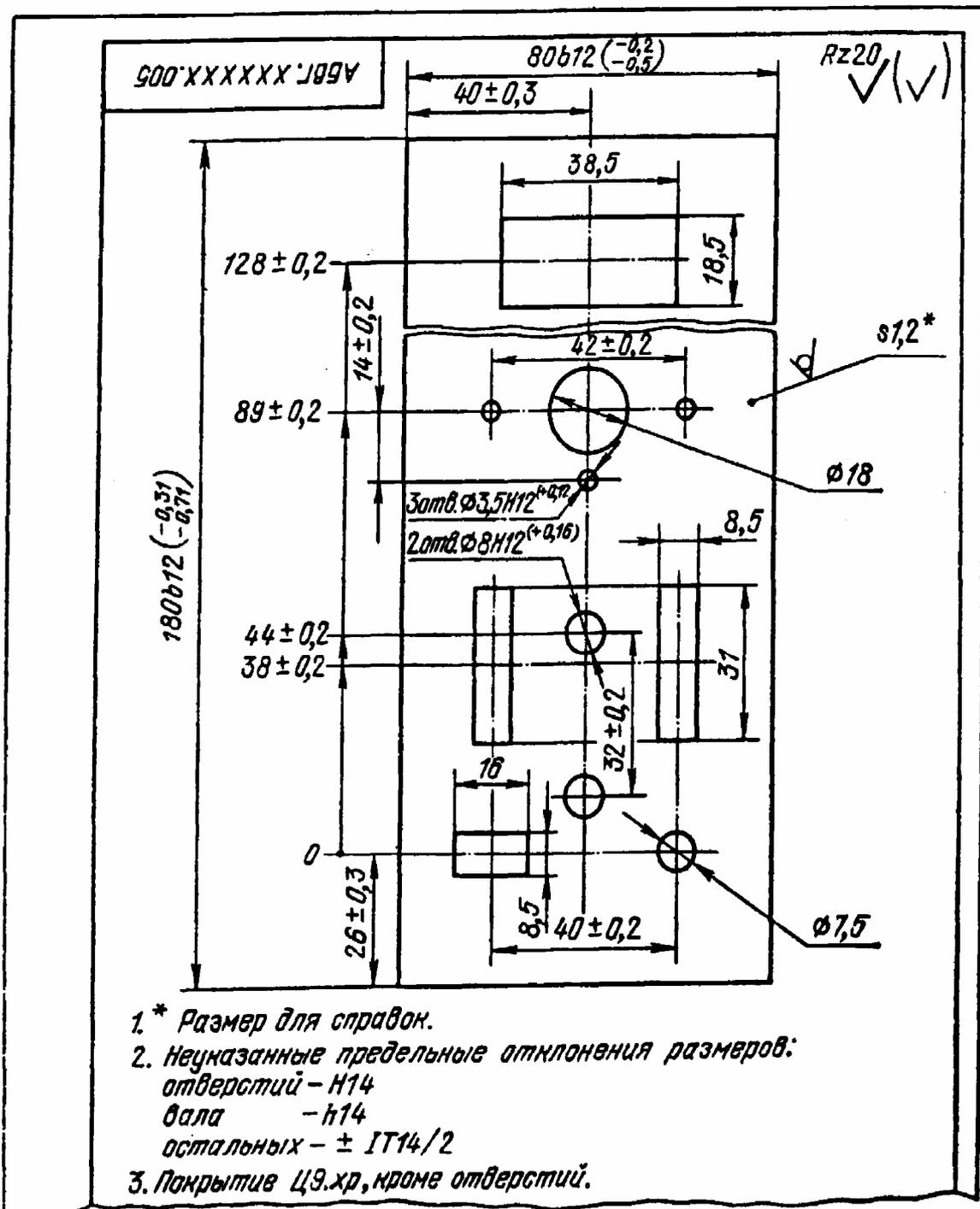


Рис. 2.4. Рабочий чертеж детали «Плата»-

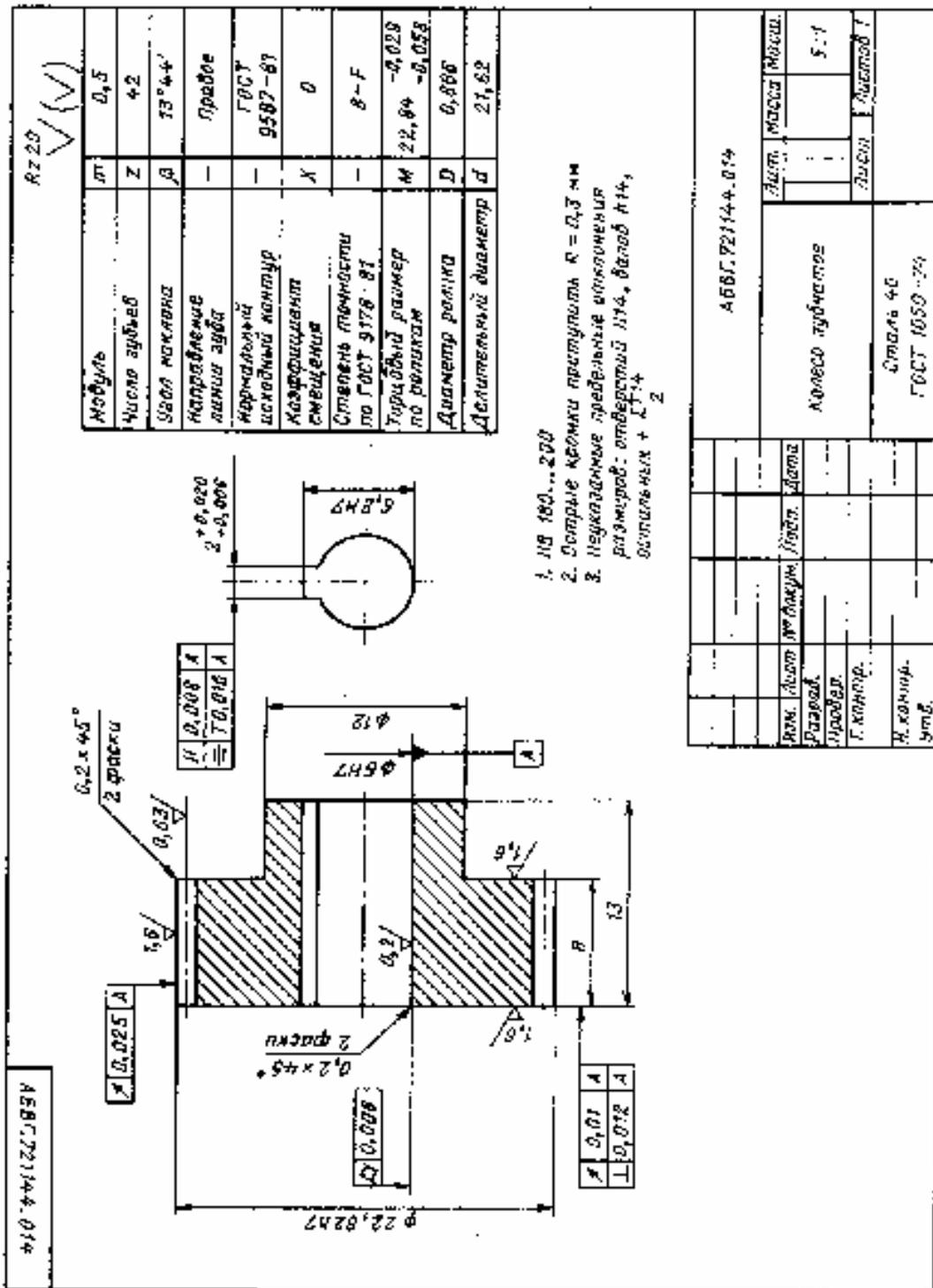


Рис. 2.5. Рабочий чертеж зубчатого колеса

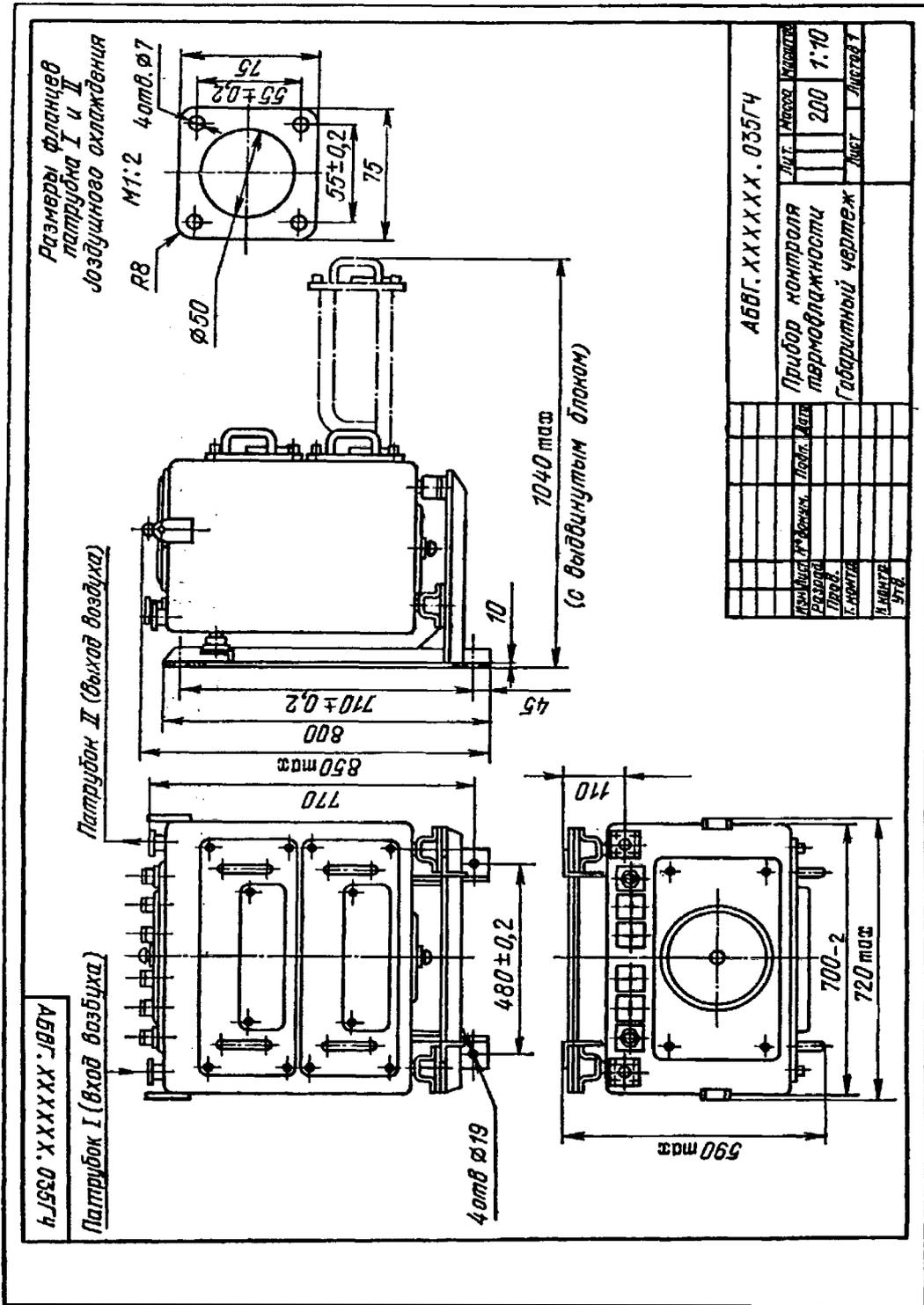


Рис. 2.6. Габаритный чертеж

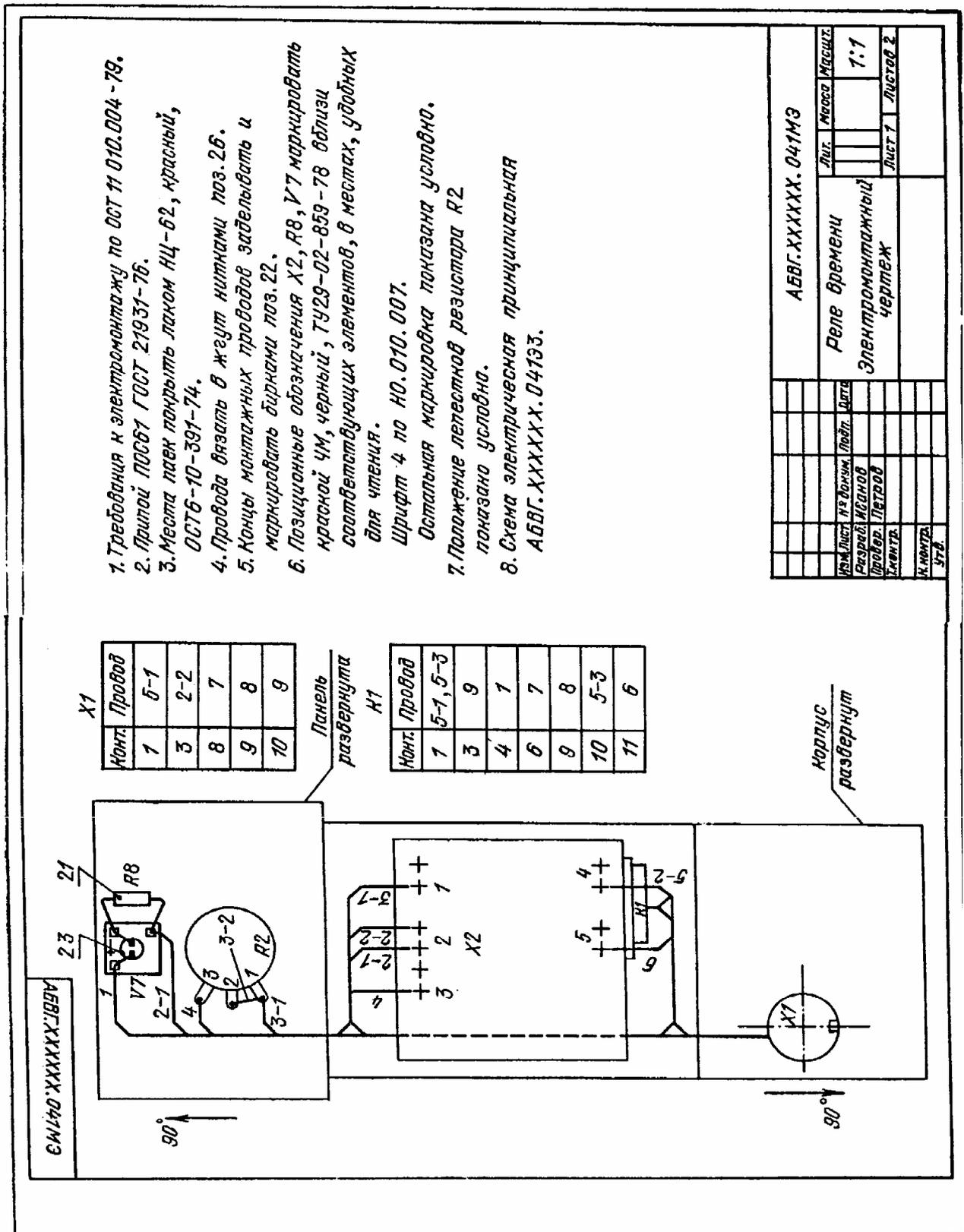


Рис.2.7. Электроаппаратный чертёж

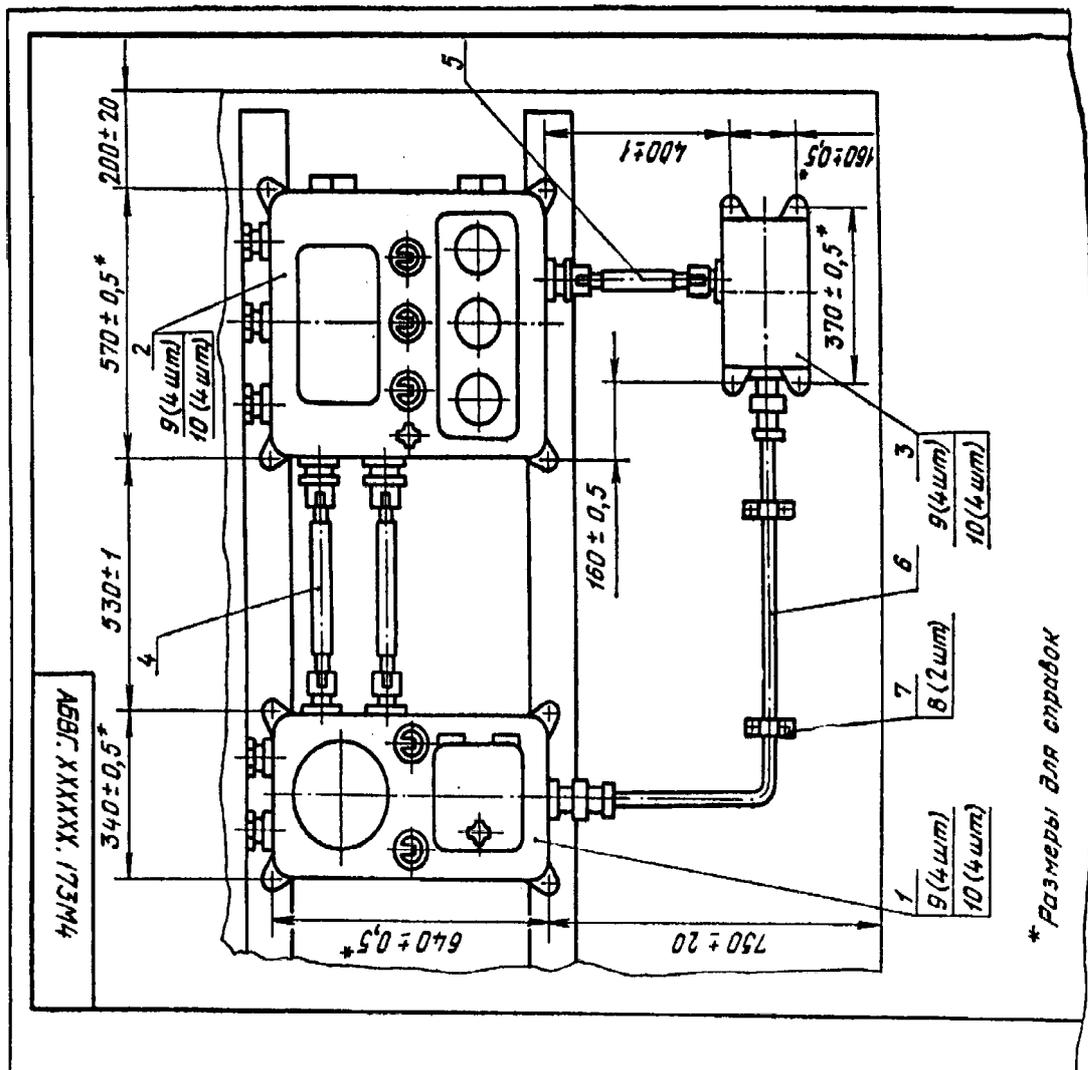


Рис.2.8. монтажный чертеж

Основная надпись

ГОСТ 2.104 - 68 устанавливает формы, размеры, порядок заполнения граф основной надписи:

1 - наименование изделия в именительном падеже единственного числа. Наименование, состоящее из нескольких слов, начинают с имени существительного. Например, Схема электрическая, принципиальная. Блок комбинированный.

2 - обозначение документа в последовательности: индекс предприятия, разработавшего документ; код изделия по классификатору; порядковый регистрационный номер; по мере надобности - шифр документа: СБ - сборочный чертеж; ЭЗ - схема электрическая принципиальная; ПЗ - пояснительная записка и т.д. (ГОСТ 2.102 - 68).

3 - обозначение материала детали (заполняется только на чертежах деталей);

4 - литера документа в зависимости от стадии разработки конструкторской документации (П,Э,Т - проектная стадия; О,А - рабочая стадия);

5 - масса изделия;

6 - масштаб (ГОСТ 2.302 - 68 устанавливает: масштабы уменьшения 1:2, 1:2.5, 1:4, 1:5, 1:10, и т.д.; натуральный масштаб 1:1; масштабы увеличения 2:1, 2.5:1, 4:1, 5:1, 10:1, и т.д.)

7 - порядковый номер листа (на документах, состоящих из одного листа, графу не заполняют);

8 - общее количество листов документа;

9 - наименование или различительный индекс предприятия - разработчика;

10, 11, 12, 13 - вид работы, фамилии, подписи, даты.

					(2) АБВГ.ХХХХХХ.123					
					(1)	Лит.	Мас			Масшт.
							са			
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		(4)	(5)	(6)
Разраб.										
Пров.										
Т.контр.						(7) Лист		(8) Листов		
(10)	(11)	(12)	(13)							
И.контр.					(3)	(9)				
Утв.										

По усмотрению заказчика при проектировании разрабатывают следующие конструкторские документы:

- **габаритный чертеж** (ГЧ) - контурное (упрощенное) изображение изделия с габаритными, установочными и присоединительными размерами (рис.2.6);

- **монтажный чертеж** (МЧ) - контурное (упрощенное) изображение изделия с данными для его установки (монтажа) на месте применения, (рис. 2.8);

- **электромонтажный чертеж** (МЭ) - документ, содержащий данные, необходимые для выполнения электрического монтажа изделия, (рис. 2.7);

- **упаковочный чертеж** (УЧ) - документ, содержащий данные, необходимые для выполнения упаковывания изделия;

- **схемы** - документы, на которых показаны в виде условных изображений или обозначений составные части изделия и связи между ними.

Текстовые документы, разрабатываемые по усмотрению заказчика:

- **технические условия** (ТУ) - требования к изделию, его изготовлению, приемке и поставке (ГОСТ 2.114 - 70);

- **патентный формуляр (ПФ)** - сведения о патентной чистоте изделия;

- **карта технического уровня и качества изделий (КУ)** - данные, определяющие уровень качества изделия, соответствие его технических и экономических показателей достижениям науки и техники (ГОСТ 2.116 - 71);

- **инструкция (И)** - документ, содержащий указания и правила, используемые при изготовлении изделия (сборке, регулировке, приемке и т.п.);

- **документы эксплуатационные (ГОСТ 2.601 - 68)** для изучения изделия и правил его эксплуатации (применение, техническое обслуживание, транспортирование, хранение): техническое описание (ТО); инструкция по эксплуатации (ИЭ); инструкция по техническому обслуживанию (ИО); инструкция по монтажу, пуску, регулированию и т.д.

2.2. Правила выполнения схемной документации

Схема-это графический конструкторский документ, на котором при помощи условных графических обозначений изображены кинематические, электрические, пневматические и другие составные части изделия и связи между ними.

Схемы выполняют без соблюдения масштаба.

На схеме условные графические изображения элементов и устройств и их соединений следует располагать таким образом, чтобы обеспечить наилучшее представление о структуре изделия, взаимодействии его составных частей.

Комплект (номенклатуру) схем на изделие устанавливают в зависимости от состава, сложности и особенностей изделия. Установленный комплект схем должен содержать сведения, достаточные для проектирования, изготовления, эксплуатации и ремонта изделия. Количество схем должно быть минимальным, их нужно выполнять компактно, но без ущерба для ясности и удобства чтения.

2.2.1. Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению.

В зависимости от видов элементов и связей, входящих в состав изделия, виды схем имеют следующие наименования и буквенные коды:

электрические - код **Э**;

гидравлические - код **Г**;

пневматические - код **П**;

кинематические - код **К**;

оптические - код **Л**;

комбинированные - код **С**.

Под комбинированной схемой понимается схема, когда на одном конструкторском документе выполняют схемы двух или более видов. Например, схема электро-кинематическая.

В зависимости от основного назначения типы схем имеют следующие наименования и цифровые коды:

- структурные - код 1;
- функциональные - код 2;
- принципиальные - код 3;
- соединений (монтажные) - код 4;
- подключения - код 5;
- общие - код 6;
- расположения - код 7;
- объединенные - код 0.

Под **объединенной** схемой понимается схема, когда на одном конструкторском документе выполняют схемы двух или более типов. Например, схема структурная, принципиальная и соединений.

Структурная схема (рис.2.10) определяет основные функциональные части изделия, их назначения и взаимосвязи.

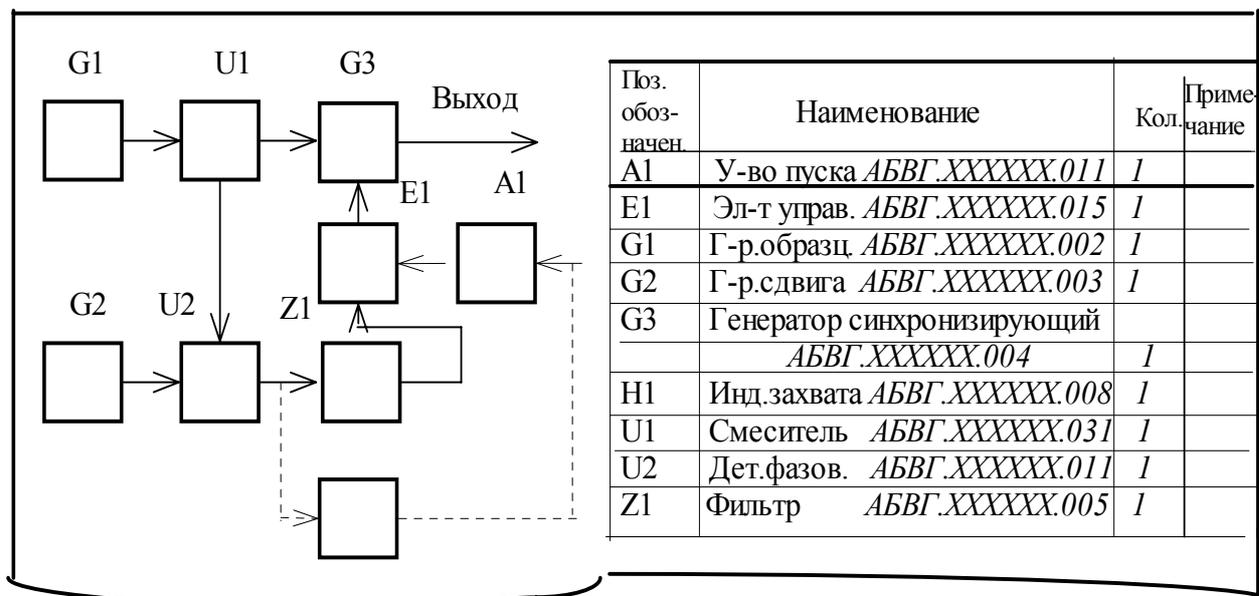


Рис. 2.9. Схема электрическая структурная

Функциональная схема (рис. 2.10) разъясняет определенные процессы, протекающие в отдельных функциональных цепях изделия или в изделии в целом. Схемы этого типа используются при изучении принципов работы изделий, при их наладке, контроле, ремонте.

Принципиальная схема (рис.2.11) определяет полный состав элементов и связи между ними и, как правило, дает детальное представление о принципах работы изделия. Принципиальная схема служит исходным документом для разработки других конструкторских документов, в том числе чертежей. Эти схемы также используются для изучения принципов работы изделий при их наладке контроле и ремонте.

Схема соединений (монтажная) используется при разработке конструкторских документов, определяющих прокладку и способы крепления проводов, жгутов и кабелей или трубопроводов в изделии, а также для осуществления присоединений при контроле, эксплуатации и ремонте изделий.

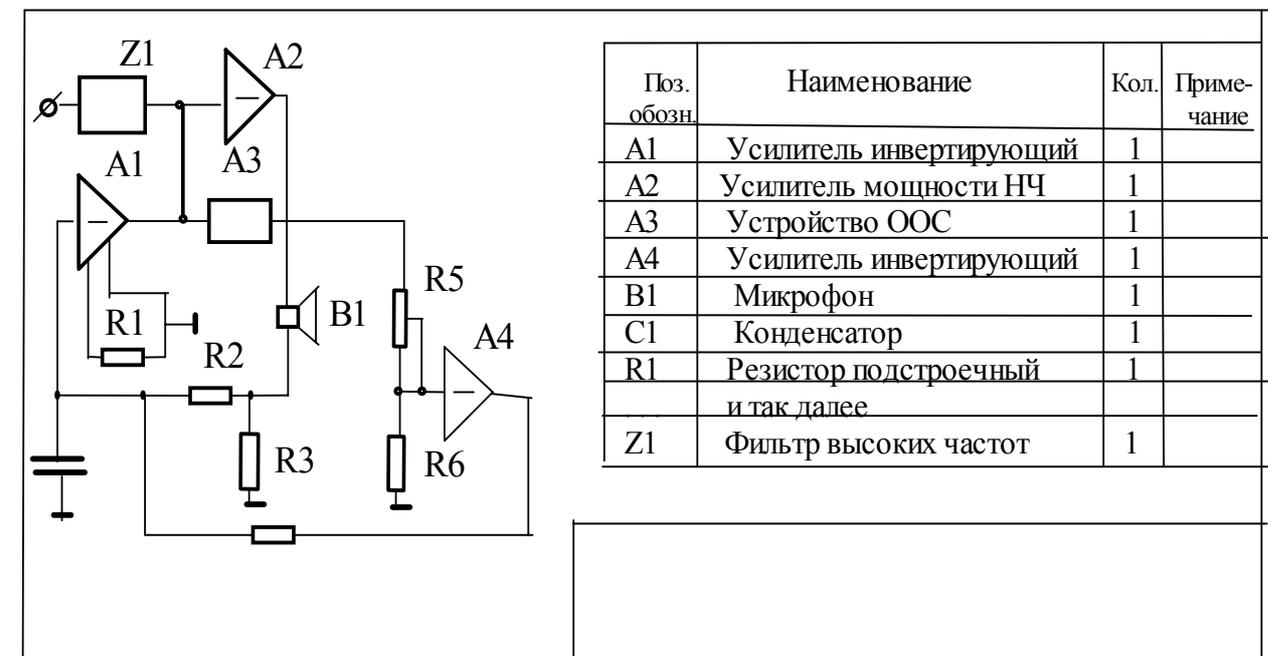


Рис.2.10. Схема электрическая функциональная

Схема подключения показывает внешние подключения изделий при их эксплуатации.

Схема общая показывает составные части комплекса, а также соединение их между собой на месте эксплуатации.

Схема расположения показывает относительное расположение составных частей изделия и (при необходимости) проводов, жгутов, кабелей.

Вид и тип схемы определяют ее наименование и код. Например, схема электрическая (вид) принципиальная (тип) имеет код ЭЗ - Э (электрическая), 3 (принципиальная).

Размеры условных графических обозначений элементов схем различного вида установлены стандартами. Допускается:

все обозначения пропорционально уменьшать, сохраняя четкость схемы;

увеличивать условные графические обозначения при вписывании в них поясняющих знаков;

поворачивать условное графическое обозначение на угол, кратный 45 и 90 градусам (с буквенно-цифровыми обозначениями только на 45 и 90

градусов) по сравнению с изображениями, приведенными в стандарте, их изображать зеркально повернутыми.

Линии связи должны состоять, как правило, из горизонтальных и вертикальных отрезков с расстоянием между ними не менее 3 мм, при этом количество изломов и взаимных пересечений должно быть наименьшим.

Если линии связи затрудняют чтение схемы, их можно оборвать, закончив стрелкой, и указать обозначение или наименование, присвоенное этой линии (например, номер провода, наименование сигнала).

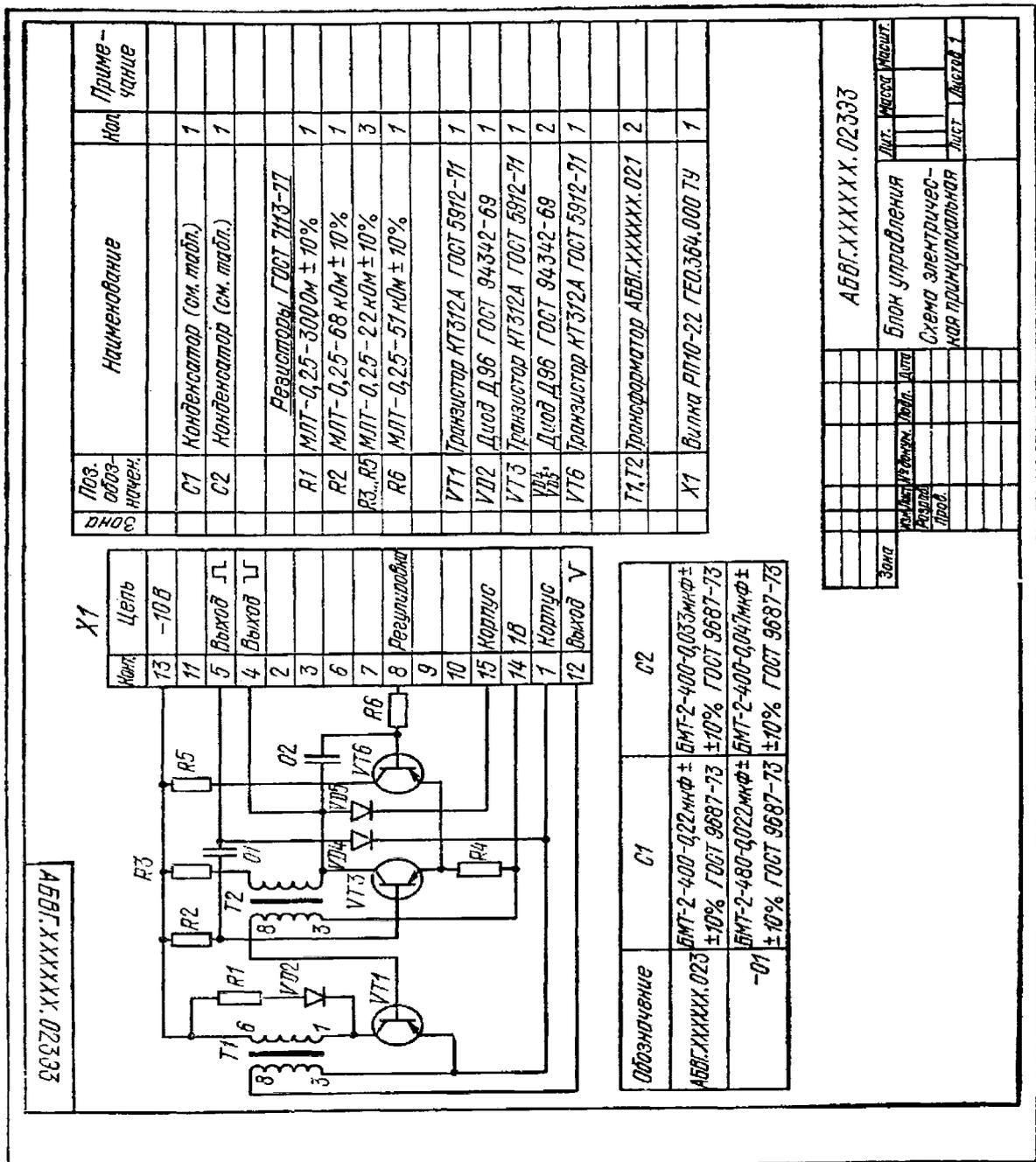


Рис.2.11. Схема электрическая принципиальная

Устройство, имеющее самостоятельную схему, выделяют сплошной линией, вдвое толще линий связи, с указанием наименования и (или) типа устройства.

Функциональные группы, не имеющие самостоятельных схем, на схеме устройства выделяются штрих-пунктирными линиями с указанием наименования функциональной группы.

На рис.2.12 приведена принципиальная кинематическая схема механизма перемещения кассет. С помощью условных графических обозначений или упрощенных контурных очертаний показана совокупность кинематических элементов и их соединений. Схему строят без соблюдения масштаба, но соотношение размеров изображаемых элементов должно приблизительно отражаться на схеме.

Как правило, кинематическую принципиальную схему выполняют в виде развертки.

Рис. 2.12. Схема кинематическая принципиальная механизма перемещения кассет

3. Основы взаимозаменяемости

3.1. Единая система допусков и посадок

Взаимозаменяемость - это свойство конструкции обеспечивать оптимальные эксплуатационные и производственные показатели, обусловливаемое изготовлением составных элементов конструкции с заданной точностью геометрических, механических, электрических и других функциональных параметров качества.

Взаимозаменяемость в России обеспечивается **единой системой допусков и посадок** (ЕСДП), в основу которой положена Международная система допусков и посадок (ИСО). Этой системой установлены основные показатели точности изготовления деталей и предусмотрено их нормирование. Основные положения данной системы даны в стандарте ГОСТ 25346-82. Рассмотрим основные термины и положения.

Данным стандартом вводятся два термина - вал и отверстие. Для обозначения наружных (охватываемых) поверхностей детали применяют термин **вал** (не путать с деталью под названием «вал»), а для внутренних (охватывающих) - термин **отверстие** (это понятие охватывает тоже не только цилиндрические поверхности, но и элементы изделия другой формы). Далее стандарт ГОСТ 25346-82 вводит следующие определения:

Размер - числовое значение линейной величины (диаметр, длина, расстояние между поверхностями и т.д.) в выбранных единицах измерения.

Действительный размер - размер, установленный измерением с допустимой погрешностью изготовленной детали (изделия).

Предельные размеры - два предельно допустимых размера, наибольший и наименьший, между которыми должен находиться действительный размер детали. Эти два понятия введены для того, чтобы задавать допустимую неточность изготовления детали (изделия).

Номинальный размер - размер, проставленный на чертеже и служащий началом отсчета отклонений. Его определяет из функционального назначения изделия конструктор. Общий номинальный размер для отверстия и вала, составляющих соединение (сопрягаемых вместе), называют номинальным размером соединения.

Предельное отклонение - алгебраическая разность между предельным и номинальным размерами. Так как предельных размеров два, поэтому различают верхнее и нижнее предельные отклонения.

Действительное отклонение - алгебраическая разность между действительным и номинальным размерами.

Нулевая линия - линия, соответствующая номинальному размеру, от которой отсчитываются отклонения размеров при графическом изображении.

Допуск - разность между наибольшим и наименьшим предельными размерами.

Поле допуска - поле, ограниченное верхним и нижним отклонениями. Поле допуска определяется величиной допуска и его положением относительно номинального размера. При графическом изображении поле допуска заключено между двумя линиями, соответствующими верхнему и нижнему отклонениям относительно нулевой линии.

Сказанное иллюстрирует рис.3.1. Общепринятыми являются обозначения: d , D - номинальные размеры для вала и отверстия, соответственно; d_{max} , d_{min} , D_{max} , D_{min} - наибольший и наименьший размеры вала и отверстия; es , ei - верхнее и нижнее отклонения вала, соответственно; ES , EI - верхнее и нижнее отклонения отверстия, соответственно; T , Td , TD - допуск, допуск размеров вала и отверстия, соответственно. На рисунке поля допусков показаны условно - пропорции не соблюдены.

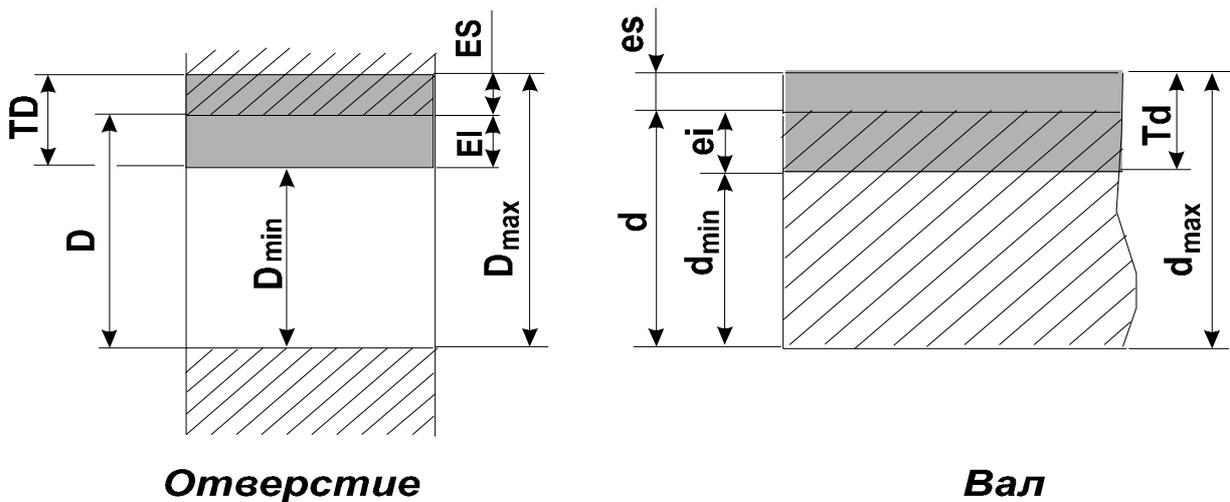


Рис.3.1. Схема расположения полей допусков

На рис.3.2 приведена классификация конструктивных элементов деталей по трем группам. В первой объединены валы и элементы, относящиеся к ним (рис.3.2, а); во второй - отверстия и элементы, относящиеся к ним (рис.3.2, б); в третьей - элементы, не относящиеся к валам и не к отверстиям (уступы, глубины отверстий, высоты выступов, расстояния между осями отверстий и пр.) (рис.3.2, в).

На основании приведенных выше определений можно получить:

$$es = d_{max} - d; \quad ES = D_{max} - D;$$

$$ei = d_{min} - d; \quad EI = D_{min} - D;$$

$$Td = es - ei;$$

$$TD = ES - EI.$$

Таким образом, на этапе разработки изделия конструктору необходимо не только определить номинальные размеры деталей (изделия), но и выбрать для каждого размера величину допуска и его расположение относительно нулевой линии. Величина допуска будет определять точность дальнейшего изготовления изделия, а расположение поля допуска размера зависит от вида сопряжения (соединения) поверхности, соответствующей размеру с поверхностью другой детали. Поэтому вводятся следующие понятия:

Квалитет - совокупность допусков, соответствующих одинаковой степени точности для всех номинальных размеров.

Посадка - характер соединения деталей, определяемый величиной получающихся в нем зазоров или натягов.

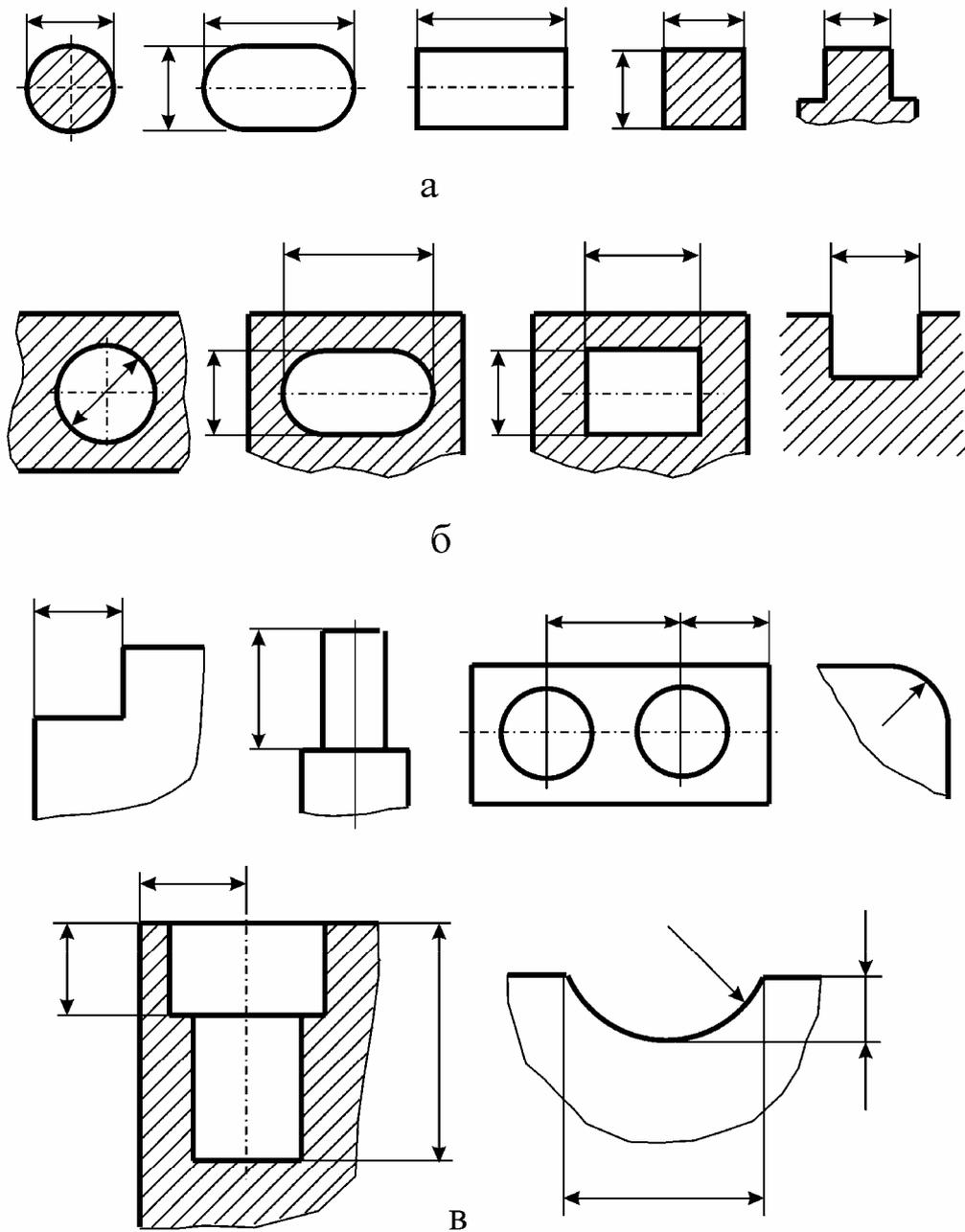


Рис.3.2. Классификация конструктивных элементов деталей по трем группам:

а - размеры валов; б - размеры отверстий; в - размеры, не относящиеся к отверстиям и валам

Номинальный размер посадки - номинальный размер, общий для отверстия и вала, составляющих соединение.

Зазор - разность размеров отверстия и вала, если размер отверстия больше размера вала.

Натяг - разность размеров вала и отверстия, если размер вала больше размера отверстия.

Посадка с зазором – посадка, при которой обеспечивается гарантированный зазор в соединении, т.е. поле допуска отверстия расположено над полем допуска вала. К посадкам с зазором относятся также посадки, в которых нижняя граница поля допуска отверстия совпадает с верхней границей поля допуска вала.

Посадка с натягом - посадка, при которой обеспечивается гарантированный натяг в соединении. Поле допуска отверстия расположено под полем допуска вала.

Переходная посадка – посадка, при которой возможно получение как зазора, так и натяга. Поля допусков отверстия и вала перекрываются.

Наименьший и наибольший зазоры - два предельных значения, между которыми должен находиться зазор.

Наименьший и наибольший натяги - два предельных значения, между которыми должен находиться натяг.

Сказанное иллюстрирует рис.3.3, на котором изображены возможные три варианта посадок. На рисунке введены обозначения: S_{\min} и S_{\max} - минимальный и максимальный зазор в соединении; N_{\min} и N_{\max} - минимальный и максимальный натяг в соединении. Закрашенные участки соответствуют полям допусков вала и отверстия, образующих соединение (следует отметить, что при этом пропорции на рисунке не соблюдены).

Как уже отмечалось, размеры поля допуска определяются качеством. Стандартом введены 19 квалитетов 01; 0; 1; 2; ... 16; 17, их обозначают буквами IT и цифрой - номером квалитета IT01, IT6 и т.д. Стандартизация единицы допуска как функции размера и числа единиц допуска как функции технологического процесса и экономической целесообразности позволила регламентировать числовые значения допусков для всего диапазона до 500 мм (См. табл.3.1). При существующем многообразии технологических процессов данное количество квалитетов оказалось оптимальным, как для обеспечения действительно необходимой точности изготовления изделий с одной стороны, так с другой стороны, рационально ограничивает выбор значений числа единиц допуска до числа, действительно необходимого и экономически целесообразного.

Квалитеты 01 - 4 назначают при изготовлении особо точных средств измерения и эталонов, квалитеты 4 - 10 - для сопрягаемых размеров (посадок), квалитеты 13 - 17 для несопрягаемых (неответственных) размеров.

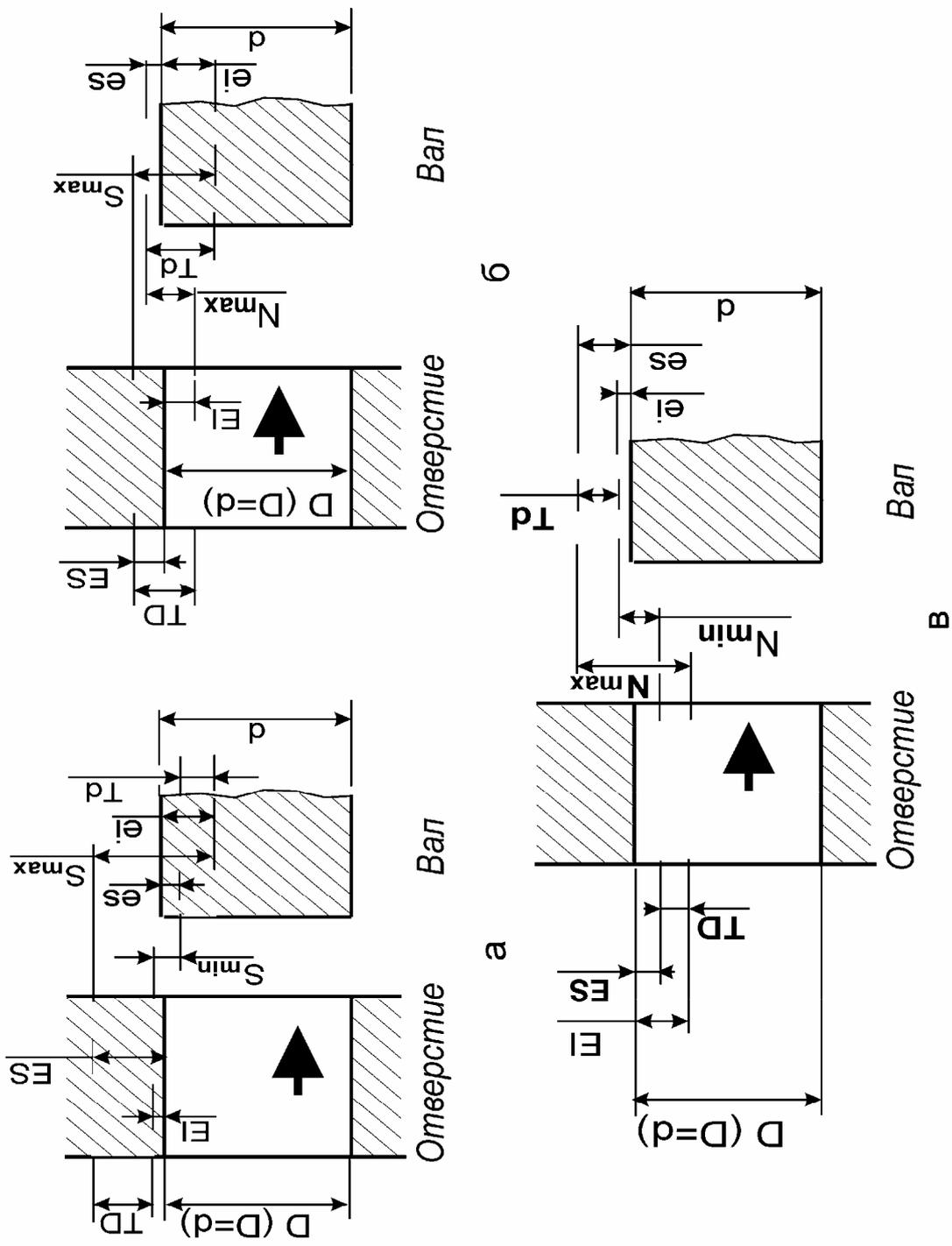


Рис.3.3. Схемы посадок : а - посадка с зазором; б - переходная посадка; в - посадка с натягом

Кроме указания числового значения допуска для размера на чертеже необходимо задать положение поля допуска относительно нулевой линии. Этой задаче служит понятие **основное отклонение** - расстояние ближайшей границы поля допуска до нулевой линии. В системе ЕСДП СЭВ для диапазона размеров до 500 мм установлено 27 возможных вариантов основных отклонений (рис. 3.4). Основные отклонения для отверстий обозначаются прописными (большими) буквами латинского алфавита, валов - строчными (малыми) буквами.

Основные отклонения, расположенные выше нулевой линии, являются нижними предельными отклонениями полей допусков. Основные отклонения, расположенные ниже нулевой линии, являются верхними предельными отклонениями полей допусков. Из рис.3.3 видно, что для J_s (j_s) нет основного отклонения, так как оба предельных отклонения равны $\pm T/2$. Для J основным является верхнее отклонение, а для j - нижнее. Основные отклонения K, M, N, k для отдельных квалитетов и размеров равны нулю, а для других - нет.

Различные посадки в сопряжении отверстия и вала можно получить одним из трех способов:

1) сохранением предельных размеров отверстия для одного квалитета постоянными и изменением предельных размеров вала в зависимости от требуемого характера соединения. При этом основное отклонение отверстия принимают равным нулю (т.е. H - см рис. 3.3). Такая система образования посадок (сопряжений) названа системой основного отверстия или **системой отверстия**;

2) сохранением предельных размеров вала для одного квалитета постоянными и изменением предельных размеров отверстия в зависимости от требуемого характера соединения. При этом основное отклонение вала принимают равным нулю (т.е. h , см. рис. 3.3). Такая система образования посадок названа системой основного вала или **системой вала**;

3) изменением предельных размеров как отверстия, так и вала. Такая система образования посадок названа **комбинированной системой**.

Из всех перечисленных возможностей образования посадок наибольшее распространение получила система отверстия, так как при этом сокращается номенклатура режущего инструмента (сверл, зенкеров, разверток и др.), тогда как валы обрабатываются на токарных и шлифовальных станках без замены инструмента при изменении поля допуска вала (изменяется только настройка станка).

Таким образом, для выполнения различных посадок в системе отверстия требуется один набор режущих инструментов для обработки валов и один для обработки отверстий. При сопряжении деталей в системе вала во столько раз увеличивается потребность в наборах режущих инструментов для отверстий, сколько имеется посадок. Однако на

практике бывают случаи необходимости применения системы вала (посадки наружных колец подшипников в корпус, посадки на один вал отверстий разных деталей, когда нецелесообразно делать ступенчатый вал, и т. д.). Третий вариант можно применять только в технически и экономически обоснованных случаях.

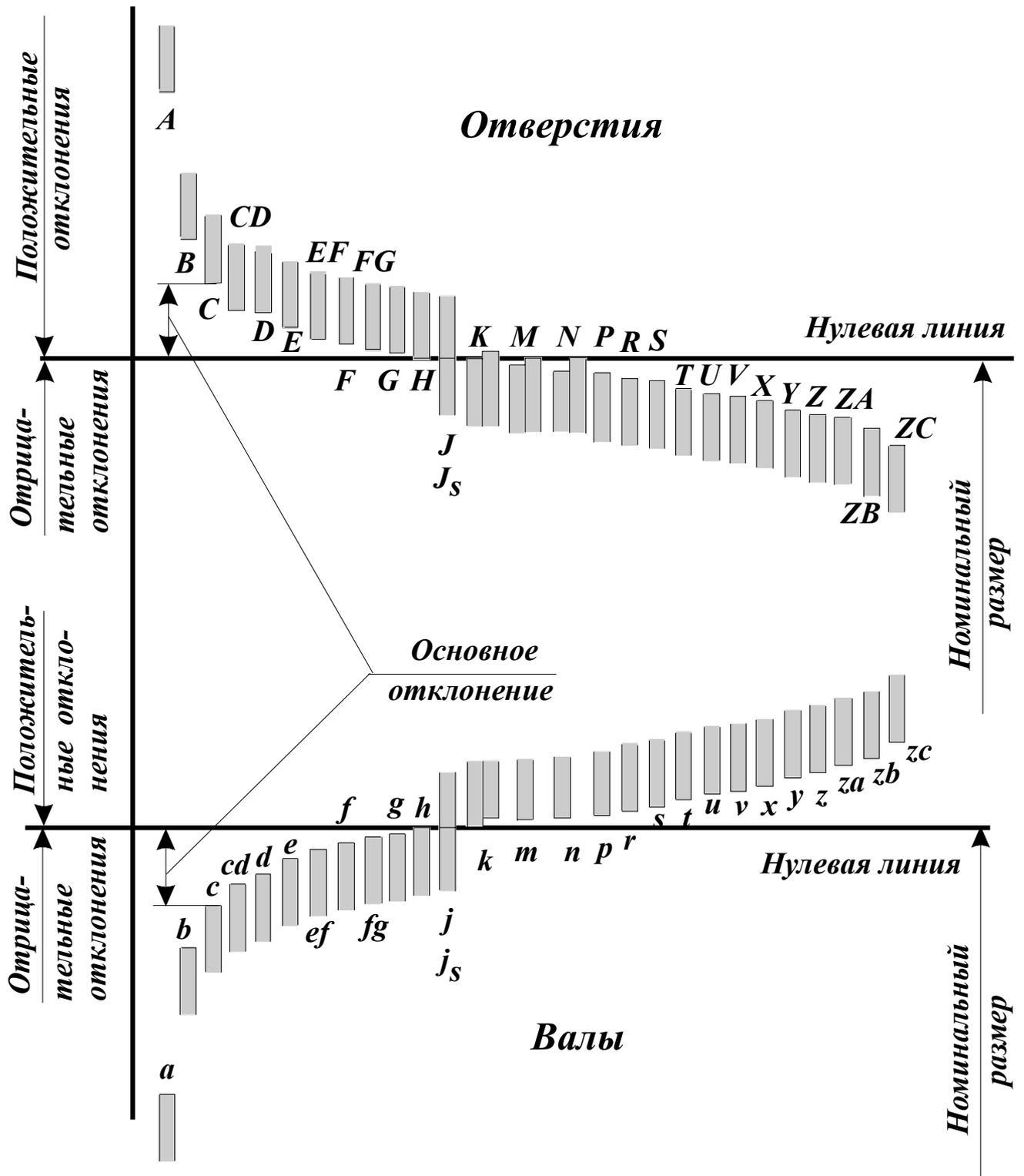


Рис.3.4. Основные отклонения отверстий и валов

Таблица 3.1
Значения допусков, мкм

Интервалы размеров, мм	К в а л и т е т ы									
	01	0	1	2	3	4	5	6	7	8
До 3	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14
Св. 3 до 6	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18
Св. 6 до 10	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22
Св. 10 до 18	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	11	18	27
Св. 18 до 30	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33
Св. 30 до 50	0,6	1	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39
Св. 50 до 80	0,8	1,2	2	3	5	8	13	19	30	46
Св. 80 до 120	1	1,5	2,5	4	6	10	15	22	35	54
Св. 120 до 180	1,2	2	3,5	5	8	12	18	25	40	63
Св. 180 до 250	2	3	4,5	7	10	14	20	29	46	72
Св. 250 до 315	2,5	4	6	8	12	16	23	32	52	81
Св. 315 до 400	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89
Св. 400 до 500	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97
Интервалы размеров, мм	К в а л и т е т ы									
	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
До 3	25	40	60	100	140	250	400	600	1000	
Св. 3 до 6	30	48	75	120	180	300	480	750	1200	
Св. 6 до 10	36	58	90	150	220	360	580	900	1500	
Св. 10 до 18	43	70	110	180	270	430	700	1100	1800	
Св. 18 до 30	52	84	130	210	330	520	840	1300	2100	
Св. 30 до 50	62	100	160	250	390	620	1000	1600	2500	
Св. 50 до 80	74	120	190	300	460	740	1200	1900	3000	
Св. 80 до 120	87	140	220	350	540	870	1400	2200	3500	
Св. 120 до 180	100	160	250	400	630	1000	1600	2500	4000	
Св. 180 до 250	115	185	290	460	720	1150	1850	2900	4600	
Св. 250 до 315	130	210	320	520	810	1300	2100	3200	5200	
Св. 315 до 400	140	230	360	570	890	1400	2300	3600	5700	
Св. 400 до 500	155	250	400	630	970	1550	2500	4000	6300	

3.2. Условное обозначение на чертежах допусков и посадок

В соответствии с ГОСТ 2.307 - 68 предельные отклонения линейных размеров указывают одним из трех способов: условными обозначениями полей допусков (например, 31H7; 31k6); численными значениями предельных отклонений ($31^{+0,025}$; $31_{+0,002}^{+0,018}$); условными обозначениями полей допусков с указанием справа в скобках численных значений предельных отклонений ($31\text{ H7}^{(+0,025)}$; $31\text{ k6}^{(+0,018}_{+0,002})$).

Отклонения размеров проставляют более мелкими цифрами, чем номинальный размер. Симметричные отклонения указывают цифрами, равными по высоте цифрам номинального размера со знаком \pm , например, $115 \pm 0,11$. Нулевые отклонения на чертежах не указывают (например, $40^{+0,039}$). Значение отклонения обозначают десятичной дробью, причем число десятичных знаков верхнего и нижнего отклонения должно быть одинаковым.

Посадки записывают в виде дроби, в числителе которой проставляют предельные отклонения для отверстия, а в знаменателе - для вала (например $31 \frac{\text{H7}}{\text{k6}}$). Примеры обозначения допусков и посадок на чертежах приведены на рис.3.5.

Многokrратно повторяющиеся предельные отклонения размеров, выполненные по одному качеству, можно не указывать на чертеже, а оговаривать общей записью, например: «*Неуказанные предельные отклонения размеров по H12, h12, $\pm \frac{IT12}{2}$* ».

3.3. Выбор посадок

Посадки выбирают в зависимости от назначения и условий работы приборов и узлов, их точности, условий сборки. При этом необходимо учитывать и возможность достижения точности при различных методах обработки изделия.

В первую очередь должны применяться предпочтительные посадки. Как уже отмечалось, в основном из системы отверстия. Допуски отверстия и вала в посадке не должны отличаться более, чем на 1 - 2 качества. Большой допуск, как правило, назначают для отверстия.

Зазоры и натяги следует рассчитывать для большинства типов соединений, в особенности для посадок с натягом. Во многих случаях

посадки могут назначаться по аналогии с ранее спроектированными изделиями, сходными по условиям работы.

В табл. 3.2 приведен перечень рекомендуемых посадок при размерах от 1 до 500 мм для системы отверстия по ГОСТ 25347-82.

В табл. 3.3 приведен перечень рекомендуемых посадок при размерах от 1 до 500 мм для системы вала по ГОСТ 25347-82.

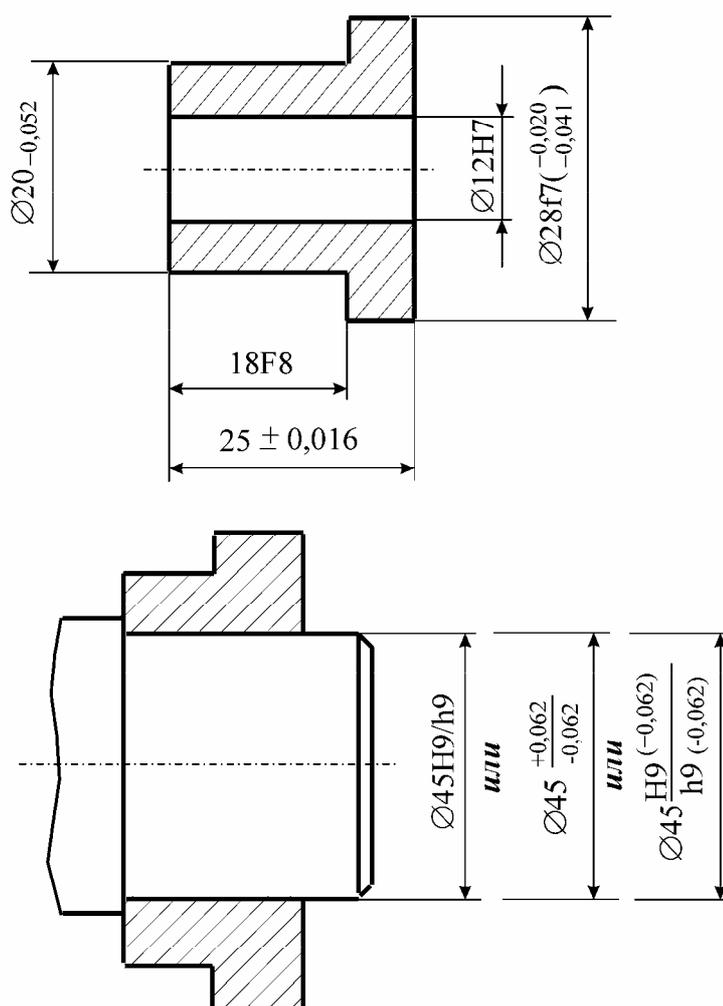


Рис.3.5. Примеры обозначений полей допусков и посадок на чертежах

В табл. 3.4 приведены численные значения предельных отклонений основных отверстий, а в табл. 3.5 - численные значения предельных отклонений основных валов (ГОСТ 25347-82).

В табл. 3.6 приведены численные значения предельных отклонений полей допусков валов j_s и отверстий J_s (ГОСТ 25347-82).

В табл. 3.7 приведены предпочтительные предельные отклонения валов в системе отверстия.

Далее приводится краткая характеристика и примеры применения посадок, относящиеся главным образом к предпочтительным посадкам в системе отверстия.

Посадки с зазором. Посадки с зазором получили наибольшее распространение. ЕСДП СЭВ предусматривает 40 рекомендованных посадок в системе отверстия (из них 11 предпочтительные) и 39 посадок в системе вала (из них 6 предпочтительные).

Таблица 3.2

Рекомендуемые посадки с зазором в системе отверстия при размерах от 1 до 500 мм по ГОСТ 25347-82

	Основные отклонения валов							
	a	b	c	d	e	f	g	h
H5							H5/g4	H5/h4
H6						H6/f6	H6/g5	H6/h5
H7			H7/c8	H7/d8	H7/e7; H7/e8	H7/f7	H7/g6	H7/h6
H8			H8/c8	H8/d8; H8/d9	H8/e8 ; H8/e9	H8/f7; H8/f8; H8/f9		H8/h7 ; H8/h8 ; H8/h9
H9				H9/d9	H9/e8; H9/e9	H9/f8; H9/f9		H9/h8; H9/h9
H10				H10/d10				H10/h9; H10/h10
H11	H11/a11	H11/b11	H11/c11	H11/d11				H11/h11
H12		H12/b12						H12/h12

Примечание. Подчеркнуты - предпочтительные посадки.

Таблица 3.3

Рекомендуемые переходные посадки и посадки с натягом в системе отверстия при размерах от 1 до 500 мм по ГОСТ 25347-82

Основные отклонения валов											
Посадки переходные					Посадки с натягом						
	j_s	k	m	n	p	r	s	t	u	x	z
H5	H5/ j_s4	H5/k4	H5/m4	H5/n4							
H6	H6/ j_s5	H6/k5	H6/m5	H6/n5	H6/p5	H6/r5	H6/s5				
H7	<u>H7/j_s6</u>	<u>H7/k6</u>	H7/m6	<u>H7/n6</u>	<u>H7/p6</u>	<u>H7/r6</u>	<u>H7/s6</u> ; H7/s7	H7/t 6	H7/u7		
H8	H8/ j_s7	H8/k7	H8/m7	H8/n7			H8/s7		H8/u8	H8/x8	H8/z8
H9- H12											

Таблица 3.4

Предельные отклонения основных отверстий
(ГОСТ 25347-82)

Интервал размеров, мм		Поле допусков основного отверстия							
		H5	H6	<u>H7</u>	<u>H8</u>	<u>H9</u>	H10	<u>H11</u>	H12
св.	до	Верхнее отклонение ES, мкм (нижнее отклонение EI = 0)							
От 1	3	+4	+6	+10	+14	+25	+40	+60	+100
3	6	+5	+8	+12	+18	+30	+48	+75	+120
6	10	+6	+9	+15	+22	+36	+58	+90	+150
10	18	+8	+11	+18	+27	+43	+70	+110	+180
18	30	+9	+13	+21	+33	+52	+84	+130	+210
30	50	+11	+16	+25	+39	+62	+100	+160	+250
50	80	+13	+19	+30	+46	+74	+120	+190	+300
80	120	+15	+22	+35	+54	+87	+140	+220	+350
120	180	+18	+25	+40	+63	+100	+160	+250	+400
180	250	+20	+29	+46	+72	+115	+185	+290	+460

* Подчеркнуты предпочтительные поля допусков

Таблица 3.5

Предельные отклонения основных валов
(ГОСТ 25347-82)

Интервал размеров, мм		Поле допуска основного вала							
		h5	<u>h6</u>	<u>h7</u>	<u>h8</u>	<u>h9</u>	h10	<u>h11</u>	h12

св.	до	Нижнее отклонение e_i , мкм (верхнее отклонение $e_s = 0$)							
От 1	3	-4	-6	-10	-14	-25	-40	-60	-100
3	6	-5	-8	-12	-18	-30	-48	-75	-120
6	10	-6	-9	-15	-22	-36	-58	-90	-150
10	18	-8	-11	-18	-27	-43	-70	-110	-180
18	30	-9	-13	-21	-33	-52	-84	-130	-210
30	50	-11	-16	-25	-39	-62	-100	-160	-250
50	80	-13	-19	-30	-46	-74	-120	-190	-300
80	120	-15	-22	-35	-54	-87	-140	-220	-350
120	180	-18	-25	-40	-63	-100	-160	-250	-400
180	250	-20	-29	-46	-72	-115	-185	-290	-460

* Подчеркнуты предпочтительные поля допусков

Таблица 3.6
 Предельные отклонения полей допусков валов j_s и отверстий J_s , мкм
 (ГОСТ 25347-82)

Интервал размеров, мм		Поле допусков j_s, J_s для квалитетов от 4 до 12 (мкм)								
св.	до	j_s4 J_s4	j_s5 J_s5	j_s6 J_s6	j_s7 J_s7	j_s8 J_s8	j_s9 J_s9	j_s10 J_s10	j_s11 J_s11	j_s12 J_s12
От 1	3	±1,5	±2,0	±3,0	±5	±7	±12	±20	±30	±50
3	6	±2,0	±2,5	±4,0	±6	±9	±15	±24	±37	±60
6	10	±2,0	±3,0	±4,5	±7	±11	±18	±29	±45	±75
10	18	±2,5	±4,0	±5,5	±9	±13	±21	±35	±55	±90
18	30	±3,0	±4,5	±6,5	±10	±16	±26	±42	±65	±105
30	50	±3,5	±5,5	±8,0	±12	±19	±31	±50	±80	±125
50	80	±4,0	±6,5	±9,5	±15	±23	±37	±60	±95	±150
80	120	±5,0	±7,5	±11,0	±17	±27	±43	±70	±110	±175
120	180	±6,0	±9,0	±12,5	±20	±31	±50	±80	±125	±200
180	250	±7,0	±10,0	±14,5	±23	±36	±57	±92	±145	±230

Посадки **H5/h4** и **H6/h5** применяются для особо точного центрирования.

Посадка **H7/h6** применяется при высоких требованиях к центрированию часто разбираемых или регулируемых соединений. Может использоваться, например: для центрирования зубчатых колес, муфт и пр. на валах передач; для центрирующих корпусов под подшипники качения. Кроме того, эту посадку иногда применяют для подвижных соединений с коротким рабочим ходом, с целью повышения точности направления вместо посадки с гарантированным зазором **H7/g6**.

Посадка **H8/h7** используется для центрирующих поверхностей при пониженных требованиях к соосности. Обеспечивает большую легкость сборки и регулировки узла.

Посадки *H8/h8, H8/h9, H9/h8, H9/h9* широко применяются для неподвижно закрепляемых деталей при невысоких требованиях к точности механизмов, небольших нагрузках и необходимости обеспечить легкую сборку, например: шкивы, муфты, зубчатые колеса и другие детали, соединяющиеся с валом при помощи шпонок, штифтов в передачах средней и низкой точности. В подвижных соединениях их применяют при медленных или редких вращательных и поступательных перемещениях.

Посадки *H10/h9, H10/h10, H11/h11, H12/h12* применяются для неточных соединений, центрирования фланцев и крышек, соединений под расклепку, пайку или сварку. В подвижных соединениях - для посадок при большой длине сопряжения.

Посадки типа *H/g* гарантируют небольшой зазор. Эти посадки свободные, обеспечивающие взаимное осевое перемещение сопряженных деталей при сохранении высокой точности центрирования. Эти посадки очень чувствительны к увеличению зазора, поэтому их применяют лишь в точных качествах. Рекомендованных посадок три: *H5/g4, H6/g5* и *H7/g6*, из них последняя предпочтительная.

Таблица 3.7

Система отверстия. Предпочтительные предельные отклонения валов по ГОСТ 25347-82

Интервал размеров, мм		Поле допуска									
		g6	k6	n6	p6	r6	s6	f7	e8	d9	d11
св.	до	Предельные отклонения, мкм									
От 1	3	-2	+6	+10	+12	+16	+20	-6	-14	-20	-20
		-8	0	+4	+6	+10	+14	-16	-28	-45	-80
3	6	-4	+9	+16	+20	+23	+27	-10	-20	-30	-30
		-12	+1	+8	+12	+15	+19	-22	-38	-60	-105
6	10	-5	+10	+19	+24	+28	+32	-13	-25	-40	-40
		-14	+1	+10	+15	+19	+23	-28	-47	-76	-130
10	18	-6	+12	+23	+29	+34	+39	-16	-32	-50	-50
		-17	+1	+12	+18	+23	+28	-34	-59	-93	-160
18	30	-7	+15	+28	+35	+41	+48	-20	-40	-65	-65
		-20	+2	+15	+22	+28	+35	-41	-73	-117	-195
30	50	-9	+18	+33	+42	+50	+59	-25	-50	-80	-80
		-25	+2	+17	+26	+34	+43	-50	-89	-142	-240
50	65	-10	+21	+39	+51	+60	+72	-30	-60	-100	-100
						+41	+53				
65	80	-29	+2	+20	+32	+62	+78	-60	-106	-174	-290
						+43	+59				
80	100	-12	+25	+45	+59	+73	+93	-36	-72	-120	-120
						+51	+71				
100	120	-34	+3	+23	+37	+76	+101	-71	-126	-207	-340
						+54	+79				
120	140					+88	+177				
						+63	+92				
140	160	-14	+28	+52	+68	+90	+125	-43	-85	-145	-145
						+65	+100				
160	180	-39	+3	+27	+43	+93	+133	-83	-148	-245	-395
						+68	+108				

180	200					+106 +77	+151 +122				
200	225	-15 -44	+33 +4	+60 +31	+79 +50	+109 +80	+159 +130	-50 -96	-100 -172	-170 -285	-170 -460
225	250					+113 +84	+169 +140				
Примечание: Предельные отклонения валов с полями допусков h и j _s приведены в табл.3.5 и 3.6.											

Посадка **H6/g5** является дорогостоящей, поэтому в случаях, допускающих снижение требований к точности центрирования подвижных деталей, она заменяется посадкой **H7/g6**. Применяют их в подвижных соединениях для обеспечения герметичности, точного направления или при коротких ходах. В особо точных механизмах для тех же целей применяют посадку **H5/g4**.

Посадки типа **H/f** гарантируют зазор, достаточный для вращения или поступательного движения соединяемых деталей со средней скоростью.

Наиболее предпочтительной является посадка **H7/f7**. Типовые случаи ее применения: подшипники скольжения при умеренных и постоянных скоростях и нагрузках, а также для центрирования вращающихся свободно на валах зубчатых колес, зубчатых колес, включаемых муфтами, для направления толкателей и т. д. Более точную посадку **H6/f6** используют для особо точных подшипников скольжения.

Посадки **H8/f8**, **H8/f9**, **H9/f9** применяют для подшипников скольжения средней точности при нескольких или разнесенных опорах, а также для других подвижных соединений при относительно невысоких требованиях к соосности.

Посадки типа **H/e** - свободные, могут применяться в 6, 7, 8 и 9-м качествах в зависимости от интенсивности режима работы, точности центрирования, относительной трудоемкости обработки посадочных поверхностей и требуемой долговечности.

Предпочтительной посадкой является комбинация полей допусков **H8/e8**. Ее применяют в подшипниках скольжения при высокой частоте вращения, при разнесенных опорах или большой длине сопряжения. Более точные или более грубые посадки этого типа используют для ответственных механизмов и для машин низкой точности, соответственно.

Посадки типа **H/d** дают легкоподвижные соединения общего применения, которые допускают радиальное перемещение и компенсируют погрешности взаимного расположения трущихся поверхностей вследствие перекоса и прогиба вала, погрешности формы в осевом и радиальном сечениях, эксцентриситетов опор и шеек вала в многоопорных конструкциях. Они используются в тех случаях, когда необходимо компенсировать погрешности сборки или температурные деформации.

Точные посадки **H7/d8**, **H8/d8** имеют ограниченное использование. Они применяются для точных соединений, работающих при значительных перепадах температур и тяжелых режимах работы.

Посадки **H8/d9**, **H9/d9** являются предпочтительными и используются при монтаже валов в подшипниках скольжения.

Посадки низкой точности **H10/d10**, **H11/d11** применяют в случае неточных подвижных соединений.

Посадки типов **H/a**, **H/b**, **H/c** характеризуются очень большими гарантированными зазорами. Применяются, в основном, в грубых квалитетах (11, 12-м), поэтому колебания зазоров очень велики. Они используются для грубых, неответственных соединений, требующих свободной, легкой сборки. Для обеспечения относительного перемещения деталей в условиях загрязнения, температурных перепадов и пр.

Переходные посадки предназначены для неподвижных соединений деталей, подвергающихся при ремонтах или по условиям эксплуатации, сборке и разборке. Взаимная неподвижность деталей обеспечивается шпонками, штифтами и пр. Менее тугие посадки назначают при необходимости в частых разборках соединения, неудобствах разборки и возможности повреждения соседних деталей; более тугие - если требуется высокая точность центрирования, при ударных нагрузках и вибрациях.

В переходных посадках поля допусков отверстия и вала перекрываются, и в соединении возможно появление как зазора, так и натяга. Эти посадки очень чувствительны к изменению зазора и натяга, поэтому предусматриваются только в точных квалитетах (4 - 7-й).

Посадки типа **H/j_s** применяются в легкоразъемных неподвижных соединениях, подвергающихся частой разборке. Как правило, они применяются в сочетании полей допусков **H8/j_s7**, **H7/j_s6**, **H6/j_s5**, **H5/j_s4**. Последние две посадки трудно достижимы технологически и применяются для особо точных центрирующих соединений. Указанные посадки имеют вероятность зазора в пределах 92 - 99 % . Посадка **H7/j_s6** является предпочтительной. Она используется в сменных зубчатых колесах на валах, в съемных шкивах и муфтах. Посадка **H8/j_s7** используется для этих же целей при сниженных требованиях к точности центрирования.

Посадки типа **H/k** широко применяются в неподвижных разъемных соединениях для точного центрирования в тех случаях, когда охватывающая деталь вместе с охватываемой является подвижной сборочной единицей, например, неподвижные закрепляемые зубчатые колеса, шкивы, муфты, монтируемые на валах. Посадки характеризуются тем, что вероятность появления в соединении зазора или натяга примерно одинакова. Они обеспечивают хорошее центрирование при достаточно легкой сборке. По этой причине они применяются чаще других переходных посадок. Посадки повышенной точности **H5/k4**, **H6/k5** имеют

ограниченное применение в ответственных соединениях для высокоточных приборов.

Посадка **H7/k6** - предпочтительная. Эта посадка фактически, не имеющая зазора, особенно при большой длине сопряжения. Она обеспечивает хорошее центрирование, не требуя значительных усилий для сборки и разборки. Посадка **H8/k7** может применяться при сниженных требованиях к точности центрирования.

Посадки типа **H/m** занимают промежуточное положение между посадками **H/k** и **H/n**. Они характеризуются значительно большей вероятностью получения натяга (95%). Практически посадка обеспечивает точное центрирование сопрягаемых деталей с эксцентриситетом, равным нулю. Однако это усложняет сборку и разборку соединения по сравнению с посадками **H/k**. Среди четырех рекомендуемых посадок типа **H/m** предпочтительных нет. Эти посадки применяются для установки штифтов, в соединении тонкостенных втулок с валами, в посадках втулок подшипников в стенки редукторов и пр.

Посадки типа **H/n** дают натяг в 99 % соединений и являются наиболее прочными из переходных посадок. Посадка **H7/n6** является предпочтительной. Ее назначают для редко разбираемых соединений при высоких требованиях к точности центрирования. В спокойных условиях работы при малых нагрузках такое соединение может передавать усилия и моменты без дополнительного крепления деталей (посадки осей, втулок, шкивов и т. д.). Сборка соединений с данной посадкой производится под прессом.

Посадки с натягом гарантируют неподвижность соединения. Выбор величины натяга производят из условия обеспечения прочности соединения (наименьший натяг) и прочности детали (наибольший натяг). Для применения посадок с натягом, особенно в массовом производстве, рекомендуется предварительная опытная проверка. Сборка таких соединений осуществляется с помощью прессов.

Посадки типа **H/p** обеспечивают минимальный гарантированный натяг и применяются для соединения тонкостенных деталей при передаче небольших усилий и моментов. Посадка **H7/p6** является предпочтительной.

Посадки **H7/r6**, **H7/s6**, **H8/s7** относятся к предпочтительным. Гарантируют получение натяга средней величины, что позволяет соединению передавать довольно значительные крутящие моменты и усилия без дополнительного крепления. Используются для крепления бронзовых венцов червячных колес, для запрессовки втулок в зубчатые колеса, для закрепления зубчатых колес на валах и др.

Посадки **H7/u7**, **H8/u8** применяют: в соединениях без крепежных деталей при значительных нагрузках, в том числе и знакопеременных; с

крепежными деталями при очень больших нагрузках; при небольших нагрузках, но малой длине сопряжения. Используется в указанных случаях для посадки крупногабаритных деталей.

Посадки *H8/x8*, *H8/z8* характеризуются относительно большими натягами и допусками натяга, применяются в тяжело нагруженных соединениях или при материалах деталей с относительно небольшими модулями упругости.

Посадки с натягом высокой точности *H6/p5*, *H6/r5*, *H6/s5* применяют относительно редко и в соединениях, особо чувствительных к колебаниям натягов.

Допуски несопрягаемых размеров. Для несопрягаемых размеров допуски назначают по табл. 1 в зависимости от функциональных требований. Поля допусков обычно располагают в плюс для отверстий (обозначают буквой *H* и номером качества, например *H4*, *H8*, *H12*), в минус для валов (обозначают буквой *h* и номером качества, например *h4*, *h8*, *h12*) и симметрично относительно нулевой линии для размеров, не относящихся к валам и отверстиям (обозначают $\pm \frac{IT4}{2}$, $\pm \frac{IT8}{2}$, $\pm \frac{IT12}{2}$).

Обычно, в приборостроении для несопрягаемых размеров, допуски задают по 12 качеству.

3.4. Отклонения формы и расположения поверхностей

ГОСТ 24642-81 вводит следующие термины и определения:

Реальная поверхность - поверхность, ограничивающая деталь и отделяющая ее от окружающей среды. Реальные поверхности деталей получаются в результате обработки или последующего видоизменения поверхностей в процессе эксплуатации.

Номинальная поверхность - идеальная поверхность, форма которой задана чертежом. Аналогично различают номинальный и реальный профили, а также номинальное и реальное расположение поверхностей и профилей.

Отклонение формы - отклонение формы реальной поверхности или реального профиля от формы номинальной поверхности или номинального профиля. Количественно отклонение формы оценивается наибольшим расстоянием от точек реальной поверхности (профиля) до прилегающей поверхности (профиля) по нормали к прилегающей поверхности (профилю).

Допуск формы - наибольшее допустимое значение отклонения формы.

Поле допуска формы - область в пространстве или на плоскости, внутри которой должны находиться все точки реального рассматриваемого

элемента в пределах нормируемого участка. Ширина или диаметр поля допуска определяется значением допуска, а расположение поля относительно реальной поверхности определяется прилегающим элементом.

База - одна из плоскостей или осей систем координат, по отношению к которой задается допуск расположения или определяется отклонение расположения рассматриваемого элемента. Базами могут быть, например, базовая плоскость, базовая ось, базовая плоскость симметрии. В качестве базовой оси в зависимости от требований может быть задана ось базовой поверхности вращения или ось тела вращения.

Отклонение расположения - отклонение реального расположения рассматриваемого элемента от его номинального расположения.

Допуск расположения - предел, ограничивающий допустимое значение отклонения расположения.

Поле допуска расположения - область в пространстве или заданной плоскости, внутри которой должен находиться прилегающий элемент или ось, центр, плоскость симметрии в пределах нормируемого участка. Ширина или диаметр поля допуска определяется значением допуска, а расположение относительно баз определяется номинальным расположением рассматриваемого элемента.

Суммарное отклонение формы и расположения - отклонение, являющееся результатом совместного проявления отклонения формы и отклонения расположения рассматриваемой поверхности или профиля относительно заданных баз.

Суммарный допуск формы и расположения - предел, ограничивающий допускаемое значение суммарного отклонения формы и расположения.

Поле суммарного допуска формы и расположения - область в пространстве или на заданной поверхности, внутри которой должны находиться все точки реальной поверхности (профиля) в пределах нормируемого участка.

Рассмотрим возможные виды отклонений формы (профиля).

Отклонения формы. Стандарт устанавливает следующие виды отклонений формы:

1. **Отклонение от прямолинейности.** Разновидностями его являются: отклонение от прямолинейности в плоскости, отклонение от прямолинейности оси (или линии) в пространстве и отклонение от прямолинейности оси (или линии) в заданном направлении.

Отклонение от прямолинейности в плоскости - наибольшее расстояние Δ от точек реального профиля до прилегающей прямой в пределах нормируемого участка длиной L (рис. 3.6, а). Частными видами отклонения от прямолинейности являются выпуклость и вогнутость (рис. 3.6,б). **Выпуклость** - отклонение от прямолинейности, при котором

удаление точек реального профиля от прилегающей прямой уменьшается от краев к середине. Для *вогнутости* - увеличивается от краев к середине.

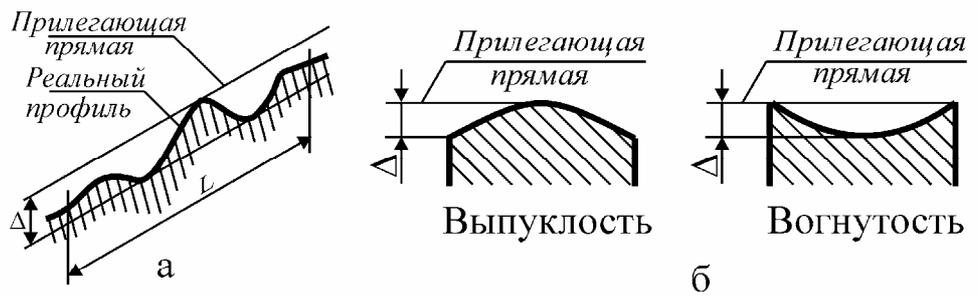


Рис.3.6. Отклонение от прямолинейности в плоскости

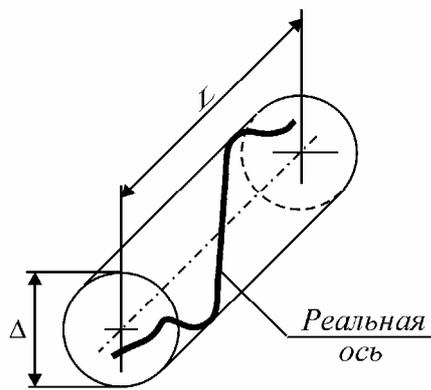


Рис.3.7. Отклонение от прямолинейности оси (или линии) в пространстве

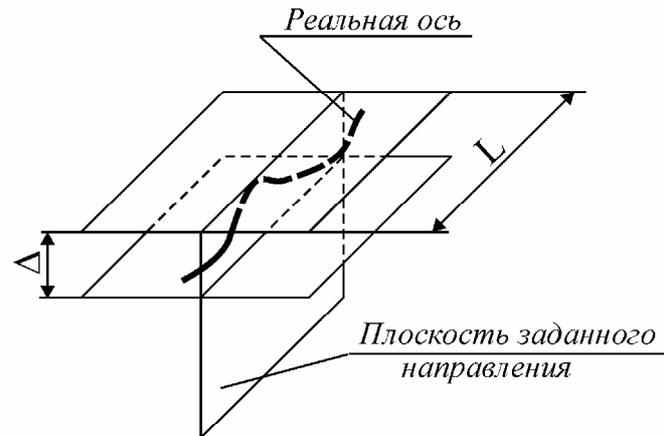


Рис.3.8. Отклонение от прямолинейности оси (или линии) в заданном направлении

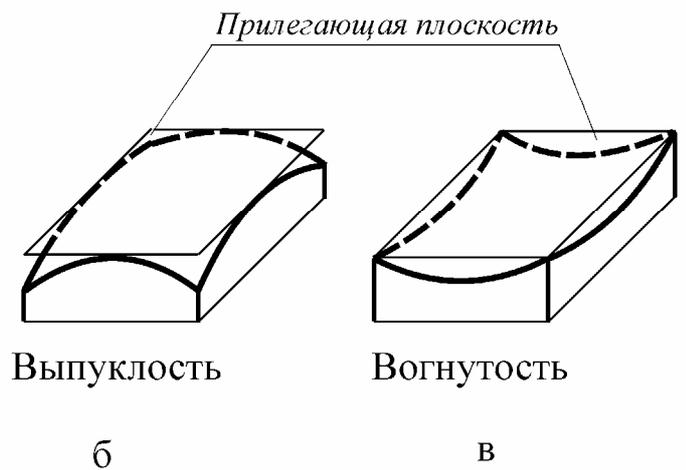
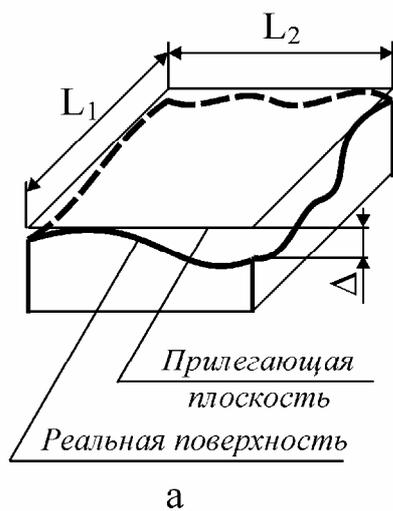


Рис.3.9. Отклонение от плоскостности

Отклонение от прямолинейности оси (или линии) в пространстве - наименьшее значение диаметра Δ цилиндра, внутри которого располагается реальная ось поверхности вращения (линия) в пределах нормируемого участка (рис.3.7).

Отклонение от прямолинейности оси (или линии) в заданном направлении - наименьшее расстояние между двумя параллельными плоскостями, перпендикулярными к плоскости заданного направления, в пространстве, между которыми располагается реальная ось (линия) в пределах нормируемого участка (рис.3.8).

2. **Отклонение от плоскостности.** Это наибольшее расстояние Δ от точек реальной поверхности до прилегающей плоскости в пределах нормируемого участка (рис. 3.9,а). Частными видами отклонения от плоскостности являются выпуклость и вогнутость (рис.3.9,б и в).

3. **Отклонение от круглости.** Это наибольшее расстояние Δ от точек реального профиля до прилегающей окружности (рис.3.10,а). Частными видами отклонений от круглости являются овальность и огранка. **Овальность** - отклонение от круглости, при котором реальный профиль представляет собой овалообразную фигуру, наибольший и наименьший диаметры которой находятся во взаимно перпендикулярных направлениях (рис.3.10,б). **Огранка** - отклонение от круглости, при котором реальный профиль представляет собой многогранную фигуру (рис.3.10,в). Огранка подразделяется по числу граней.

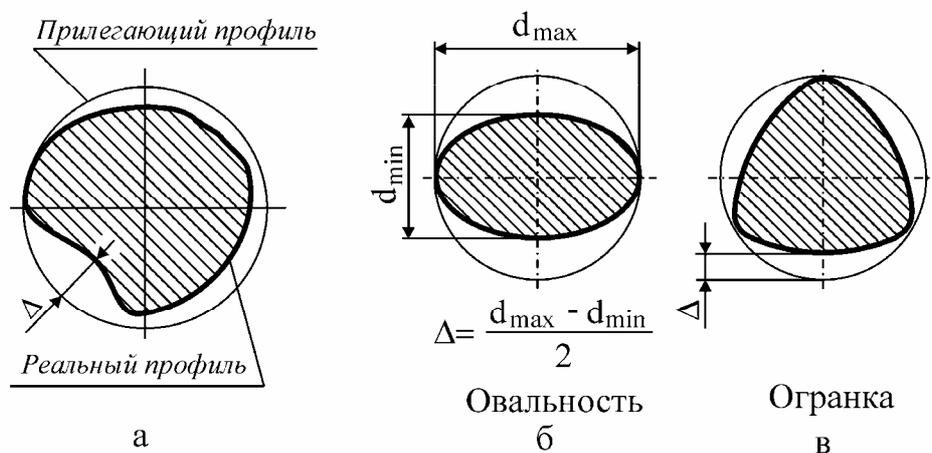


Рис.3.10. Отклонение от круглости

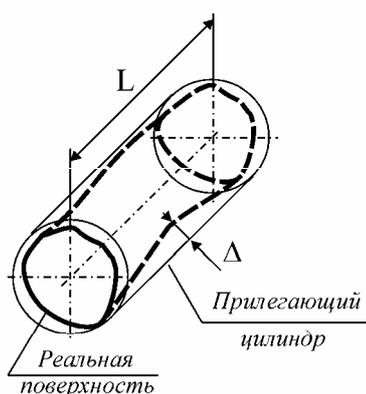


Рис.3.11. Отклонение от цилиндричности

4. **Отклонение от цилиндричности.** Это наибольшее расстояние Δ от точек реальной поверхности до прилегающего цилиндра в пределах нормируемого участка (рис.3.11).

5. **Отклонение профиля продольного сечения.** Это наибольшее расстояние Δ от

точек образующих реального профиля, лежащих в плоскости, проходящей через ее ось, до соответствующей стороны прилегающего профиля в пределах нормируемого участка (рис.3.12). Отклонение профиля продольного сечения характеризует отклонения от прямолинейности и параллельности образующих. Частными видами отклонения профиля продольного сечения являются *конусообразность*, *бочкообразность* и *седлообразность*.

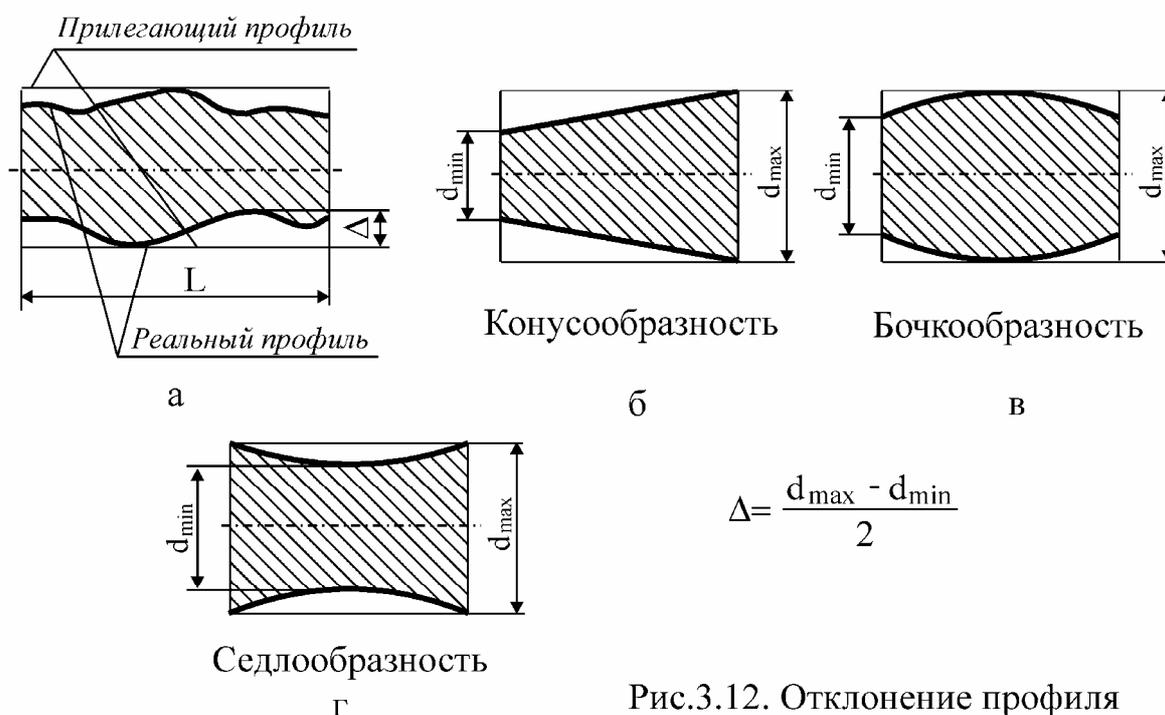


Рис.3.12. Отклонение профиля продольного сечения

Рассмотрим возможные виды отклонений расположения. Стандарт устанавливает следующие основные виды отклонений расположения поверхностей и (или) элементов деталей машин и приборов:

1. **Отклонение от параллельности** имеет разновидности: отклонение от параллельности плоскостей; отклонение от параллельности оси (или прямой) и плоскости; отклонение осей (или прямых в пространстве).

2. **Отклонение от перпендикулярности** имеет разновидности: отклонение от перпендикулярности плоскостей; отклонение от перпендикулярности плоскости или оси (или прямой) относительно оси (прямой); отклонение от перпендикулярности оси (или прямой) относительно плоскости.

3. **Отклонение наклона** имеет разновидности: отклонение наклона плоскости относительно плоскости или оси (или прямой); отклонение наклона оси (или прямой) относительно оси (прямой) или плоскости.

4. **Отклонение от соосности** имеет разновидности: отклонение от соосности относительно оси базовой поверхности (рис.3.13,а), отклонение

от соосности относительно общей оси (рис.3.13,б). Допуск соосности принято указывать в диаметральном выражении.

5. **Отклонение от симметричности** имеет разновидности: отклонение от симметричности относительно базового элемента (рис.3.14,а); отклонение от симметричности относительно общей плоскости симметрии (рис.3.14,б).

6. **Отклонение от пересечения осей** - наименьшее расстояние Δ между осями, номинально пересекающимися.

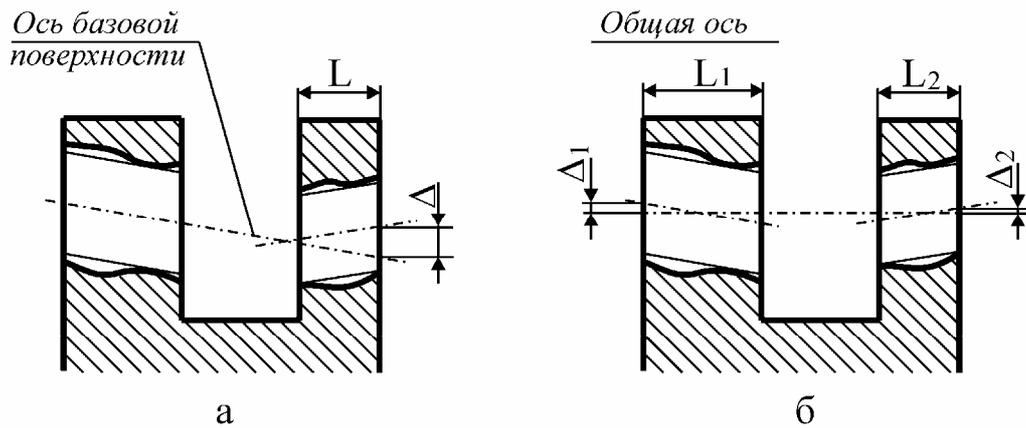


Рис.3.13. Отклонения от соосности

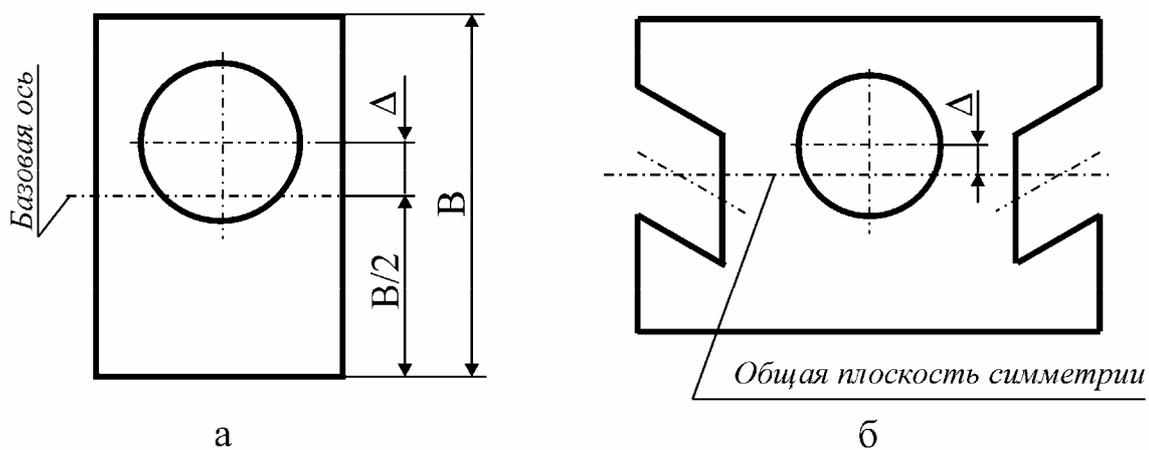


Рис.3.14. Отклонения от симметричности

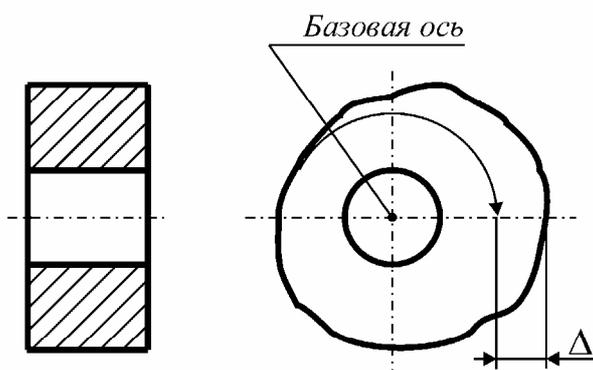


Рис.3.15. Радиальное биение

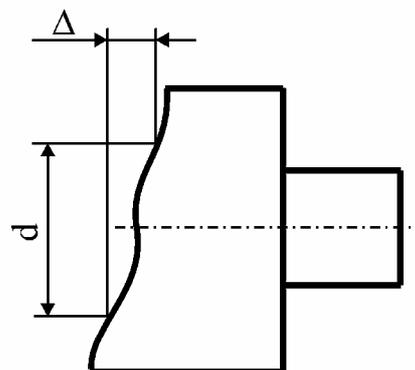


Рис.3.16. Торцевое биение

Стандарт также устанавливает семь основных видов суммарных отклонений формы и расположения поверхностей:

1. **Радиальное биение** - разность Δ наибольшего и наименьшего расстояний от точек реального профиля поверхности вращения до базовой оси в сечении плоскостью, перпендикулярной к базовой оси (рис.3.15). Радиальное биение является результатом совместного проявления отклонения от круглости профиля рассматриваемого сечения и отклонения его центра относительно базовой оси. Оно не включает в себя отклонений формы и расположения образующей поверхности вращения.

2. **Торцевое биение** - разность Δ наибольшего и наименьшего расстояний от точек реального профиля торцевой поверхности до плоскости, перпендикулярной к базовой оси (рис.3.16). При номинальной плоской форме торца торцевое биение является результатом совместного проявления отклонений от общей плоскости точек, лежащих на линии пересечения торцевой поверхности с секущим цилиндром, и отклонения от перпендикулярности торца относительно оси базовой поверхности на длине, равной диаметру рассматриваемого сечения. Торцевое биение не включает в себя всего отклонения от плоскостности рассматриваемой поверхности.

3. **Биение в заданном направлении** является результатом совместного проявления в заданном направлении отклонений формы профиля рассматриваемого сечения и отклонений расположения оси рассматриваемой поверхности относительно базовой оси. Направление рекомендуется задавать по нормали к рассматриваемой поверхности.

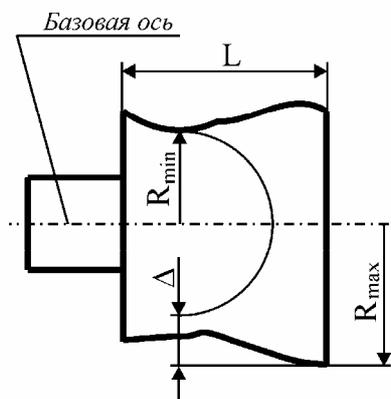


Рис.3.17. Полное радиальное биение

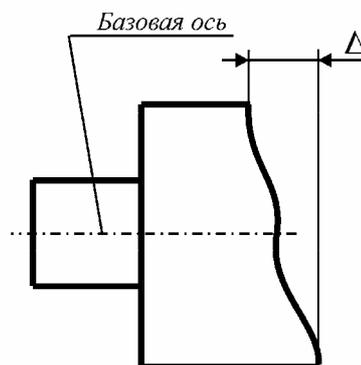


Рис.3.18. Полное торцевое биение

4. **Полное радиальное биение** - разность Δ наибольшего и наименьшего расстояний от всех точек реальной поверхности в пределах нормируемого участка до базовой оси (рис.3.17).

5. Полное торцевое биение - разность Δ наибольшего и наименьшего расстояний от точек всей торцевой поверхности до плоскости, перпендикулярной к базовой оси (рис.3.18).

6. Отклонение формы заданного профиля - наибольшее отклонение Δ точек реального профиля от номинального профиля, определяемое по нормали к номинальному профилю в пределах нормируемого участка.

7. Отклонение формы заданной поверхности - наибольшее отклонение Δ точек реальной поверхности от номинальной поверхности, определяемое по нормали к номинальной поверхности в пределах нормируемого участка.

Кроме рассмотренных выше семи видов отклонений могут нормироваться и другие суммарные отклонения формы и расположения поверхностей, например: перпендикулярности и плоскостности; суммарное отклонение наклона и плоскостности и др.

3.5. Нормирование допусков формы и расположения поверхностей

Если предельные отклонения формы и расположения поверхностей особо не оговорены, то это означает, что они ограничиваются полем допуска на размер или регламентируются в нормативных материалах на допуски, не проставляемые у размеров. В остальных случаях, эти допуски должны быть проставлены для рассматриваемых элементов на рабочем чертеже детали.

Численные значения допусков формы и расположения поверхностей установлены ГОСТ 24 643 - 81 для интервалов номинальных размеров в зависимости от степени точности (табл.3.8 - 3.11). Из шестнадцати степеней точности, установленных стандартом, в приборостроении обычно используют степени точности 1 - 12 (в порядке уменьшения). Степени 1-ю и 2-ю применяют для посадочных мест шарикоподшипников 2-го и 4-го класса точности, степени 3-ю и 4-ю - для посадочных поверхностей точных измерительных приборов и посадочных мест шарикоподшипников 5-го и 6-го классов точности, степени 5-ю и 6-ю - для шеек валов механизмов высокой и средней точности, посадочных поверхностей шарикоподшипников 0-го класса точности и зубчатых колес 6-й и 7-й степени точности, степени 7-ю и 8-ю - для посадочных поверхностей зубчатых колес 8-й и 9-й степени точности, осей приборов средней точности, степени 10 - 12-ю - для менее точных поверхностей.

Рекомендуется выбирать степень точности с учетом уровня относительной геометрической точности, определяемой по соотношению

между допуском размера T_p и допуском формы T . Введены три уровня, обозначенные буквами А, В, С с соотношением допусков T / T_p :

А - нормальная относительная геометрическая точность, $T / T_p = 60\%$

;

В - повышенная относительная геометрическая точность, $T / T_p = 40\%$;

С - высокая относительная геометрическая точность, $T / T_p = 25\%$.

Для квалитетов 4 - 17 степень точности i в зависимости от квалитета j можно найти по формуле $i = j - k$, где $k = 1$ для уровня А, $k = 2$ - для уровня В и $k = 3$ - для уровня С.

Таблица 3.8

Допуски цилиндричности, круглости, профиля продольного сечения (ГОСТ 24643-81), мкм

Номинальный диаметр поверхности, мм	Степень точности									
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
До 3	0,8	1,2	2,0	3	5	8	12	20	30	50
Св. 3 до 10	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60
Св. 10 до 18	1,2	2,0	3	5	8	12	20	30	50	80
Св. 18 до 30	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100
Св. 30 до 50	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120
Св. 50 до 120	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160
Св. 120 до 250	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200

Таблица 3.9

Допуски плоскостности и прямолинейности (ГОСТ 24 643 - 81), мкм

Номинальная длина, мм	Степень точности									
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
До 10	0,6	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40
Св. 10 до 16	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50
Св. 16 до 25	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60
Св. 25 до 40	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80
Св. 40 до 63	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100
Св. 63 до 100	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120
Св. 100 до 160	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160
Св. 160 до 250	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200

Таблица 3.10

Допуски параллельности, перпендикулярности, наклона, торцевого биения и полного торцевого биения (ГОСТ 24 643 - 81), мкм

Интервалы номинальных	Степень точности

размеров, мм										
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
До 10	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60
Св. 10 до 16	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80
Св. 16 до 25	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100
Св. 25 до 40	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120
Св. 40 до 63	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160
Св. 63 до 100	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200
Св. 100 до 160	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250
Св. 160 до 250	5	8	12	20	30	50	80	120	200	300

Таблица 3.11

Допуски радиального биения и полного радиального биения,
допуски соосности, симметричности и пересечения осей
в диаметральном выражении (ГОСТ 24 643 - 81), мкм

Интервалы номинальных размеров, мм	Степень точности									
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
До 3	2,0	3	5	8	12	20	30	50	80	120
Св. 3 до 10	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160
Св. 10 до 18	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200
Св. 18 до 30	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250
Св. 30 до 50	5	8	12	20	30	50	80	120	200	300
Св. 50 до 120	6	10	16	25	40	60	100	160	250	400
Св. 120 до 250	8	12	20	30	50	80	120	200	300	500

Примечание: Для получения значений допусков в радиусном выражении указанные в таблице значения при соответствующем диаметре следует уменьшить вдвое и при необходимости округлить.

3.6. Обозначение на чертежах допусков формы и расположения поверхностей

В соответствии с ГОСТ 2.308 - 79 эти допуски указывают или условными знаками, приведенными в табл. 3.12, или текстом в технических требованиях, при этом первый способ является основным.

Знак и числовое значение допуска или обозначение базы вписывают в рамку допуска, разделенную на два или три поля, в следующем порядке (слева направо):

в первом поле приводят знак допуска согласно табл.3.12;

во втором поле вписывают числовую величину допуска в миллиметрах (рис.3.19,а);

в третьем поле, при необходимости, вписывают буквенное обозначение базы (рис.3.19,б).

Размеры рамки допуска и ее полей должны обеспечивать возможность четкого вписывания всех данных. Высота цифр и букв, вписываемых в рамки, должна быть равна размеру шрифта размерных чисел. Рамку допуска выполняют предпочтительно в горизонтальном положении, в необходимых случаях допускается выполнять рамку

вертикально так, чтобы данные читались с правой стороны чертежа. Пересекать рамку допуска какими-либо линиями не допускается.

Рамку допуска соединяют при помощи линии, оканчивающейся стрелкой, с контурной линией или выносной линией, продолжающей контурную линию элемента, ограниченного допуском (рис.3.19,в). Если допуск относится к оси или плоскости симметрии определенного элемента, то конец соединительной линии должен совпадать с продолжением размерной линии соответствующего размера (диаметра, ширины,рис.3.19,г).

Знаки (графические символы) видов допусков формы
или расположения

Группа допусков	Вид допуска	Знак
Допуски формы	Допуски прямолинейности	—
	Допуск плоскостности	
	Допуск круглости	○
	Допуск цилиндричности	
	Допуск профиля продольного сечения	=
Допуски расположения	Допуск параллельности	//
	Допуск перпендикулярности	⊥
	Допуск наклона	
	Допуск соосности	
	Допуск симметричности	
	Допуск пересечения осей	X
Суммарные допуски формы и расположения	Допуск радиального биения	
	Допуск торцевого биения	
	Допуск биения в заданном направлении	
	Допуск полного радиального биения	
	Допуск полного торцевого биения	
	Допуск формы заданного профиля	
Допуск формы заданной поверхности		

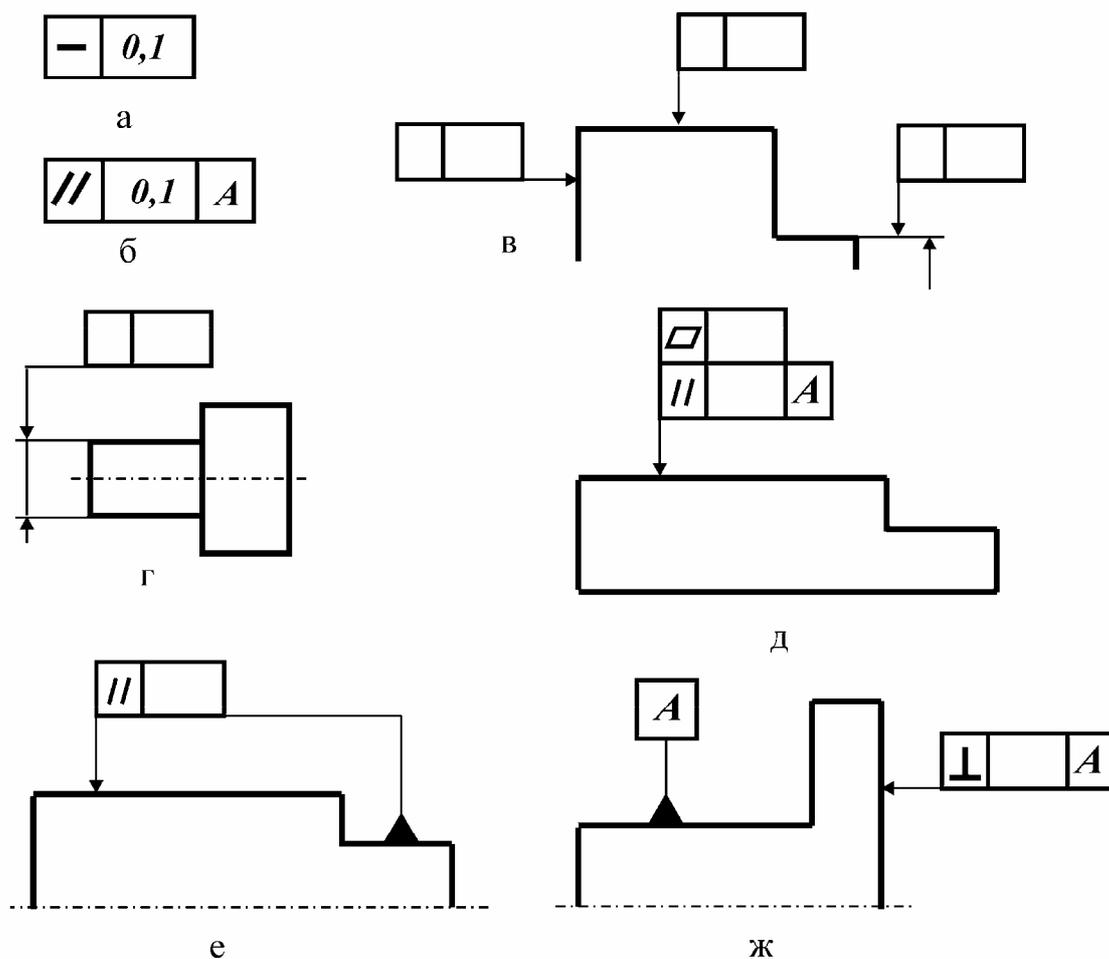


Рис.3.19. Обозначения на чертежах допусков формы и расположения поверхностей

Перед числовым значением допуска необходимо вписать: символ \varnothing , если круговое или цилиндрическое поле допуска указывают диаметром; символ R , если круговое или цилиндрическое поле допуска указывают радиусом; символ T , если поле допуска симметричности, пересечения осей ограничены двумя параллельными прямыми или плоскостями, в диаметральном выражении; символ $T/2$, если поле допуска симметричности, пересечения осей ограничены двумя параллельными прямыми или плоскостями, в радиусном выражении; слово «Сфера», если поле допуска шаровое.

Если необходимо задать для одного элемента два разных вида допуска, то допускается рамки допуска объединять и располагать их согласно рис.3.19,д. Повторяющиеся одинаковые виды допусков, обозначаемые одним и тем же символом, имеющие то же числовое значение и относящиеся к одним и тем же базам, указывают один раз в рамке, от которой отходит одна соединительная линия, разветвляемая затем ко всем нормируемым элементам.

Базы обозначают зачерненным треугольником, который соединяют при помощи соединительной линии с рамкой допуска (рис.3.19,е). Треугольник должен быть равносторонним с высотой, равной размеру шрифта размерных чисел. Если треугольник нельзя простым и наглядным способом соединить с рамкой допуска, то базу обозначают прописной буквой в специальной рамке и эту же букву вписывают в третье поле рамки допуска (рис.3.19,ж).

На рис.3.25 и 3.26 показаны примеры нанесения допусков форм и расположения на рабочих чертежах деталей.

3.7. Шероховатость поверхности

Шероховатость поверхности является одной из основных геометрических характеристик качества поверхности деталей и оказывает влияние на их эксплуатационные показатели. Требования к шероховатости поверхности должны устанавливаться, исходя из функционального назначения поверхности для обеспечения заданного качества изделий. Если в этом нет необходимости, то требования к шероховатости поверхности не устанавливаются и шероховатость этой поверхности не контролируется. Требования к шероховатости поверхности не включают требований к дефектам поверхности (раковины, трещины и др.).

ГОСТ 25142-82 вводит термины и определения основных понятий по шероховатости поверхности.

Шероховатость поверхности - это совокупность неровностей с относительно малыми шагами, образующих рельеф поверхности детали и рассматриваемых в пределах базовой длины.

Базовая длина - это длина базовой линии, используемая для выделения неровностей, характеризующих шероховатость поверхности, и для количественного определения ее параметров.

Числовые значения шероховатости отсчитывают от базовой линии, за которую принимается средняя линия профиля m , имеющая форму номинального профиля и проведенная так, что в пределах базовой длины среднее квадратичное отклонение профиля до этой линии было минимально (рис.3.20).

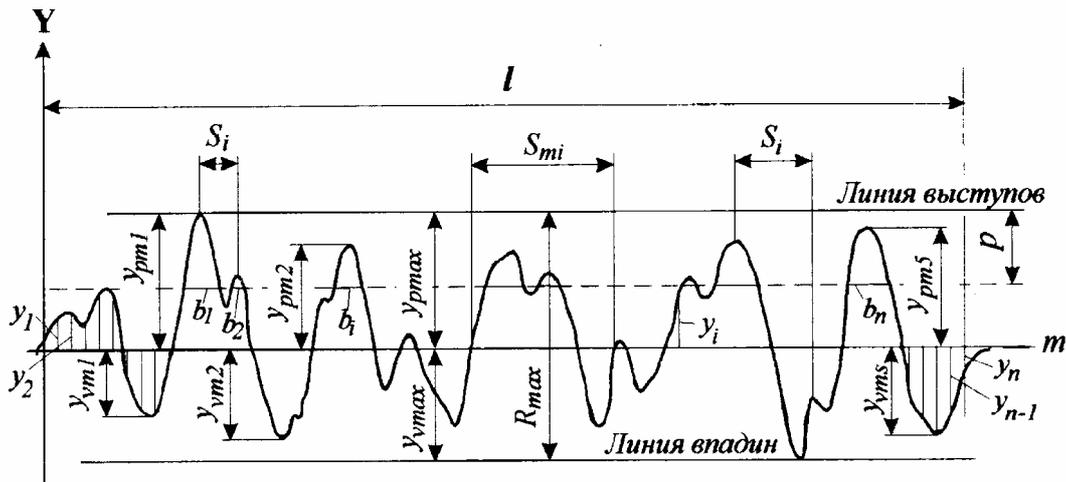


Рис.3.20. Профиль шероховатости, его характеристики и параметры

Для количественной оценки и нормирования шероховатости поверхностей ГОСТ 2789-73 устанавливает шесть параметров: три высотных (R_a , R_z , R_{max}), два шаговых (S_m , S) и параметр относительной опорной длины профиля (t_p). Приведем определения этих параметров.

Наибольшая высота неровностей профиля R_{max} - это расстояние между линией выступов профиля и линией впадин профиля (см. рис.3.20) в пределах базовой длины l .

Высота неровностей профиля по десяти точкам R_z - сумма средних абсолютных значений высот пяти наибольших выступов профиля и глубин наибольших впадин профиля в пределах базовой длины l , т.е.

$$R_z = \frac{\sum_{i=1}^5 |y_{pmi}| + \sum_{i=1}^5 |y_{vmi}|}{5},$$

где y_{pmi} - высота i -го наибольшего выступа профиля; y_{vmi} - глубина i -й наибольшей впадины профиля (рис.3.20).

Среднее арифметическое отклонение профиля R_a - среднее арифметическое абсолютных значений отклонений профиля в пределах базовой длины l , т.е.

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx \approx \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|,$$

где n - число выбранных точек профиля на базовой длине l (рис.3.20).

Средний шаг неровностей профиля S_m - среднее значение шага неровностей профиля (S_{m1} , S_{m2} , ..., S_{mm}) по средней линии m в пределах базовой длины l (рис.3.20).

Средний шаг местных выступов профиля S - среднее значение шагов соседних местных выступов (S_i) профиля по вершинам, находящихся в пределах базовой длины l .

Опорная длина профиля η_p - сумма длин отрезков b_i , отсекаемых на заданном уровне p в материале профиля линией, эквидистантной средней линии m в пределах базовой длины (рис.3.20), т.е.

$$\eta_p = \sum_{i=1}^n b_i .$$

Относительная опорная длина профиля t_p - отношение опорной длины профиля η_p к базовой длине на заданном уровне сечения p , т.е.

$$t_p = \eta_p / l .$$

Для оценки шероховатости поверхности чаще применяют параметры R_a и R_z , причем параметр R_a является предпочтительным. Рекомендуемые значения базовой длины даны в табл. 3.13. Наиболее характерные для приборостроения значения параметров R_a , R_z , R_{max} в мкм, S и S_m в мм приведены ниже

100	80	63	50	40	32	25	20	16	12,5
10	8	6,3	5	4	3,2	2,5	2	1,6	1,25
1	0,8	0,63	0,5	0,4	0,32	0,25	0,2	0,16	0,12
0,1	0,08	0,063	0,05	0,04	0,032	0,025	0,02	0,016	0,012

Таблица 3.13

R_a , мкм	R_z, R_{max} , мкм	l , мм
До 0,025	До 0,10	0,08
Св. 0,025 до 0,4	Св. 0,10 до 1,6	0,25
Св. 0,4 до 3,2	Св. 1,6 до 12,5	0,8
Св. 3,2 до 12,5	Св. 12,5 до 50	2,5
Св. 12,5 до 100	Св. 50 до 400	8

Требования к шероховатости поверхности детали устанавливают, исходя из функционального назначения поверхности, конструктивных особенностей детали и возможности их достижения рациональными методами обработки. При выборе нормируемых параметров шероховатости учитывают их влияние на

эксплуатационные свойства поверхности (табл.3.14).

Численные значения параметров шероховатости определяют, ориентируясь на рекомендуемые соотношения и данные опыта конструирования и технологии изготовления. Данные о достижимой шероховатости поверхности при различных видах ее обработки приведены в табл.3.15. Рекомендуемые значения шероховатости поверхности в зависимости от их функционального назначения даны в табл.3.16.

Для некоторых поверхностей деталей можно рекомендовать следующие ориентировочные параметры шероховатости:

$R_z = 40..80$ – нерабочие контуры деталей;
 $R_z = 20$ - торцевые поверхности под подшипники качения. Поверхности втулок, колец, ступиц, прилегающие к другим поверхностям, но не являющиеся посадочными. Отверстия под проход крепежных деталей;
 $R_a = 2,5$ - опорные плоскости. Свободные поверхности валов и осей. Канавки под уплотнительные резиновые кольца для неподвижных и подвижных соединений;
 $R_a = 1,25$ - поверхности разъема герметичных соединений без прокладок или со шлифованными металлическими прокладками. Наружные диаметры шлицевых соединений. Трущиеся поверхности малонагруженных деталей. Отверстия подшипников скольжения;
 $R_a = 0,63$ - трущиеся поверхности нагруженных деталей. Посадочные поверхности с длительным сохранением заданной посадки для эксцентриков, зубчатых колес, подшипников. Рабочие поверхности червяков. Рабочие поверхности шкал и лимбов нормальной точности;
 $R_a = 0,32$ - шейки валов. Валы в пригоняемых и регулируемых соединениях. Трущиеся элементы сильнонагруженных деталей;
 $R_a = 0,160$ - поверхности, работающие на трение, от износа которых зависит точность работы механизмов;
 $R_a = 0,080$ – валы в пригоняемых и регулируемых соединениях с допуском зазора – натяга 2,5-6,5 мкм. Отверстия в пригоняемых и регулируемых соединениях с допуском зазора – натяга до 2,5 мкм;
 $R_a = 0,040$ - зеркальные поверхности деталей. Прецизионные шкалы с оптическим отсчетом. Детали оптических систем.

Таблица 3.14

Эксплуатационные свойства поверхности и обеспечивающие их параметры

Эксплуатационные свойства	Параметры шероховатости
Износоустойчивость при всех видах трения	$R_a (R_z), t_p$, направление неровностей
Виброустойчивость	То же и дополнительно S_m, S
Контактная жесткость	$R_a (R_z), t_p$
Прочность соединения	$R_a (R_z)$
Усталостная прочность	R_{max}, S_m, S , направление неровностей
Герметичность соединения	$R_a (R_z), R_{max}, t_p$

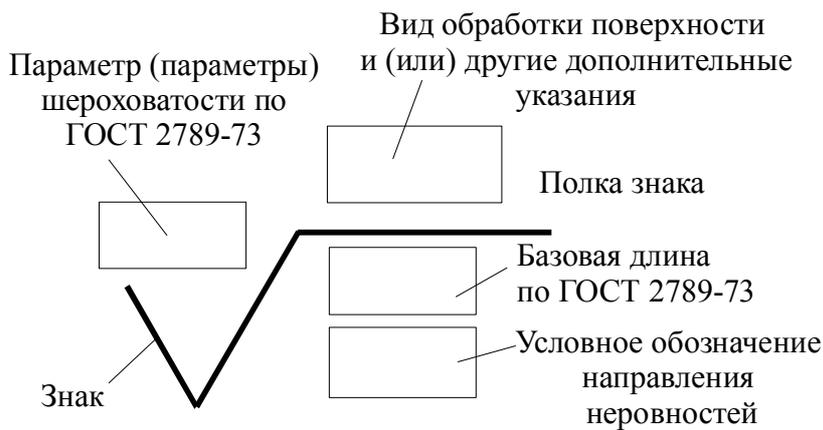


Рис.3.21. Структура обозначения шероховатости поверхности

Значения параметров шероховатости проставляются на чертежах. Структура обозначения шероховатости поверхности приведена на рис.3.21. При наличии в обозначении шероховатости только значения параметра (параметров) применяют знак без

полки.

Знаки обозначений шероховатости поверхности должны касаться вершиной контура поверхности изделия или выносной линии, а высота его должна располагаться нормально к этим линиям. Размеры знаков h (рис.3.22,а) должны быть примерно равны высоте размерных чисел на том же чертеже ($H=1,5...3h$). Толщина линий знаков равна половине толщины контурных линий на чертеже.

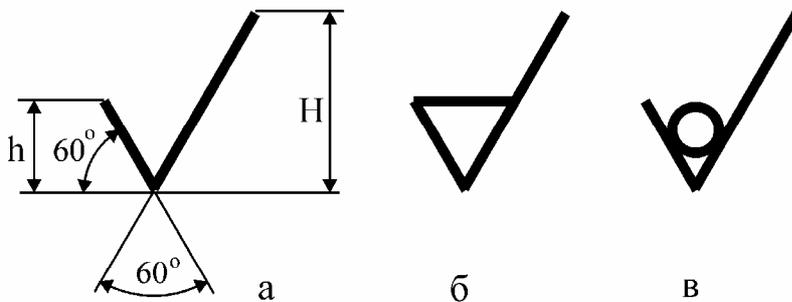


Рис.3.22. Знаки шероховатости поверхности

Если шероховатость всех поверхностей должна быть одинаковой, то знак, обозначающий шероховатость, помещают в правом верхнем углу чертежа (на расстоянии 5 - 10 мм от рамки) и на изображении детали

не наносят (см. рис. 3.23,а). При этом размеры и толщина линий знака выполняются в 1,5 раза больше.

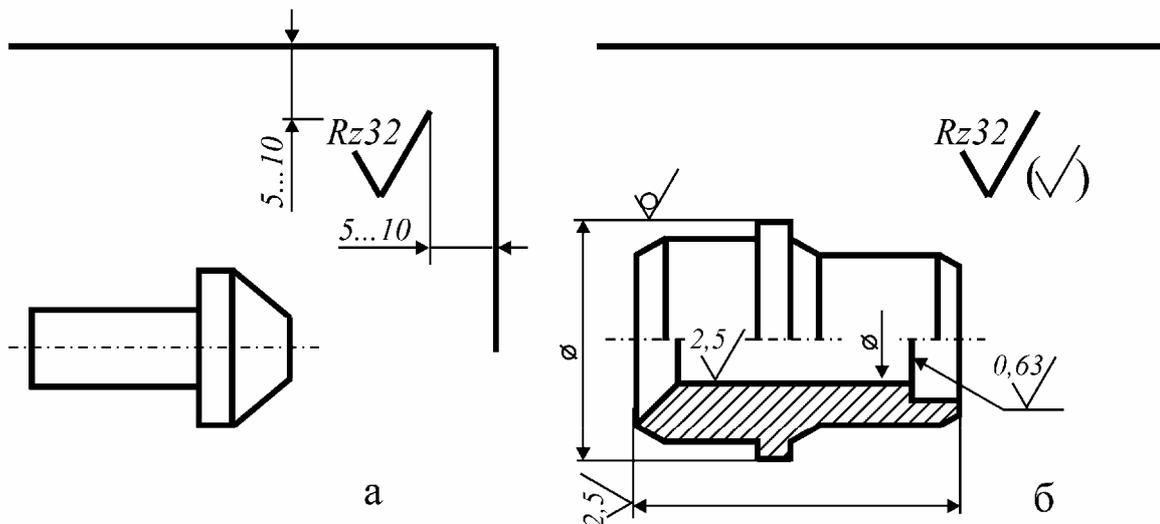


Рис.3.23. Нанесение знаков шероховатости поверхности

При указании шероховатости поверхности, преобладающей на данном чертеже детали, в правом верхнем углу чертежа приводятся два знака, один из них заключается в скобки (см. рис. 3.23,б). На первом знаке указывается шероховатость поверхности, преобладающая на данном чертеже. Этот знак выполняется в 1,5 раза больше обычного. Знак, приведенный в скобках, выполняется обычного размера и указывает на то, что все поверхности, у которых на изображении не нанесены обозначения шероховатости, должны иметь шероховатость, указанную перед этим знаком.

Значения параметра шероховатости по ГОСТ 2789-73 указывают в обозначении шероховатости: для параметра Ra - без символа, например 0,63; для остальных параметров - после соответствующего символа, например $Rz 40$.

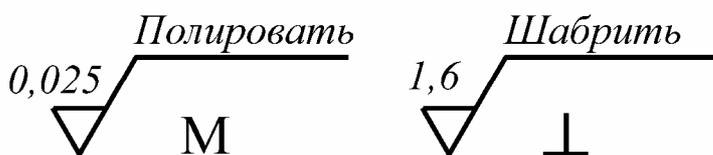


Рис.3.24. Указание необходимого вида обработки

Способ обработки поверхности указывают в обозначении шероховатости только в том случае, если этот способ является единственным приемлемым для

получения требуемой шероховатости поверхности детали (рис. 3.24).

Под знаком шероховатости в данных примерах проставлены требуемые направления неровностей поверхности. Направления неровностей задают только в тех случаях, когда они влияют на работоспособность детали или пары трения. При этом применяются следующие знаки: = ; \perp ; X ; C ; R ; M - соответствующие параллельному,

перпендикулярному, пересекающемуся, круговому, радиальному и произвольному направлению неровностей поверхности.

Обозначение шероховатости следует ставить на тех видах и разрезах, на которых проставлены размеры, относящиеся к соответствующим частям детали. Обозначение шероховатости на линиях невидимого контура допускается наносить только в тех случаях, когда нанесен размер от этой линии.

Таблица 3.15

Ориентировочные значения параметра шероховатости R_a (мкм),
получаемые при различных видах обработки

Обработка	Поверхности		
	наружного вращения	внутреннего вращения	плоские
Точение:			
черновое	12,5 - 5,0	12,5 - 6,3	12,5 - 6,3
получистовое	6,3 - 3,2	6,3 - 3,2	6,3 - 3,2
чистовое	3,2 - 2,5	2,5 - 0,63	3,2 - 2,5
тонкое	1,25 - 0,63	0,32 - 0,08	2,5 - 1,25
Фрезерование:			
черновое	--	12,5 - 6,3	12,5 - 3,2
чистовое	--	6,3 - 0,8	3,2 - 0,8
тонкое	--	0,8 - 0,2	1 - 0,2
Сверление	--	12,5 - 3,2	--
Зенкерование:			
черновое	--	6,3 - 3,2	--
чистовое	--	3,2 - 1,25	--
Развертывание:			
черновое	--	2,5 - 1,25	--
чистовое	--	1,25 - 0,63	--
тонкое	--	0,63 - 0,32	--
Строгание:			
черновое	--	--	50 - 6,3
чистовое	--	--	6,3 - 1
тонкое	--	--	1,6 - 0,32
Шлифование:			
предварительное	2,5 - 1	3,2 - 1,6	4 - 1,6
чистовое	1,25 - 0,2	1,6 - 0,32	1,6 - 0,32
тонкое	0,25 - 0,05	0,32 - 0,08	0,32 - 0,08
Суперфиниширование	0,28 - 0,032	--	--
Полирование	0,08 - 0,008	--	0,3 - 0,032
Притирка	0,11 - 0,01	0,16 - 0,02	0,1 - 0,02
Хонингование			
предварительное	--	3,2 - 1,25	--
чистовое	--	1,25 - 0,25	--
тонкое	--	0,25 - 0,04	--
Зубонарезание:			
фрезами	--	--	12,5 - 3,2
долбьяками	--	--	3,2 - 1,6
накатывание	--	--	2 - 0,8

Таблица 3.16

Рекомендуемые значения шероховатости поверхности некоторых
деталей и соединений

Поверхности	R_a, R_z , мкм
Скольжения: скорость до 0.5 м/с скорость свыше 0.5 м/с	$R_a = 0,32 - 5$ $R_a = 0,16 - 2,5$
Качения : скорость до 0.5 м/с скорость свыше 0.5 м/с	$R_a = 0,16 - 2,5$ $R_a = 1,25 - 0,08$
Шеек валов: под подшипники скольжения под подшипники качения под зубчатые колеса	$R_a = 0,16 - 0,32$ $R_a = 1,6 - 0,8$ $R_a = 1,6 - 0,8$
Посадочных отверстий зубчатых колес	$R_a = 0,5 - 2$
Разъема корпусов для герметичного соединения: с прокладкой без прокладки	$R_a = 5,0 - 1,25$ $R_a = 1,25 - 0,32$
Разъема корпусов для негерметичного соединения: с прокладкой без прокладки	$R_a = 10,0 - 2,5$ $R_a = 10,0 - 2,5$
Боковые: зубьев колес витков червяка	$R_a = 1,25 - 0,63$ $R_a = 0,32$
Нерабочие контуры деталей	$R_z = 320 - 40$
Отверстия под крепежные детали	$R_z = 80 - 20$
Свободные несопрягаемые торцевые поверхности валов, втулок и пр.	$R_z = 40 - 20$
Работающие на трение, от износа которых зависит точность работы механизмов	$R_a = 1,6$
Под склеивание	$R_z = 15$
Под электрохимическое покрытие	$R_a = 0,8 - 0,2$

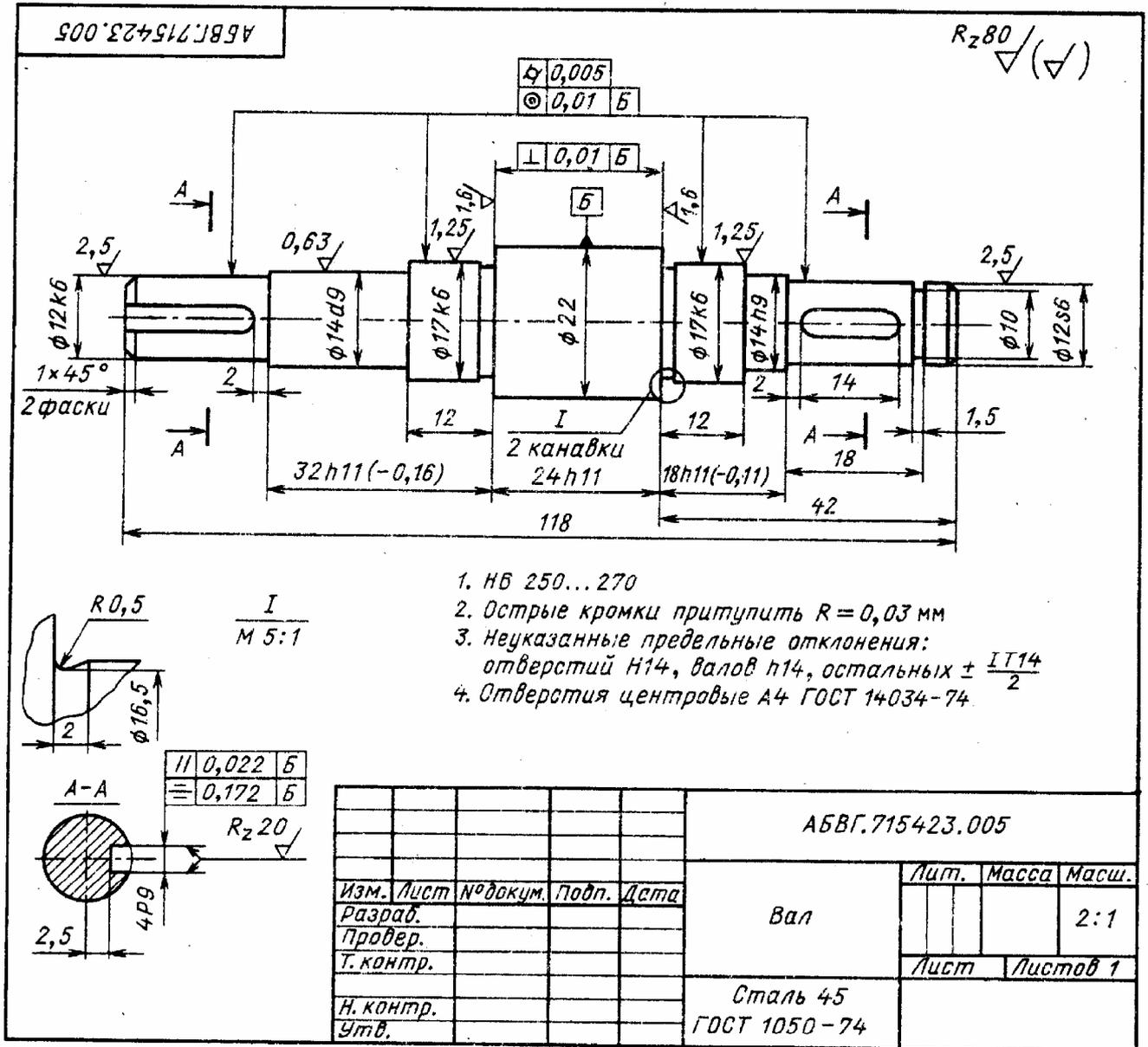


Рис.3.25. Пример оформления рабочего чертежа детали

Если шероховатость одной и той же поверхности детали на отдельных участках должна быть различной, то эти участки разграничивают сплошной тонкой линией с нанесением соответствующего размера и обозначений шероховатости.

Обозначение шероховатости поверхности профиля резьбы наносят по общим правилам, если дается изображение профиля или условно на выносной линии для обозначения размера резьбы, или на размерной линии. Обозначения шероховатости рабочих поверхностей зубьев зубчатых колес, шлицев и др., если на чертеже не дается их профиль, условно наносят на линии делительной поверхности.

В заключении раздела, на рис.3.25 и 3.26 приведены примеры оформления рабочих чертежей деталей, на которых определены допуски размеров, формы и расположения элементов деталей и определены требования к шероховатости поверхностей.

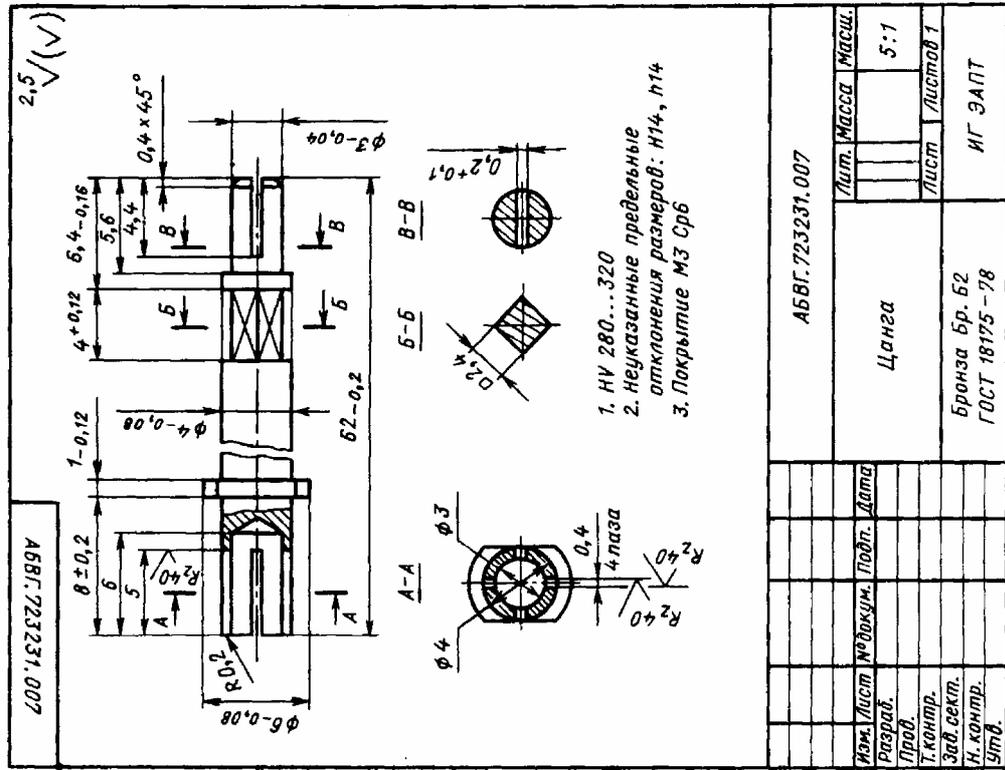
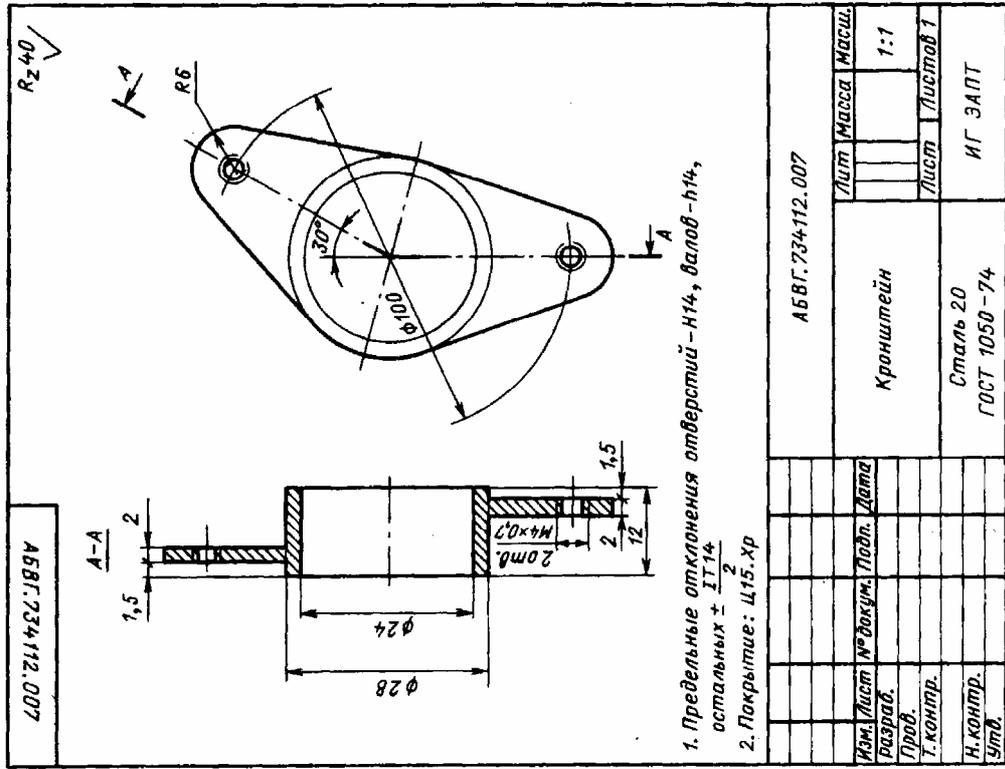


Рис.3.26. Примеры рабочих чертежей деталей

4. Материалы в приборостроении

К материалам, применяемым в приборостроении, относятся стали, цветные металлы и их сплавы, пластмассы, керамика и многие другие. Правильно выбранный материал в значительной мере определяет качество деталей и механизма в целом. Выбор материала детали проводится на основании их физико-механических, химических и технологических свойств и соответствия этих свойств эксплуатационным, технологическим и экономическим требованиям, предъявляемым к деталям.

Эксплуатационные требования, предъявляемые к материалу, определяются условиями работы детали в механизме. Их выполнение определяется свойствами материала, основными из которых являются:

1) прочность- свойство материала сопротивляться разрушению, а также необратимому изменению первоначальной формы и размеров. Характеристиками прочности являются: σ_B - предел прочности при растяжении (временное сопротивление); $\sigma_{и}$ - предел прочности при изгибе; σ_{-1} - предел выносливости; HB (HRC)- твердость по Бринеллю (или Роквеллу);

2) жесткость, характеризуемая величиной модуля упругости E;

3) упругость, характеризуемая пределом текучести σ_T ;

4) ударная вязкость, показателем которой является величина удельной работы, затрачиваемой на разрушение образца;

5) антифрикционность, характеризуемая коэффициентом трения f ;

6) износостойкость- способность материала сопротивляться износу, характеризуемая твердостью HRB, HRC или допустимым удельным давлением p ;

7) коррозионная стойкость;

8) плотность материала;

9) электропроводность, теплопроводность, коэффициент линейного расширения и т. д.

Технологические требования к материалу имеют целью обеспечить минимальную трудоемкость изготовления детали. Для удовлетворения этих требований учитывают следующие свойства материалов:

1) пластичность- свойство материала подвергаться деформированию без разрушения, позволяющее применять при изготовлении детали различные способы обработки давлением;

2) обрабатываемость резанием;

3) легкоплавкость и жидкотекучесть - свойства материала, обеспечивающие получение деталей литьем;

4) термообрабатываемость - способность материала изменять свои свойства при тепловой обработке (закалка, отпуск, отжиг) и термохимической обработке(цементация, азотирование и др.);

5) свариваемость - способность материалов образовывать прочные соединения при сварке.

Экономические требования, предъявляемые к материалам, определяются наименьшей себестоимостью детали, в которую включается себестоимость материала и все производственные затраты на ее изготовление. С учетом этих затрат выбирают тот или иной технологический процесс изготовления детали. Ввиду различных затрат на подготовку производства одни технологические процессы изготовления деталей (штамповка, литье, прессование) экономически выгоднее при массовом и крупносерийном производстве, а при единичном и мелкосерийном - выгоднее применять механически обработанные детали.

Свойства материалов - их химический состав и виды металлоизделий (лист, профили, сталь калиброванная, проволока и др.) регламентируются ГОСТами.

4.1. Физико-механические свойства сталей

Стали - это сплавы железа с углеродом и добавками других химических элементов, предназначенных для придания ей определенных свойств. По сравнению с другими материалами стали характеризуются высокой прочностью, пластичностью, хорошей свариваемостью, хорошей обрабатываемостью. Свойства большинства сталей можно существенно улучшить термообработкой. Немаловажным фактором являются сравнительно низкая стоимость стали и большая гамма разнообразных видов металлоизделий.

По составу стали разделяют на стали углеродистые и легированные. Углеродистые стали разделяются на стали обыкновенного качества, стали конструкционные качественные и легированные. Легированные стали в свою очередь разделяются на качественные, высококачественные и особо качественные.

Сталь углеродистая общего назначения (ГОСТ 380-71) в зависимости от вида контролируемых параметров делится на 3 группы:

А - поставляемая по механическим свойствам (в обозначении не указывается);

Б - поставляемая по химическому составу;

В - поставляемая по механическим свойствам и химическому составу.

Стали, поставляемые по механическим свойствам обозначают буквами **СТ** и числом в порядке возрастания прочности. Установлено 13 марок сталей, из которых чаще всего применяют стали марок **Ст0** и **Ст6**. Из сталей обыкновенного качества изготавливают крепежные детали, а также корпусные детали методами штамповки или сварки. Стали углеродистые общего назначения, как правило, не подвергаются термообработке.

Из механических свойств всех групп нормируется предел прочности на растяжение - от $\sigma_B = 320$ МПа, не менее (Ст0), до $\sigma_B = 600$ МПа, не менее

(Ст6) , и относительное удлинение - от 23 до 12 %, соответственно. Кроме того, нормируется предел текучести σ_t и для некоторых категорий - ударная вязкость.

Пример обозначения: Ст3-3 ГОСТ 380-71 -сталь углеродная общего назначения, поставляется только по механическим свойствам, марка стали Ст3, контролируется предел прочности и относительное удлинение (категория 3).

Сталь углеродистая качественная конструкционная (ГОСТ 1050-74) предусмотрена марок 05, 08, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 58, 60 с содержанием углерода от 0,06 % не более (сталь 05), до 0,57-0,65 % (сталь 60) . Обозначение марки соответствует среднему содержанию углерода в сотых долях процента. По степени раскисления выпускается сталь спокойная (в обозначении не указывается), полуспокойная - пс марок 08пс, 10пс, 20пс и кипящая - марок 05кп, 08кп, 10кп, 15кп, 20кп.

Поставляется горячекатаная и калиброванная - круглая, квадратная, шестигранная, в виде листов, полос, лент, проволоки, а также круглая со специальной отделкой поверхности (серебрянка), без термической обработки (не указывается), термически обработанная (нормализованная) - Т. и нагартованная - Н (для калиброванной стали и серебрянки).

В зависимости от назначения горячекатаная сталь делится на подгруппы:

- а - для горячей обработки давлением;
- б - для холодной механической обработки;
- в- для холодного волочения.

Из механических свойств нормируются твердость, предел текучести, временные сопротивления разрыву, относительное удлинение, относительное сужение, а для ряда марок стали также ударная вязкость. Для нормализованных сталей нормируется временное сопротивление: от $\sigma_b = 330$ МПа (сталь 08) до $\sigma_b = 690$ МПа (сталь 60) при относительном удлинении от $\sigma = 33$ % до $\sigma = 10$ % в зависимости от марки стали, для нагартованных сталей (сталь 10...50) $\sigma_b = 420-670$ МПа, $\sigma = 8..6$ % .

Различают конструкционные низкоуглеродистые цементируемые стали (содержание углерода до 0,25 %) , стали средне- и высокоуглеродистые (содержание углерода свыше 0,3 %), которые могут подвергаться термообработке.

По требованиям к испытанию механических свойств, предусмотрены следующие категории стали:

1- без испытаний на растяжения и ударную вязкость (нормируется только твердость);

2- с испытанием на образцах из нормализованных заготовок диаметром 25 мм;

3- то же с диаметром образца до 100 мм;

- 4- то же на закаленных и отпущенных образцах;
- 5- то же на нагартованных образцах (для калиброванной стали).

Если в обозначении марки в заказе нет указания на категорию стали, поставляется сталь категории 2.

Пример обозначения: сталь 30-2-а ГОСТ 1050-74 - сталь углеродистая качественная конструкционная марки 30, 2-й категории, подгруппы а.

В приборостроении стали высокой пластичности (08; 08кп; 10; 10кп) применяются для малонагруженных, термически необрабатываемых и нецементируемых деталей (прокладок, шайб, заклепок, корпусов), а также для деталей, получаемых методом холодной штамповки (преимущественно стали 08; 08кп; и 05кп).

Из стали невысокой прочности (15, 15кп, 20, 25) изготавливают нагруженные детали (вилки, фланцы, болты, корпуса), термически необработанные, а также подвергающиеся цементации или цианированию с последующей закалкой и отпуском (оси, рычаги, кулачковые валы, шестерни, пальцы, звездочки и т.д.).

Стали средней прочности (35, 40, 45, 50) используют после нормализации, улучшения, закалки с низким отпуском, поверхностного упрочнения с нагревом ТВЧ для изготовления разных деталей приборостроения (осей, рычагов, штифтов, храповиков, упоров, шпонок, шестерен).

Сталь легированная конструкционная (ГОСТ 4543-71) поставляется горячекатаная без термообработки; термообработанная (отожженная или нормализованная) - Т; калиброванная со специальной обработкой поверхности (серебрянка) термообработанная (отожженная, отпущенная, нормализованная или закаленная) - Т; нагартованная- Н.

Для обозначения высококачественных и особо высококачественных сталей в конце марки ставят буквы А или Ш, соответственно.

В зависимости от основных легирующих элементов сталь делятся на группы. В том числе:

- хромистая- 15Х, 30ХА, 30ХРА, 40Х, 50Х и др.,
- марганцовистая- 15Г, 50Г, 10Г2..50Г2,
- хромомарганцовистая с добавками бора, титана, ванадия, молибдена 18ХГ, 18ХГТ, 20ХГР, 25ХГМ, 35ХГФ и др.,
- хромомолибденовая, хромомолибденованадиевая- 15ХМ, 30Х3МФ, 4ХМФА,
- хромоникеливая, хромоникелевая с бором- 20ХН, 20ХНР, 30ХНЗА.

Всего стандартизировано около 100 марок.

В марке первые цифры - среднее содержание углерода (сотые доли процента); буквы- наименование легирующего элемента: В- вольфрам, Г- марганец, Н- никель, Р- бор, С- кремний, Т- титан, Ф- ванадий, Х- хром, Ю- алюминий, М- молибден. Цифры, стоящие после букв, обозначают

примерное содержание легирующего элемента в процентах (при отсутствии цифры - не более 1,5 %).

Легируемые стали, как и углеродистые, делятся на цементируемые (до 0,25 % С) и улучшаемые (0,25- 0,5 % С). Поверхностная твердость и износостойкость цементированных деталей из легируемых сталей остается на уровне цементированных из углеродистой сталей, но свойства сердцевины у таких деталей оказывается выше. Применяют легируемые стали для тех же целей, что и углеродистые, но для более ответственных крупных нагруженных и точных деталей и обязательно в термически обработанном виде.

Таблица 4.1

Свойства некоторых марок сталей

Марка стали	Характеристика, свойства	σ_b , МПа	σ_T , МПа	σ_{-1} , МПа	ТКЛР	$E \cdot 10^5$, МПа	γ , г/см ³	δ , %
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ст3 Ст5 ГОСТ 380-71	Малоуглеродистая сталь общего назначения, пластичность и свариваемость высокие	360 ÷ 460 460÷ 625	195 255÷ 285	170÷ 180 220÷ 240	—	—	7,83	24÷ 27 27÷ 20
Малоуглеродистые качественные стали ГОСТ 1050-74								
08кп	Свариваемость и пластичность высокие. Обрабатываемость резанием умеренная, коррозионная стойкость весьма низкая	330	200	120	11,6	1.86	7,83	33
10	то же	340	210	120			7,82	31
15	Свариваемость и пластичность высокие. Обрабатываемость резанием умеренная. Подвергается цементации	380	230	160	11,9- 12,0	1.96	7,82	27
20	то же	420	250	190				25
25	то же	460	280	200				23
35	то же	600	360	240				20
40	то же	>580	330	270				19
45	Среднеуглеродистая качественная сталь.	610	360	275	11,6	2.05÷ 2.15		16
50	Свариваемость, пластичность умеренная.	640	380	290	12		7,811	14
60	Обрабатываемость резанием хорошая. Хорошо закаливается	675	400	----	11,1		7,80	

Продолжение табл.4.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Сталь повышенной обрабатываемости резанием ГОСТ 1414-74								
A12	Сталь высокой обрабатываемости резанием (автоматная). Свариваемость пониженная, пластичность высокая. Обладает красноломкостью, чувствительна к ударным нагрузкам. Может быть подвергнута цементации и нитроцементации	600-800		270-360	10,6	2.11	7,85	
АС35Г2	Среднеуглеродистая сернистомарганцевистая сталь повышенной обрабатываемости. Свариваемость и пластичность пониженные, обладает красноломкостью	750	600	----	11,8*	2,05*	7,82*	14
Коррозионно-стойкие сплавы ГОСТ 5632-72								
20Х13 40Х13 1Х17Н2	Среднеуглеродистая хромистая сталь. Пластичность и свариваемость высокие. Наличие хрома обеспечивает мелкозернистую структуру цементированной поверхности	660 550 1200	450 450 900	----	10,5 11,0	2,06 2,19	7,7 7,8	16 18 10
Сталь конструкционная легированная ГОСТ 4543-71								
20Х	Малоуглеродистая хромистая сталь. Предназначена для цементации с последующей термообработкой. Пластичность и свариваемость высокие. Наличие хрома обеспечивает	850	630	590	11,3	2,03	7,82	10

	мелкозернистую структуру поверхности, что повышает сопротивление усталости							
--	--	--	--	--	--	--	--	--

Продолжение табл.4.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
40X	Среднеуглеродистая сталь. Свариваемость и пластичность умеренные. Хорошо закаливаются. Мелкозернистая структура поверхности, высокое сопротивление усталости	1000	700	450	11,5÷ 13,4	2.14	7,85	10
40XC	Среднеуглеродистая сталь. Обрабатываемость резанием умеренная, свариваемость и пластичность высокие	1250	1100	----	----	----	7,85	12
Сталь инструментальная легированная ГОСТ 5950-73								
12X1	Высокоуглеродистая хромистая сталь. Пластичность и свариваемость пониженные	2000	----	----	14	2.10	7,75	
9XBG	Высокоуглеродистая хромовольфрамомарганцовистая сталь. Свариваемость и обрабатываемость резанием пониженные	920			10,6	2.12	7,8	
Сталь инструментальная углеродистая ГОСТ 1435-74								
У8А	Повышенная твердость. Обрабатываемость резанием удовлетворительная, хорошо шлифуется. Свариваемость и пластичность пониженные	670	-	-	-	1.96	7.83	-
У10А	Тоже	710	-	-	11.8	1.96	7.83	8

Коррозионно-стойкие стали легированы значительным (от 13 до 25 %) количеством хрома, а иногда и никелем. Хромистые стали (30X13, 40X13) упрочняют термической обработкой, хромоникелевые (X18H10T,

ОХ22Н5Т и др.) - только пластической деформацией, они немагнитны (ГОСТ 7350 -77).

Коррозионная стойкость металлических изделий оценивается в баллах показателя коррозии по десятичной шкале. Показатели коррозии (отдельно для металлов без покрытия и с покрытиями) устанавливаются в зависимости от площади поверхности, подвергшейся коррозионному разрушению и вида коррозионного разрушения.

Самый высокий балл (1) присваивается металлу и сплавом без покрытия, у которых коррозионное разрушение поверхности не превышает 1% включительно. При отсутствии на металлических поверхностях видимых невооруженным глазом коррозионных разрушений, а также образования полупрозрачных пленок и (или) пленок побелости также устанавливается показатель коррозии, равный 1.

Самые нестойкие металлы оцениваются 10 баллами стойкости (коррозией поражается до 80 % поверхности с образованием солевых продуктов коррозии).

Таблица 4.2

Области применения некоторых марок стали

Марка стали	Термообработка	Механические свойства	Область применения
1	2	3	4
Ст3 Ст5	Без термообработки	$\sigma_B=400$, МПа $\sigma_T=195$, МПа	Сварные конструкции; детали, работающие с малой нагрузкой без трения: кожухи, щитки, крышки, прокладки, заклепки, шайбы, шпильки
Ст15 Ст25	Цементация, Закалка в воде, отпуск	$\sigma_B=500$, МПа $\sigma_T=270$, МПа HRC 56..62	Мелкие малонагруженные детали к которым предъявляются требования шероховатости поверхности и сопротивления износу: винты, гайки, оси, кольца, шестерни
Ст 35 Ст 35	Без термообработки Закалка в воде, отпуск	$\sigma_B=600$, МПа $\sigma_T=360$, МПа $\sigma_B=1000$, МПа $\sigma_T=650$, МПа HRC 30..40	Малонагруженные детали: оси, тяги, кольца, рычаги, фланцы Мелкие средненагруженные детали, к которым предъявляется требование повышенной прочности: втулки, валики, штифты, винты, упоры, кольца
Ст45	Улучшение	$\sigma_B = 750$, МПа $\sigma_T = 450$, МПа $\delta = 13 \%$ HRC 192..285	Средненагруженные детали, работающие при небольших скоростях и средних удельных давлениях: валы, работающие в подшипниках качения, шлицевые валы, шпонки, втулки, вилки
	Закалка с нагревом, ТВЧ с глубиной	$\sigma_B = 90..120$, МПа $\sigma_T = 70..90$, МПа $\delta = 7 \%$	Детали средних размеров, к которым предъявляются требования прочности и твердости: рамки, валики, цапфы, винты,

	закаленного слоя 1.8- 2.2	HRC 38..40	собачки, зубчатые колеса, шпильки
Ст45	Закалка в масле, отпуск	$\sigma_B > 900$, МПа $\sigma_T = 650$, МПа HRC 30..40	Мелкие тонкостенные детали сложной конфигурации изготавливаемые резанием

Продолжение табл.4.2

1	2	3	4
Ст60	Нормализация	$\sigma_B = 675$, МПа $\sigma_T = 400$, МПа $\delta = 12\%$	Детали с высокими прочностными и упругими свойствами (прокатные валики, эксцентрики, шпиндели, пружинные кольца, пружины амортизаторов)
Сталь инструментальная углеродистая ГОСТ 1435-74			
У10А	В улучшенном состоянии	$\sigma_B = 1200-1500$ МПа $\sigma_T = 900-1000$ МПа $\delta = 8\%$ HRC 38..42	Мелкие детали, получаемые резанием: оси с трибками, оси и валики, пальцы, ходовые винты при требованиях повышенной прочности. Мелкие детали, получаемые методом вырубки: кулачки, накладки направляющих, ползуны
	Закалка и отпуск	$\sigma_B = 1600..1800$ МПа $\sigma_T = 1300..1500$, МПа HRC 58..62	То же при повышенных требованиях к износостойкости. Упругие элементы, торсионы
У12А	Отоженная, Закаленная	HB 207 HRC 62 $\delta = 28\%$	То же
Сталь конструкционная повышенной и высокой обрабатываемостью резанием ГОСТ 1414-75Е			
A12	Горячекатанная Нагартованная	$\sigma_B = 420$, Мпа $\delta = 22\%$ 160 HB не более $\sigma_B = 500$ МПа $\delta = 7\%$ 217 HB	Мелкие малонагруженные детали, обрабатываемые резанием, при требовании обеспечения малой шероховатости: винты, гайки, оси, валики, втулки, кольца, планки, распорки, рукоятки, мелкие кронштейны и корпуса подшипников, оправы оптических деталей
АС35Г2	Калиброванная улучшенная	$\sigma_B = 750$ МПа $\sigma_T = 600$ МПа $\delta = 14\%$ 277 HB	Детали, обрабатываемые резанием при требовании обеспечения малой шероховатости и повышенной прочности: ходовые винты сравнительно больших размеров, стаканы подшипников, рычаги
Сталь конструкционная легированная ГОСТ 4543-71			
Ст20Х	Цементная и закалка ТВЧ	$\sigma_B = 850$ МПа $\sigma_T = 630$ МПа $\sigma_{-1} = 590$ МПа	Детали сравнительно крупные при требованиях высоких выносливости и износостойкости трущихся

		57..63 HRC	поверхностей, а также минимального коробления при термообработке: крупные зубчатые колеса, шпиндели, копиры, плунжеры, оправки, шлицевые валики
--	--	------------	---

Продолжение табл.4.2

1	2	3	4
Ст40Х	Улучшенная	$\sigma_B = 800..900$ МПа $\sigma_T = 600..750$ МПа $\delta = 10 \%$ HB 290	Детали при повышенных требованиях и износостойкости и выносливости: зубчатые колеса, червяки, роторы гироскопов
	Закалка и отпуск в масле	$\sigma_B = 1500-1600$ МПа $\sigma_T = 1300-1400$ МПа $\delta = 7 \%$ $\sigma_{-1} = 560$ МПа 50..54 HRC	Детали, работающие при ударных нагрузках. Детали при повышенных требованиях к износостойкости: зубчатые колеса, червяки, валы, ролики, пальцы, кулачки
Ст40ХС	Закалка, отпуск в масле	$\sigma_B = 1225$ МПа $\sigma_T = 1080$ МПа $\delta = 12 \%$	Мелкие детали высокой прочности: кулачки, штифты, оси, зубчатые колеса
Коррозионно-стойкие сплавы ГОСТ 5632- 72			
Сталь 2Х13 25Х13 25Х13Н2	Закалка, отпуск	$\sigma_B = 80..120$ МПа $\delta = 10 \%$ HB 240	Для деталей с повышенной пластичностью, подвергающихся ударным нагрузкам; деталей, работающих в слабоагрессивных средах: втулки гладкие, резьбовые, винты, болты, шестерни авиационных приборов
3Х13 4Х18Т1 08Х18Т1	Закалка, отпуск	$\sigma_B = 120- 170$ МПа $\delta = 8 \%$ HRC > 50	Для деталей с повышенной твердостью: режущий, хирургический инструмент, роторы гироскопов, храповики, оси карданных подвесов
95Х18	Закалка, отпуск		Для деталей высокой твердости, работающих в условиях износа
08Х10Н 20Т2	Закалка		1
1Х17Н2	Закалка	$\sigma_B = 1070$ $\delta = 10 \%$	Для высокопрочных тяжело нагруженных деталей, работающих на истирание и удар в слабоагрессивных средах
30ХН3А 40ХН	Закалка с отпуском	HB > 300 $\sigma_B = 1000$ МПа $\sigma_T = 800$ МПа $\sigma_{-1} = 460$ МПа	Детали, требующие повышенной прочности и пластичности. Шестерни, пальцы, оси, валы

Инструментальная легированная сталь ГОСТ 5950- 73			
12X1	Закалка, отпуск	$\sigma_B = 2000$ МПа 63..65 HRC	Для деталей при требованиях высокой износостойкости поверхности: шаблоны, калибры, копиры, направляющие качения и скольжения. Для технологической оснастки

Таблица 4.3

Назначение электротехнической тонколистовой стали

Марка	Назначение
1211, 1212, 1213, 1312	Для якорей и полюсов электрических машин постоянного тока, для роторов и статоров асинхронных двигателей промышленной частоты. Пластичность высокая
1411, 1412, 2411	Для двигателей повышенной частоты, маломощных силовых трансформаторов

4.2. Цветные металлы и их сплавы

Цветные металлы и сплавы широко применяются в приборостроении из-за их особых свойств (антифрикционность, коррозионной стойкости, хороших технологических свойств, немагнитности и др.). Наибольшее распространение имеют медь и ее сплавы, и сплавы алюминия.

Медь и ее сплавы. Медь отличается высокой теплопроводностью, коррозионной стойкостью, хорошо обрабатывается давлением, удовлетворительно резанием. Широко применяется в электротехнике, машино- и приборостроении для изготовления проводов, контактов, прокладок, шайб. Наиболее широко применяются ее сплавы: латунь и бронза.

Латуни подразделяются на двойные сплавы меди с цинком и многокомпонентные, имеющие в своем составе также алюминий, железо, марганец, свинец, никель и другие добавки, повышающие механические и физические свойства латуни. По сравнению с медью обладают более высокой прочностью и коррозионной стойкостью. Простые латуни обозначают буквой Л и цифрой, показывающей содержание меди в процентах. В специальных латунях после буквы Л пишут заглавную букву дополнительных легирующих элементов и через тире после содержания меди указывается содержание легирующих элементов. Легирующие элементы обозначают: А- алюминий, Б- бериллий, Ж- железо, К- кремний, Мц- марганец, Н- никель, О- олово, С- свинец, Ц- цинк, Ф- фосфор.

Бронзами называют сплавы меди, в которых основными легирующими материалами являются различные металлы, кроме цинка. Маркируют бронзы буквами Бр, за которыми следуют заглавные буквы легирующих элементов, а через тире цифры, показывающие их процентное содержание.

По сравнению с латунями бронзы обладают более высокими прочностью, коррозионной стойкостью и антифрикционными свойствами. Можно разделить бронзы на несколько групп:

Оловянистые бронзы подразделяют на литейные и обрабатываемые давлением. Первые применяют для изготовления вкладышей подшипников, колес червячных передач, различных антифрикционных деталей. Вторые для токопроводящих и моментных пружин, растяжек и других деталей.

Таблица 4.4

Свойства и применение латуни

Материал	Марка	σ_b , МПа	НВ	Применение
Латунь	Л63	441	67	Гайки, болты, детали автомобилей, конденсаторные трубки Детали машин, приборов теплотехнической и химической аппаратуры, змеевики, сильфоны и др.
	Л90	275	59	
Латунь кремнисто-свинцовая	ЛКС80-3-3	350	90	Втулки подшипников и другие антифрикционные детали
Латунь алюминиевая	ЛА67- 2.5	440	54	Для изготовления коррозионностойких деталей Пружины, манометрические трубки
	ЛАНКМц 75-2-2,5-0,5-0,5	582	–	
Латунь марганцевисто-свинцовая	ЛМцС58-2-2	350	80	Втулки подшипников, антифрикционные детали
Латунь марганцевая	ЛМц58-2	440	88	Гайки, болты, арматура, детали машин
Латунь свинцовая	ЛС60-1	392	68	Гайки, болты, зубчатые колеса, втулки

Таблица 4.5

Свойства и применение бронзы

Материал	Марка	σ_b , МПа	НВ	Назначение
Оловянистые бронзы	БрОФ10-1	230	80	Втулки ответственных подшипников, зубчатые венцы червячных колес, гайки ходовых винтов Пружины, детали машин. Токоведущие пружины, контакты разъемов, детали химической аппаратуры
	БрОФ6,5-0,4*	400	70	
	БрОЦ4-3	350	55	
Бронза алюминиево-железная	БрАЖ9-4	430	110	Зубчатые колеса, подшипниковые втулки, крупные отливки

Бронза кремний-марганцовистая	БрКМц3-1	360	55	Пружины, втулки, вкладыши подшипников
Бериллиевая бронза	БрБ2	490	98	Приборные пружины, работающие при повышенных температурах (до 350 °С)
Бронза кадмиевая	БрКД1	300	55	Коллекторы электрических машин, троллейбусные провода

Алюминиевые бронзы - дешевые заменители алюминевистых латуней имеют по сравнению с ними более высокую прочность, но худшую паяемость.

Кремнистые бронзы отличаются коррозионной стойкостью и антифрикционными свойствами.

Алюминий и его сплавы

Материалы данной группы отличаются малой плотностью, хорошей электро- и теплопроводностью, в большинстве случаев – хорошей пластичностью. Прочность сплавов сравнительно невысокая, коррозионная стойкость во влажной атмосфере хорошая, в щелочной и кислотной среде – крайне низкая, жаропрочность и жаростойкость сравнительно невысокие.

Чистый алюминий ввиду низких механических характеристик используется мало (провода, шкалы, стрелки). Применяют сплавы алюминия с другими компонентами, основные из которых – кремний, медь и магний.

Сплавы алюминия с кремнием (силумины) обладают жидкотекучестью и идут на изготовление корпусов, шасси, кронштейнов, втулок, фланцев и других деталей, изготавливаемых литьем. После отливки детали могут подвергаться термообработке. Основные марки литейных алюминиевых сплавов АЛ2, АЛ9, АЛ5-1.

Деформируемые алюминиевые сплавы применяют для изготовления резанием или штамповкой осей, втулок, фланцев, стаканов, крышек, зубчатых колес, кожухов приборов. Применяют термическую обработку в зависимости от марки сплава, в результате чего его прочность возрастает. Основные марки деформируемых алюминиевых сплавов АД1, Д16, АМГ5, АМЦ.

Таблица 4.7

Физические свойства алюминиевых сплавов

Марка материала	Плотность, г/см ³	Модуль упругости МПа	ТКЛР, $\alpha \times 10^6$ 1/К	Температура плавления °С
АД1	2.71	7200	22..25	710..730
Д16	2.78	7200	23..25	690..710
АМГ5	2.65	7000	22..26	710..730

АЛ2	2.65	7200	21..23	680..780
АЛ5-1	2.66	7200	23..24	580..630
АЛ8	2.55	7100	24..27	

Таблица 4.6

Свойства и применение алюминиевых сплавов

Марка материала	Характеристика и свойства	Применение
1	2	3
АЛ2 ГОСТ 2685-75	Литейный сплав. Высокие литейные свойства, малая усадка. Коррозионная стойкость умеренная. Свариваемость и обрабатываемость резанием хорошие. Пластичность пониженная. $\sigma_b = 150..160$ МПа $\delta = 1..3$ %	Сложные по форме корпусные детали, не несущие больших нагрузок
АЛ5-1 ГОСТ 2685-75	Литейные свойства хорошие. Обрабатываемость резанием удовлетворительная. Коррозионная стойкость пониженная. Прочность повышенная, стоек при температурах до 250 °С. Без термообработки $\sigma_b = 180$ МПа, $\delta = 0,5$ %, НВ65. Закаленный и состаренный $\sigma_b = 280$ МПа, $\delta = 0,5..1$ % НВ75	Детали при повышенных требованиях к прочности при повышенных температурах: корпусные нагруженные детали, детали передач
АЛ8 ГОСТ 2685-75	Высокая коррозионная стойкость в атмосфере и морской воде, хорошая обрабатываемость резанием. В термообработанном состоянии $\sigma_b = 290$ МПа, $\delta = 9$ %, НВ60	Нагруженные рычаги, кронштейны, кулачки, детали фрикционных передач
АД1 ГОСТ 4784-74	Высокая пластичность, удовлетворительно обрабатывается резанием, сваривается, паяется. $\sigma_b = 60$ МПа, $\delta = 25$ %	Ненагруженные корпусные детали, получаемые листовой штамповкой: Кожухи, стаканы и т.п.
Д16 ГОСТ 4784-74	Хорошо сваривается точечной сваркой, паяется. Обрабатываемость резанием удовлетворительная. Подвергается закалке и старению. $\sigma_b = 460$ МПа, $\sigma_T = 330$ МПа, $\delta = 8$ %	Средненагруженные детали, обрабатываемые резанием: стойки, кронштейны, втулки, кольца, шкивы, стаканы, крышки подшипников, каркасы, рамы
АМц ГОСТ 4784-74	Хорошо деформируется и сваривается всеми видами сварки.	Ненагруженные корпусные детали, изготавливаемые с

	Обрабатываемость резанием пониженная $\sigma_B = 100$ МПа, $\delta = 20$ %	применением сварки и гибки: шкафы, кожухи, каркасы, рамы, воздухопроводы
Амг5 ГОСТ 4784-74	Коррозионная стойкость и деформируемость пониженные. Хорошо обрабатывается резанием и сваривается	Детали, изготавливаемые резанием: стаканы, крышки, втулки, оправы, кольца

Титановые сплавы

Титановые сплавы разделяют на литейные и деформируемые. Преимуществами титановых сплавов перед другими материалами являются:

- ◆ высокая удельная стойкость;
- ◆ высокая удельная прочность;
- ◆ немагнитность;
- ◆ низкая теплопроводность;
- ◆ малый коэффициент линейного расширения;
- ◆ малая удельная плотность $\gamma = 4,5$ г/см³.

Таблица 4.8

Физические свойства титановых сплавов

Марка	σ_B , МПа	δ , %	d_n , кДж/м ²	Марка	σ_B , МПа	δ , %	d_n , кДж/м ²
Литейные				Деформируемые ГОСТ 19807- 74			
BT1Л	343	10	4	BT1- 0	373	20- 25	–
BT5Л	684	6	3	BT3- 1	1130	10÷16	3÷6
BT3 1Л	935	4	2,5	BT4	686	10÷20	–
BT6Л	836	5	2,5	BT5	935	12÷25	3÷6
BT21Л	–	4	2	BT14	1100	4÷8	–

По механическим свойствам они близки к легированным сталям. Ввиду вязкости обрабатываются труднее. Титановые сплавы куется и свариваются.

Наиболее распространены литейные сплавы BT1Л, BT5Л, BT9Л. Сплав BT1Л обладает наибольшей химической стойкостью, но имеет низкие механические свойства. Сплав BT9Л наиболее высокопрочный и предназначен для деталей, работающих при температуре до 500 °С.

Из деформируемых сплавов наиболее примененные марки BT4, BT5 (сварные и штампованные конструкции), BT8 и BT14 (крепежные и конструкционные детали).

Никель, сплавы никелевые и медно - никелевые

Сплавы обладают высокой коррозионной стойкостью, хорошо деформируются в холодном состоянии, хорошо обрабатываются резанием.

В качестве конструкционных находят применение МНЦ15-20 (нейзильбер), МНЦС16-29-1,8 (свинцовистый нейзильбер), МНЖМц30-1-1 (мельхиор), МНА13-3 (куниаль А), МНА6-1,5 (куниаль Б).

В качестве электротехнических материалов используют сплавы МНМц43-05 (копель), МНМц40-45 (константан), МНМц3-13, МНМцАЖ3-12-0,3-0,3 (манганин).

Таблица 4.9

Свойства и применение никелевых сплавов

Марка	Характеристика и свойства	Применение
Конструкционные сплавы ГОСТ 492-73		
МНЦ15-20	Высокие прочность, коррозионная стойкость, пластичность. $\sigma_B = 590..710$ МПа $E = 13750$ Па, $\delta = 2..3$ %	Детали приборов, электромашин, радиоаппаратуры, медицинский инструмент, посуда
МНЦС16-29-1.8	Улучшенная обрабатываемость резанием, высокая прочность. $\sigma_B = 600..700$ МПа $\delta = 2..4$ %	Мелкие детали при повышенных требованиях к шероховатости поверхности и коррозионной стойкости: лимбы прецизионных приборов, пластины, декоративные элементы
МНЖМц30-1-1	Высокая коррозионная стойкость, пластичность. $\sigma_B = 300..600$ МПа, $\delta = 3..5$ % $E = 14200$ МПа	Детали точной механики, химической аппаратуры, трубы термостатов, сетки
МНА6-1.5	$\sigma_B = 640..740$ МПа, $\delta = 4..6$ %	Пружины и другие изделия электротехнической промышленности
Электротехнические медно-никелевые сплавы		
МН16	$\rho = 0,223$ Ом×мм ² ТКС = 0,0027	Компенсационные провода термопар платина- золото
МНМц43-45	$\rho = 0,49$ Ом×мм ² ТКС = 0,00014	Термопары, компенсационные провода, точные резисторы
МНМц40-45	$\rho = 0,48$ Ом×мм ² ТКС = 0,00002	Резисторы, термопары, тензорезисторы, нагревательные приборы с температурой до 500 °С
МНМц3-12	$\rho = 0,435$ Ом×мм ² ТКС = 0,00003	Электротехнические измерительные приборы, резисторы

ТКС- температурный коэффициент сопротивления.

4.3. Сплавы с особыми физическими свойствами

4.3.1. Сплавы прецизионные деформируемые с заданным температурным коэффициентом линейного расширения ГОСТ 10994-74:

с минимальным ТКЛР-36 ($1,5 \times 10^{-6}$ 1/К), 22НКД ($1,0 \times 10^{-6}$ 1/К);

с заданным ТКЛР, близким к его значениям у стекол для спая с этими стеклами 30НКД, 38НКД, 29НК, 47НХ и др. ($(3,3..1,15) \times 10^{-6}$ 1/К).
для спая с керамикой 48Н-ВИ ($(5,2..7,0) \times 10^{-6}$ 1/К).

с высокой стабильностью размеров для штриховых мер и аналогичных деталей 58Н-ВИ ($(11,5 \pm 0,3) \times 10^{-6}$ 1/К).

4.3.2. Сплавы с заданными упругими свойствами ГОСТ 10994-74:

со стабильными упругими свойствами для работы при повышенных температурах: 36НХТЮ, 38НХТЮ5М, 97НЛ, 68НХВКТЮ (200..500 °С);

с минимальным температурным коэффициентом модуля упругости: 42НХТЮА (2×10^{-6} 1/К).

4.3.3. Сплавы прецизионные деформируемые с заданным электрическим сопротивлением ГОСТ 10994-74:

с высоким электросопротивлением, жаростойкие для изготовления нагревательных элементов: Х15Ю5, Х27Ю5Т, Х25Н20, рабочие температуры 950..1350 °С;

с заданным электросопротивлением для элементов сопротивления: Х15Н60, Х20Н80 ($(1,07..1,11) \pm 0,05$ мкОм×м).

4.3.4. Термобиметаллы :

с малым электросопротивлением- 0,09..0,20 мкОм×м: ТБ1254, ТБ1253, ТБ0953;

с большим электросопротивлением- 0,87..1,27 мкОм×м: ТБ2016, ТБ11613;

повышенной прочности- до 1200..1300 МПа: ТБ0621, ТБ0921.

В марке первые две цифры - удельный прогиб в сотых долях, 1/К (0,20..0,06 1/К), третья- группа по электросопротивлениям 1..5 (св. 1,0 до 0,03 мкОм×м), четвертая цифра - группа по температурному диапазону 1..4 (св. 400 до 150 °С).

4.3.5. Сплавы магнитомягкие ГОСТ 10160-75. Предназначены для изготовления деталей, требующих достаточно быстрого и полного перемагничивания: сердечников малогабаритных трансформаторов, дросселей, реле, катушек индуктивности, соленоидов, головок магнитной записи, статоров и роторов электромашин и т.п., а также магнитострикционных упругих элементов.

Сплавы относятся к сплавам прецизионным деформируемым на основе систем железо-кобальт и железо-никель. В их числе сплавы марок:

79НМ, 80НХС, 83НФ - с наивысшей магнитной проницаемостью;

45Н, 50Н - с высокой магнитной проницаемостью и повышенной индукцией технического насыщения;

50НП, 68НМП, 34НКМП - с прямоугольной петлей гистерезиса;

49КФ, 49КФА - магнитострикционные.

4.3.6. Сплавы прецизионные магнитотвердые деформируемые ГОСТ 10994-74. С заданными параметрами петли, соответствующей максимальной магнитной проницаемости: 35КФ4Н, 25КФ14Н и др.

4.3.7. Магнитотвердые литые дисперсионно-твердеющие сплавы ГОСТ 17809-72. Отличаются повышенной твердостью и хрупкостью, плохо обрабатываются резанием (применима только абразивная или электроэрозионная обработка).

По магнитным свойствам превосходят магнитотвердые деформируемые материалы. Предназначены для изготовления постоянных магнитов.

Стандарты регламентировано 25 марок, в том числе ЮН14ДК24Т2, ЮН13ДК25А, ЮНДК21ТЗБА и др.

4.3.8. Сплавы твердые спеченные ГОСТ 3882-74. Материалы на основе карбидов вольфрама, титана и тантала на кобальтовой связке, выпускаются следующих групп:

вольфрамовые - ВК3, ВК4, ВК6, ВК8, ВК10, ВК25 и др.;

титановольфрамовые - Т30К4, Т15К6, Т15К12 и др.;

титанотанталовольфрамовые - ТТ7К12, ТТ8К6 и др.

Предназначены для изготовления режущего инструмента. В качестве конструкционного материала применяют обычно сплавы марок ВК8, ВК10- для изготовления деталей особой твердости и износостойкости (измерительных наконечников, ножей, вставок и т.п.). Предел прочности этих сплавов $\sigma_b = 1650..1750$ МПа, твердость 87..87,5 НКА.

4.3.9. Алюминиевые антифрикционные сплавы ГОСТ 14113-78. Применяются для изготовления втулок подшипников скольжения при нагрузках до 20..25 МПа и скоростях скольжения до 15 м/с.

Выпускаются марок А03-7, А09-2, АН2,5 и др. Отличаются повышенной износостойкостью, хорошо обрабатываются резанием.

4.3.10. Цинковые антифрикционные сплавы ГОСТ 21437-75. Предназначены для изготовления подшипниковых втулок, ползунов, работающих при нагрузках до 10 МПа и скоростях скольжения до 8 м/с.

Выпускаются марок ЦАМ9-1,5Л, ЦАМ10-5Л и др.

4.3.11. Материалы антифрикционные порошковые на основе меди ГОСТ 26719-85. **Предназначены для применения в узлах трения механизмов при скоростях скольжения до 1..2 м/с, коэффициент трения - 0,01..0,06 (сохраняется стабильным долгое время без внесения дополнительной смазки).** Выпускаются марок:

ПА-Бр0, ПА-Бр0Х - на основе оловянистой бронзы;

ПА-Бр0Гр, ПА-Бр0Гр2 - бронзографитовые композиции;

ПА-ДГр10 - медно-графитовая композиция.

4.3.12. Материалы фрикционные металлокерамические ГОСТ 1.90115-74. Отличаются повышенным и стабильным коэффициентом трения (по стали - до 0,3..0,4), малой интенсивностью изнашивания.

Выпускаются марок ФМК-8, ФМК-11, МКВ-50А.

Применяется для получения поверхностей трения во фрикционных парах. Пригодны для работы как в условиях сухого трения, так и в масляной среде.

4.4. Неметаллические конструкционные материалы

Пластические массы - это материалы, изготовленные на основе органических соединений (смол), обладающие при определенных условиях высокой пластичностью, позволяющей формовать изделия. Кроме связующей основы многие пластмассы содержат до 40..70 % наполнителя (ткани, бумага, стеклянные и асбестовые волокна и др.), а также красители, смазки, пластификаторы.

По строению пластмассы подразделяют на **термопластичные** - размягчающиеся при высоких температурах и допускающих повторное формование и **термореактивные** - под влиянием высокой температуры приобретают новые необратимые свойства и не допускают повторного формования.

К термопластичным пластмассам относятся капрон, нейлон, полиэтилен, фторопласт и др. . Из капрона и нейлона изготавливают втулки, зубчатые колеса, каркасы, корпуса, электроизоляционные детали. Материал обладает малым коэффициентом трения и высокой износостойкостью. Фторопласт обладает высокой электрической и механической прочностью, малым коэффициентом, идет на изготовление деталей радиоаппаратуры, втулок, стоек, прокладок. Фторопластовые пленки используют как изоляционный материал в приборах. Изготавливают листы и пленки фольгированные с одной или двух сторон медной фольгой для плат печатного монтажа.

К термореактивным пластмассам относятся карболит, волокнит, текстолит, стеклотекстолит, гетенакс. Эти пластмассы идут на изготовление втулок, плат, стоек, осей, шестерен, шкал, корпусов. Механические, электротехнические и физические свойства приведены в справочной литературе.

Таблица 4.10

Свойства и применение пластмасс

Наименование и марка	Плотность г/см ³	σ_v , МПа	E, МПа	Теплостойкость	
1	2	3	4	5	6
Текстолит конструкционный	1,3..1,4	850	$(4..6,5) \times 10^3$	125	Прокладки, бобышки, каркасы потенциометров
ПТ		1000	$(4..6,5) \times 10^3$	125	
ПТК					
Полиэтилен низкого давления	0,948	20..30	600..800	100	Детали, получаемые литьем под

ПЭНД203-05					давлением, не требующие высокой прочности
Полистирол ПСМ 115	1,05..1,1	37..45	2700	70	Детали статически нагруженные: корпуса, крышки, панели, армированные ручки

Продолжение табл.4.6

1	2	3	4	5	6
Фторопласт 42-ЛД-1	2,1	40,2	1000	120	Антифрикционные детали повышенной износостойкости: вкладыши опор скольжения, в том числе беззазорных
Стеклотекстолит СТ	1,8	2700	20000	250	Детали типа плат, крышек, защищенных панелей

4.5. Покрытия и смазочные материалы

4.5.1. Общие сведения о покрытиях

Покрытия в приборостроении позволяют улучшить характеристики применяемых конструкционных материалов. Детали с покрытиями лучше противостоят вредному действию коррозионно-агрессивных сред, атмосфер, изнашиванию, циклическим контактными нагрузкам и т.д.

По выполняемым функциям покрытия подразделяют на защитные, защитно-декоративные, декоративные и специальные.

По виду наносимого материала разделяются на покрытия металлические, неметаллические неорганические, полимерные и лакокрасочные.

Условные обозначения металлических и неметаллических неорганических покрытий записывают в следующем порядке: способ обработки основного материала под покрытие; способ получения покрытия; толщина; материал; функциональные или декоративные свойства; дополнительная обработка покрытия. В обозначении обязательно наличие всех перечисленных элементов. Все составляющие обозначения отделяют друг от друга точками.

Примеры обозначения: M18.N15.X.3K - хромовое покрытие с подельем меди толщиной 18 мкм и слоем никеля толщиной 15 мкм, зеркальное. Ц15.хр.ч- цинковое покрытие толщиной 15 мкм с черным хромотированием.

Нанесение покрытий всегда изменяет размеры деталей, что может нарушить установленные значения допусков, это следует учитывать при назначении покрытий.

Детали с допусками по 01- 4 квалитетам следует изготавливать из материалов, не требующих покрытия.

Детали, изготовленные по 5- 8 у квалитету можно защитить покрытиями, полученными химическим способом (например, никелевым) и некоторыми покрытиями, полученными гальваническим способом (цинковыми, кадмиевым и т.д.) при толщине покрытия не более 6 мкм.

Детали, изготовленные по 9- 17 у квалитетам точности можно защищать покрытиями всех видов при обязательном завышении (занижении) размеров при толщинах покрытий, соизмеряемых с допусками на изготовление.

Для получения качественного покрытия необходима тщательная обработка поверхности изделия.

Выбор типа покрытия зависит от условий эксплуатации (табл. 4.11).

Таблица 4.11

Условия эксплуатации

Группа условий эксплуатации (обозначение)	Условия эксплуатации, хранения	Температура воздуха °С
Легкая (Л)	Отапливаем ость помещения	1 ÷ 40
Средняя (С)	Помещения без регулярных климатических условий с большими колебаниями температуры и влажности	(-50) ÷ 40
Жесткая (Ж)	Открытые площадки, навесы в районах с умеренным и холодным климатом. Помещения без регулируемых климатических условий в районах с тропическим климатом	(-50) ÷ 50
Особо жесткая (ОЖ)	Открытые площадки с любым климатом с большими колебаниями температуры и влажности	(-50) ÷ 60

При выборе покрытий необходимо учитывать их назначение, условия эксплуатации, материал детали, свойства и характеристику покрытия, допустимость и недопустимость контактов сопрягаемых материалов.

Наиболее часто применяемые химические и электрохимические покрытия.

Оксидирование. Это процесс получения оксидных пленок на поверхности металлических деталей. Такие пленки защищают от коррозии и имеют хорошие декоративные свойства. Осуществляют оксидирование химическим и термохимическим способом.

Покрытия по алюминию и алюминиевым сплавам имеют пористое строение и сравнительно высокую твердость, на прочность детали и особенно выносливость влияют отрицательно. Оксидирование деталей из алюминия осуществляют химическим и электрохимическим способами. Пленка, полученная химическим способом в растворе хромового ангидрида, бесцветна и сохраняет блеск полированного алюминия. Пленка, полученная электрохимическим способом в растворе серной кислоты, имеет снежно-белый цвет, высокую твердость, износостойкость и электроизоляционные свойства.

Обозначение покрытий: Хим.Окс., Ан.Окс.

Покрытие, повышающее износостойкость алюминиевых деталей: Ан.Окс.тв., Ан.Окс.тв.прм.

Для улучшения декоративных свойств возможно окрашивание оксидированного алюминия анилиновыми красителями.

Химическое оксидирование применяют как защитно-декоративные по стали: Хим.Окс.прм- химическое оксидирование, пропитка маслом.

Цинкование. Цинк является анодом по отношению к железу, поэтому основное изделие не разрушается, пока сохраняется цинковое покрытие. Такие покрытия эластичны, допускают гибку, вытяжку, развальцовку в диапазоне температур до 260 °С.

На прочность деталей влияет отрицательно (вследствие обезуглероживания поверхности). Стали с пределом прочности выше 1400 МПа цинкованию не подлежат.

Покрытие рекомендуется как защитное по углеродистым сталям: Ц6, Ц9 (допускает последующую точечную или ленточную сварку).

Никелевые покрытия, катодное по отношению к стали, алюминию и цинковым сплавам, защищает их механически. Коррозионная стойкость выше в многослойных покрытиях. Износостойкость удовлетворительна, растекаемость припоев по покрытию хорошая.

Покрытие обладает хорошими декоративными свойствами. Цвет блестящего покрытия- светло-серый с желтоватым оттенком, матового черного- темно-серый до черного.

Покрытие рекомендуется как защитное по стали Н9, Н18, ХимН6, ХимН15; по меди; по алюминию.

Хромовое покрытие, катодное по отношению к сталям, алюминию и цинковым сплавам, защищает их механически. Износостойкость покрытия высокая, потери на трение сравнительно низкие. Не рекомендуется при ударных нагрузках.

Покрытие рекомендується як захисно-декоративне по сталі: М9.Н6.Х60,5; М24.Н12.Х61. Для підвищення износостойкости по сталі Хтв9..Хтв24.Хмол6.. Хмол24 и др.

Кадмиевое покрытие, анодное по отношению к сталям, защищает ее от коррозии, предотвращает коррозию в контакте с медью и ее сплавами. Имеет прочную связь со сталью и хорошие антифрикционные свойства.

Последующее хромирование или фосфатирование повышает стойкость, но уменьшает электропроводность. Хроматная пленка декоративна - цвет покрытия золотисто-желтый с радужным оттенком. Рекомендуется как защитные по стали Кд30..Кд40; как защитно-декоративные по алюминию и его сплавам: Н12.Кд6.хр., Н18.Кд18.хр. и др.

4.5.2. Смазочные материалы

Смазка элементов подвижных соединений механизмов приборов существенно влияет на их работу. Она предназначена для уменьшения потерь на трение, износа деталей, отвода тепла, образующегося при трении и предохранения деталей от коррозии.

Смазочные материалы разделяют на жидкие, консистентные и твердые.

Жидкие смазочные материалы (масла) рекомендуют для узлов трения, работающих при малых значениях нагрузок и частот вращения. Основным техническим показателем для выбора марки масла является его вязкость или внутреннее трение, т.е. свойство сопротивляться сдвигу одного слоя жидкости относительно другого слоя. Экспериментально определяется так называемая динамическая вязкость μ из условия:

$$F = \mu S V / h, \quad (4.1)$$

F - сила жидкостного трения; S - площадь сдвигаемых слоев; V - скорость; h - расстояние между слоями.

Кинематической вязкостью ν называется отношение динамической вязкости к плотности жидкости ρ :

$$\nu = \mu / \rho \quad (4.2)$$

Вязкость масла понижается с ростом давления. При больших нагрузках и температурах применяют масла с высокой вязкостью. Для скоростных подшипников рекомендуют масла с меньшей вязкостью, так как они уменьшают тепловыделение в узле. При отрицательных температурах (от -40, -60 °С) происходит резкое увеличение вязкости масел, что влияет на пусковые характеристики и работоспособность узлов трения и поэтому ограничивает их применение при низких температурах.

Кроме вязкости, масла характеризуются также содержанием примесей, температурой вспышки, температурой застывания, кислотностью. Некоторые эксплуатационные показатели масел можно повысить с помощью присадок, вводимых в масла в малых количествах. К таким присадкам относятся, например, соединения хлора, фтора, фосфора.

Пластичные смазки имеют, как правило, хорошую влагостойкость и нагревостойкость, больший по сравнению с маслами срок службы. Они незаменимы в тех случаях, когда невозможно обеспечить герметизацию узла трения и его пополнение смазочным материалом. Консистентные (пластичные) смазки могут применяться в тяжелонагруженных узлах трения, работающих при высоких температурах.

Наибольшее распространение имеют смазки универсальные, тугоплавкие, например ЦИАТИМ-201 при температурах $-60..+90\text{ }^{\circ}\text{C}$, ЦИАТИМ-221 при температурах $-60..+150$, ВНШ НП 223 $-45..+150\text{ }^{\circ}\text{C}$ и ряд других.

При работе механизмов при высоких температурах в химически активных средах и в вакууме жидкие смазки теряют свои свойства. В этих случаях применяют твердые смазки, к которым относятся графит, а также сульфиды и селениды молибдена или вольфрама. Наибольшее распространение получил дисульфид молибдена (MoS_2), который наносится на трущиеся поверхности в виде пленки толщиной $20..30\text{ мкм}$ и применяется в обычных условиях и вакууме при перепаде температур от -180 до $+400\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Наиболее распространенные типы смазочных материалов и области их применения приведены в таблице 4.12.

Таблица 4.12

Смазочные материалы и их применение

Марка масла, ГОСТ, ТУ, диапазон рабочих температур	Кинематическая вязкость при $t = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\text{мм}^2/\text{с}$	Назначение
Масло приборное МВП ГОСТ 1805-76 (-60)÷($+110$)	6..8	Контрольно-измерительные приборы, малонагруженные узлы трения механизмов, пневмоамортизаторы, миниатюрные шарикоподшипники
Индустриальные ИБА (велосит) ГОСТ 22799-88	4,0..5,0	Высокоскоростные точные подшипники с частотой вращения $(15..20)\times 10^3$ об/мин, смазка поверхностей при высоких скоростях скольжения
Индустриальные И8А	6..8	Механизмы, работающие с малой нагрузкой при частоте вращения

		(10..15)×10 ³ об/мин.
МП-601 ТУ 38 101787-79 (-60)÷(180)	23	Чувствительные подшипники контрольно-измерительных приборов, узлы трения медицинской аппаратуры, шарикоподшипники микроэлектродвигателей
ВНИИ НП-6 ТУ 38 001168-79 (-50)÷(80)	9	Высокоскоростные и чувствительные подшипники осей подвеса авиационных приборов
138-8 (ОКБ 122-5) ГОСТ 18375-73 (-70)÷(100)	20	Малонагруженные подшипники в редукторах приборов, узлы трения счетно-решающих устройств

5. Основы расчета на прочность

5.1. Силы, действующие в механизмах

При проектировании механических узлов приборов важное значение имеет знание сил, действующих в различных точках механизма. Это необходимо для установления рациональных конструктивных форм деталей и расчета их на прочность и работоспособность, определения потерь мощности на трение и КПД механизма, вычисления требуемой мощности двигателя, а также для решения задач регулирования движения механизма и уравнивания движущихся масс.

Определение сил, действующих в механизме, можно проводить, используя графоаналитические и аналитические методы. Наиболее часто используется метод кинетостатики, сущность которого заключается в том, что если к внешним силам добавить силы инерции и моменты сил инерции звеньев, то система всех этих сил может рассматриваться как бы находящейся в равновесии (принцип Даламбера). При этом условии геометрическая сумма всех сил, действующих в механизме, будет равна нулю, и неизвестные силы могут быть определены методами статики:

$$\sum_{i=1}^n F_i = 0;$$

$$\sum_{i=1}^m M_i = 0,$$

где F_i - силы, действующие в механизме; M_i - моменты; n , m - количество сил и моментов.

К силам, приложенным к звеньям механизма, относятся: движущая сила ($F_{ДВ}$, $M_{ДВ}$), сила полезных сопротивлений ($F_{П.С.}$), силы вредных сопротивлений ($F_{В.С.}$) и силы тяжести звеньев (F_T). Под действием этих сил возникают реакции связей, действующие на элементы кинематических пар. При движении звеньев с ускорениями в силовой расчет механизма вводят силы инерции (в соответствии с принципом Даламбера).

Движущей силой $F_{дв}$ (или движущим моментом $M_{дв}$) называют силу (момент), действующую на ведущее звено механизма со стороны рабочего тела двигателя. Направление силы $F_{дв}$ и скорости V точки ее приложения или совпадают, или образуют острый угол ($0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$), поэтому сила $F_{дв}$ (момент $M_{дв}$) совершает полезную работу.

Силой полезного сопротивления $F_{пс}$ (моментом нагрузки) называется та сила (момент) для преодоления которой предназначен механизм. Направление этой силы противоположно или составляет острый угол с вектором скорости точки ее приложения, поэтому работа силы $F_{пс}$ отрицательна.

Силами вредного сопротивления $F_{вс}$ обычно бывают силы трения в кинематических парах и силы сопротивления среды (воздуха, воды и т. д.). Эти силы возникают при движении звеньев и совершают отрицательную работу. В некоторых механизмах силы трения могут быть движущими силами, например, во фрикционных передачах и муфтах.

Силы тяжести F_T звеньев приложены в центрах их тяжести. Работа сил тяжести звена $A_T = \pm F_T \cdot h$. Перемещение h центра тяжести звена отсчитывается по вертикали. При движении центра тяжести звена вниз работа A_T положительна, а при движении его вверх - отрицательна. При циклическом движении работа за полный цикл $A_T = 0$.

Силы инерции вводятся в расчет при движении звеньев с ускорениями. Величину $F_{и}$ каждого звена можно вычислить, если известны масса и момент инерции каждого звена, а также ускорения центра тяжести и угловые ускорения звена. Значения сил инерции могут превышать величину других действующих в механизме сил.

Реакции связей R действуют в кинематических парах механизмов. Каждую реакцию R можно разложить на две составляющие: одну N -нормальную к поверхностям, образующим кинематическую пару, и вторую $F_{тр}$ -силу трения, направленную в сторону, противоположную относительной скорости движения элементов кинематической пары. Сила трения и нормальная реакция связаны зависимостью

$$F_{тр} = N \cdot f,$$

где f -коэффициент трения.

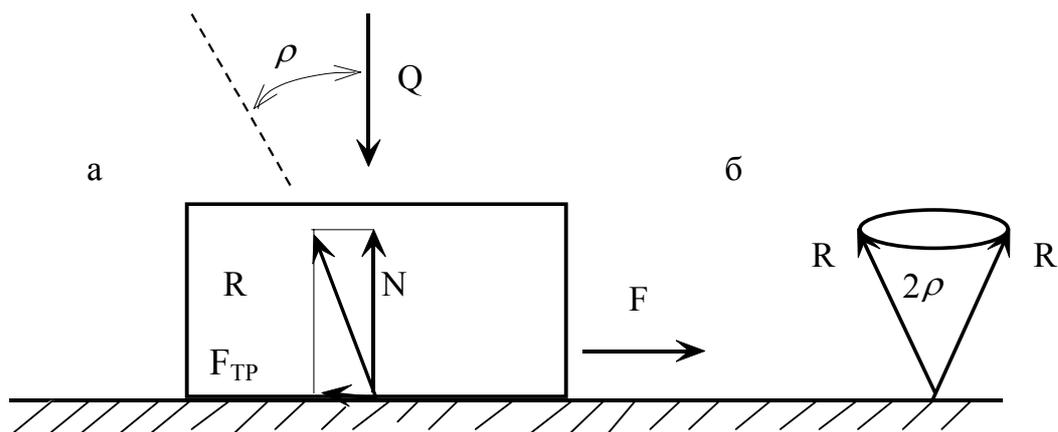


Рис. 5.1. Силы, действующие на тело, движущееся по плоскости

Величина коэффициента трения скольжения зависит от сочетания материалов поверхностей, качества обработки трущихся поверхностей, смазки и загрязнения поверхностей и в меньшей степени от скорости скольжения и удельного давления [1].

Величина коэффициента трения для сочетаний материалов, часто используемых в приборостроении, приводится в табл. 5.1 [1, 3, 10].

Таблица 5.1

Материал пар трения	f
Сталь - закаленная сталь	0.16-0.18
Сталь - бронза оловянистая	0.15-0.16
Сталь - латунь	0.14-0.19
Сталь - фторопласт	0.20-0.25
Сталь - нейлон	0.20-0.25
Сталь - дюралюминий	0.17-0.19
Сталь - агат, рубин, корунд	0.13-0.15

Иногда для упрощения расчетов вводят понятие угла трения ρ (рис. 5.1,б), который образуется между вектором полной реакции $R = F + N$ и вектором нормальной реакции N . Следовательно,

$$\operatorname{tg} \rho = \frac{F}{N} = \frac{fN}{N} = f,$$

$$\rho = \operatorname{arctg} f.$$

Трение на наклонной плоскости. В случае, когда тело под действием силы $F_{\text{дв}}$ собственного веса F_T движется вниз по наклонной плоскости (рис.5.2) с постоянной скоростью можно записать следующее соотношение

$$F_{\text{дв}} + F_T \sin \alpha = F_m = G \cos \alpha \cdot \operatorname{tg} \rho, \text{ откуда } F_{\text{дв}} = F_T \cdot (\cos \alpha \cdot \operatorname{tg} \rho - \sin \alpha)$$

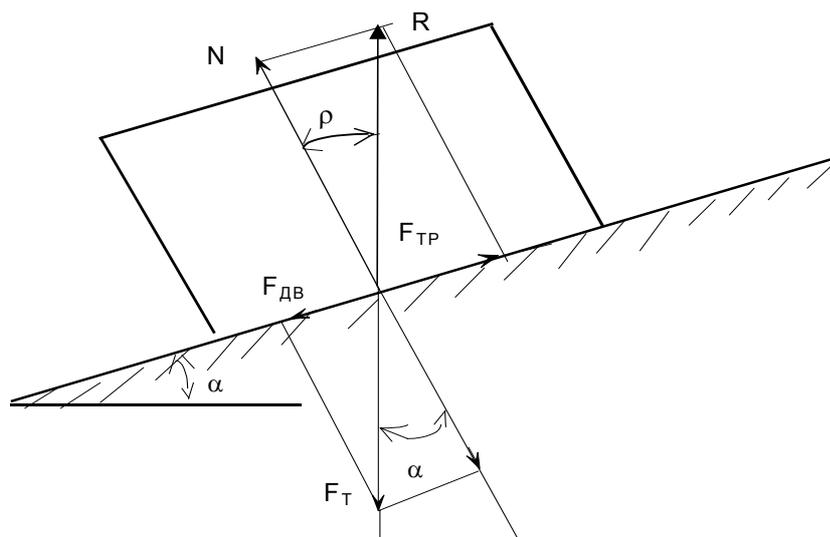


Рис. 5.2. Тело на наклонной плоскости

Под действием собственного веса тело будет двигаться равномерно по наклонной плоскости, когда $\alpha = \rho$.

5.1.1. Механические характеристики материалов

Механические характеристики материалов служат для количественной оценки свойств материалов, определяющих сопротивление деформациям при статическом и динамическом действиях нагрузок. Они используются при расчете деталей механических систем и элементов конструкций на прочность и жесткость в целях обеспечения их требуемой надежности и долговечности.

Определение механических характеристик для конкретного материала производится экспериментально, путем испытания стандартного образца круглого или прямоугольного сечения.

К основным механическим характеристикам, оценивающим упругие свойства, прочность и твердость материалов относятся:

E – модуль упругости при растяжении;

G – модуль упругости при сдвиге;

$\sigma_{п}$ – предел пропорциональности;

$\sigma_{в}$ – временное сопротивление (предел прочности при растяжении);

$\sigma_{т}$ – предел текучести;

σ_{-1} – предел выносливости при изгибе для симметричного цикла нагружения;

$\sigma_{у}$ – предел упругости – наибольшее напряжение, до которого материал не получает остаточных деформаций;

$\sigma_{к}$ – контактное напряжение;

ТКЛР – температурный коэффициент линейного расширения;

δ - относительное удлинение;

Определение значений механических характеристик для данного материала осуществляется путем растяжения стандартного образца. При постепенном растяжении образца регистрируется нагрузка и удлинение и строится диаграмма в координатах «напряжение – деформация». С помощью этой диаграммы (рис. 5.3) определяют механические характеристики материала.

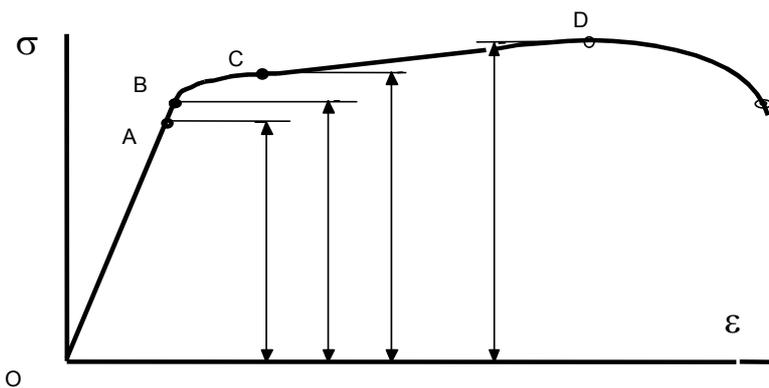


Рис. 5.3. Диаграмма «напряжение-деформация»

На участке ОА деформация растет пропорционально растягивающей нагрузке, при снятии нагрузки растяжение полностью исчезает. Напряжение, соответствующее точке А принято называть *пределом пропорциональности*

σ_{II} .

На участке АВ диаграмма становится криволинейной. Однако криволинейность не велика и деформация упругая, поэтому напряжение в этой точке называется *пределом упругости* $\sigma_{у}$. На участке ВС деформация растет быстрее нагрузки и в точке С материал начинает «течь». Напряжение соответствующее точке С называется *пределом текучести* $\sigma_{т}$. На участке СД внутренняя структура материала изменяется и сопротивление деформации вновь возрастает. Наибольшее напряжение, наблюдаемое в точке Д, принято называть *пределом прочности* или *временным сопротивлением* $\sigma_{в}$.

5.2. Внутренние силы, напряжения и деформации

Способность деталей противостоять внешним нагрузкам не разрушаясь, зависит от внутренних сил - сил, с которыми частицы тела действуют друг на друга. При расчетах на прочность необходимо выяснить характер и значение внутренних сил в деталях, находящихся под действием внешних нагрузок.

Для изучения внутренних сил применяют метод сечений, который позволяет внутренние силы переводить в разряд внешних и изучать их с помощью методов статики. Метод сечений заключается в том, что если тело находится в равновесии под действием системы внешних сил $F_1, F_2, F_3, \dots, F_n$ (рис. 5.4, а), то, отсекая мысленно, например, левую часть тела,

рассматриваем условия равновесия его правой части (рис. 5.4, б). На поверхности сечения должны действовать силы, эквивалентные действию левой части на правую. Это будут распределенные по сечению внутренние силы, но по отношению к правой части тела они будут внешними.

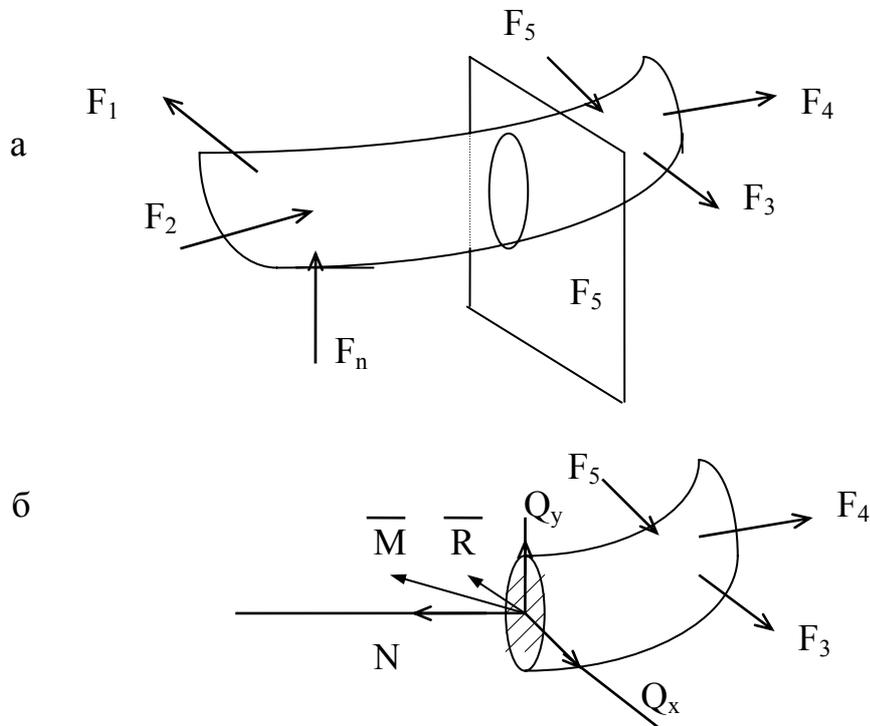


Рис.5.4. Внешние и внутренние силы

Числовой мерой внутренних сил, действующих в каждой точке сечения является напряжение P . В окрестности точки M в сечении тела (рис. 5.5) выделим площадку ΔA . равнодействующую внутренних сил, действующих на этой площадке, обозначим ΔR .

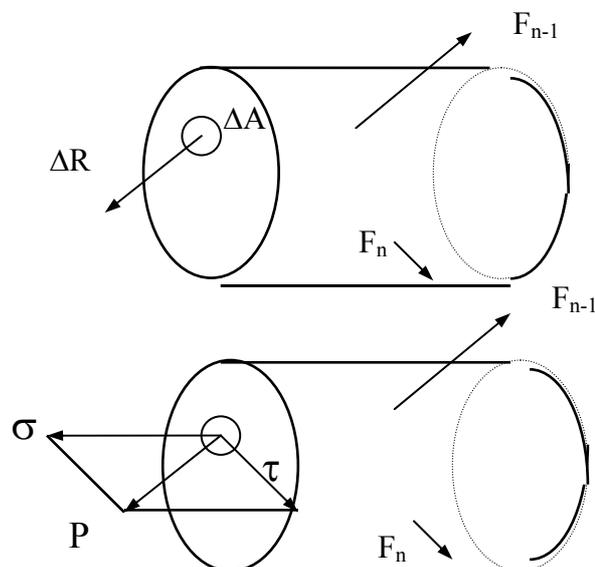


Рис. 5.5. Нормальные и касательные напряжения

Уменьшая площадку ΔA , в пределе получим полное напряжение в точке М:

$$\bar{P} = \lim \frac{\Delta R}{\Delta A}.$$

Направление вектора \bar{P} зависит от внешних сил, формы деталей и может быть произвольным.

Полное напряжение P может быть разложено на две составляющие: нормальную к плоскости сечения, обозначаемую σ - нормальное напряжение, и лежащую в плоскости сечения - τ , которую называют касательным напряжением.

Значения этих напряжений связаны формулой

$$P = \sqrt{\sigma^2 + \tau^2}.$$

Напряжение имеет размерность давления и выражается в Паскалях (Па) или чаще в кратных единицах - мегапаскалях (Мпа).

Для каждого материала существует предельно допустимое значение напряжений $[\sigma]$, $[\tau]$ и если в теле детали изготовленной из этого материала возникают напряжения, больше предельно допустимых, то деталь разрушается.

Задачей конструктора является обеспечить прочность детали, т.е. выполнить условие

$$\sigma \leq [\sigma]; \quad \tau \leq [\tau],$$

чтобы реальные напряжения σ , τ не превосходили предельно допустимых.

Все существующие в природе материалы не являются абсолютно жесткими и под действием внешних сил меняют свою форму и размеры - деформируются. Деформации могут быть упругими и пластическими. Детали механизмов работают в основном в области упругих деформаций, т.е. они восстанавливают свою форму и размеры после снятия нагрузки. В приборах широко используются пружины и упругие чувствительные элементы различной конструкции. В этом случае упругие свойства материалов выполняют полезную функцию. В других случаях деформация деталей приводит к изменению показаний приборов, т.е. к появлению погрешностей, особенно это касается элементов передачи движения в приборах.

Поэтому задачей конструктора наряду с обеспечением прочности является обеспечение достаточной жесткости.

В зависимости от вида нагружения напряжения и деформации разделяются на

растяжение и сжатие,
сдвиг (срез),
кручение,
изгиб.

Для расчета конструкций на прочность и жесткость используют ряд упрощений, основным из которых является приведение геометрической формы тела к схеме бруса или схеме оболочки.

Под брусом понимается тело, одно из измерений которого (длина) много больше двух других. Брус может иметь сечение и постоянное и переменное. В зависимости от формы оси брус может быть прямым, кривым и пространственно изогнутым.

Многие сложные конструкции могут рассматриваться состоящими из элементов, имеющих форму бруса.

Под оболочкой понимается тело, одно из измерений которого (толщина) значительно меньше двух других. Необходимость расчета оболочек при конструировании приборов возникает достаточно редко, поэтому рассмотрим далее напряжения и деформации бруса.

5.3. Центральное растяжение (сжатие) прямого бруса

Деформация прямолинейного бруса постоянного сечения от внешней нагрузки, действующей на концах и эквивалентной двум равным и противоположно направленным силам вдоль оси бруса, называется центральным растяжением или центральным сжатием бруса. Рассмотрим растяжение бруса постоянного сечения площадью S , распределенной нагрузкой интенсивностью q , приложенной на его торцах параллельно оси бруса (рис. 5.6, а).

Равнодействующие распределенных усилий $F = q \cdot S$ будут направлены вдоль оси бруса. Для такой деформации справедлива гипотеза плоских сечений, которая утверждает, что сечения бруса, плоские до деформации, остаются плоскими и после деформации бруса и получают лишь поступательное перемещение

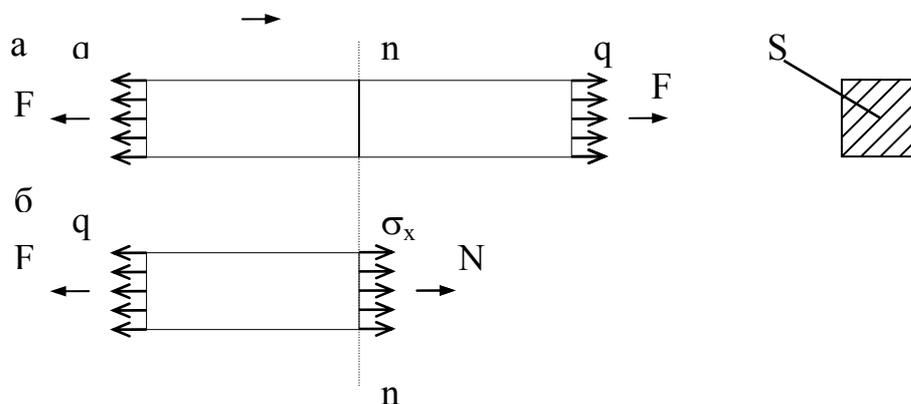


Рис.5.6. Напряжения при растяжении

. В соответствии с этой гипотезой предполагают, что внутренние силы будут распределены равномерно по любому сечению бруса. Рассмотрим равновесие части бруса, лежащей слева от сечения n-n. Внутренние силы, действующие в этом сечении с напряжением $\sigma_x = \text{Const}$, имеют равнодействующую N (рис. 5.6,б). Из условия равновесия $F = N$, или $F = q \cdot S = \sigma_x \cdot S$, откуда

$$\sigma_x = F/S.$$

Для деталей, работающих на растяжение, необходимо обеспечить условие

$$\sigma_x \leq [\sigma].$$

При растяжении нагрузкой с интенсивностью $q = \text{Const}$ по торцам брус удлиняется. Если до нагружения его длина была равна l , то после нагружения она станет равной $l + \Delta l$. Величину Δl называют абсолютным удлинением стержня. В первом приближении деформация стержня зависит только от напряжения, возникающего в стержне при действии нагрузки. В действительности на величину деформации влияют и другие факторы: температура, время действия нагрузки, “история” нагружения и др. Однако этих вопросов касаться не будем.

Если нагруженный стержень имеет постоянное сечение, то напряженное состояние является однородным и все участки растянутого стержня находятся в одинаковых условиях, то относительная деформация

$$\varepsilon = \Delta l / l$$

по оси стержня остается одной и той же, равной своему среднему значению по длине l .

Величину $\varepsilon = \Delta l / l$ называют относительным удлинением.

Связь между относительным удлинением и напряжением в сечении устанавливает закон Гука

$$\sigma = E \cdot \varepsilon. \quad (5.1)$$

Величина E представляет собой коэффициент пропорциональности, называемый модулем упругости первого рода. Модуль упругости является физической константой материала и определяется опытным путем. Величина E измеряется в тех же единицах, что и σ , т.е. в Па или МПа. Для наиболее часто применяемых в приборостроении материалов модуль упругости E имеет следующие значения [1, 3, 6, 9 10,]:

- сталь $(2.0 \dots 2.1) \cdot 10^5$ МПа,
- бронза $1.15 \cdot 10^5$ МПа,
- латунь $(0.91 \dots 0.99) \cdot 10^5$ МПа,
- алюминий и алюминиевые сплавы $(0.7 \dots 0.8) \cdot 10^5$ МПа.

При растяжении наряду с удлинением бруса наблюдается уменьшение его поперечных размеров, называемое абсолютным сужением $\Delta b = b - b_1$. Отношение абсолютного сужения к размеру поперечного сечения называется относительной поперечной деформацией $\nu = \Delta b / b$.

Относительная поперечная деформация пропорциональна относительному удлинению:

$$\nu = \mu \cdot \varepsilon.$$

Величина μ называется коэффициентом Пуассона, который, так же как и модуль упругости, является характеристикой свойств материала при его нахождении под нагрузкой

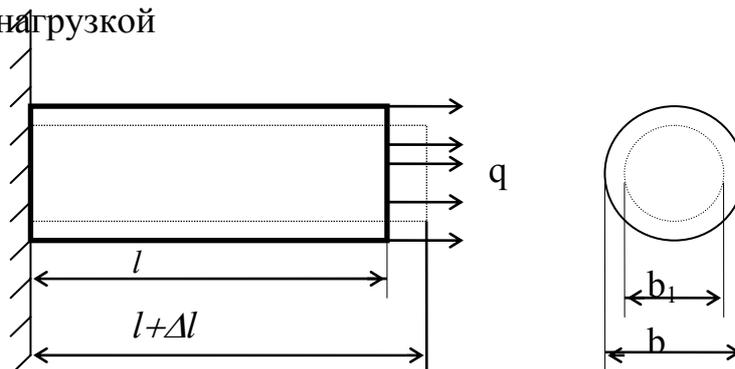


Рис. 5.7. Деформация при растяжении

. Коэффициент Пуассона для некоторых материалов равен [1, 6]:

сталь	0.24...0.28,
бронза	0.32...0.35,
латунь	0.32...0.42,
алюминий	0.32...0.36.

Если в формулу (5.1) подставить значения σ и ε , то получим другое выражение закона Гука

$$\frac{\Delta l}{l} = \frac{\sigma}{E} \quad \text{или} \quad \Delta l = \frac{P \cdot l}{E \cdot S} \quad (5.2)$$

Произведение $E \cdot S$ называют жесткостью бруса при растяжении. При решении многих практических задач необходимо наряду с деформациями от напряжений учитывать удлинения, связанные с изменением температуры. В этом случае пользуются методом наложения деформаций и деформацию ε рассматривают как сумму силовой и температурной деформаций:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} + \alpha \cdot \Delta t,$$

где Δt - изменение температуры бруса; α - температурный коэффициент линейного расширения материала (ТКЛР).

Абсолютное удлинение равно

$$\Delta l = P \cdot l / (E S) + l \cdot \alpha \cdot \Delta t.$$

При расчетах на прочность деталей, работающих на растяжение или сжатие, чаще всего применяют метод расчета по максимальному напряжению, возникающему в некоторой точке нагруженной конструкции. Это значение не должно превышать некоторого значения $[\sigma]$ для данного материала. Напряжение, определяемое по формуле :

$$[\sigma] = \sigma_B / n$$

называется допускаемым напряжением, где $n > 1$ - число, называемое коэффициентом запаса прочности. Если на прибор накладываются жесткие ограничения по массе, то $n = 1.3 \dots 2$. Основная расчетная формула при растяжении или сжатии принимает вид

$$\sigma = F/S \leq [\sigma]. \quad (5.3)$$

При известных нагрузке и допускаемом напряжении используя формулу (5.2), определяют требуемую площадь поперечного сечения стержня (бруса):

$$S = F / [\sigma].$$

Если же размер сечения известен, то по формуле (5.3) определяют действительное напряжение σ и сравнивают его с предельно допустимым $[\sigma]$ или определяют коэффициент запаса прочности $K = \sigma / [\sigma]$.

5.3.1. Напряжения в наклонных сечениях

Пусть некоторое наклонное сечение S_α составляет угол α с плоскостью нормального сечения S . Полное напряжение p для всех точек этого сечения будет одним и тем же, а равнодействующая всех внутренних сил наклонного сечения должна быть направлена по оси стержня и равна величине растягивающей силы $\sigma_x \cdot S$ т.е. $p S_\alpha = \sigma_x \cdot S$, где $S_\alpha = S / \cos \alpha$ - площадь косоуго сечения.

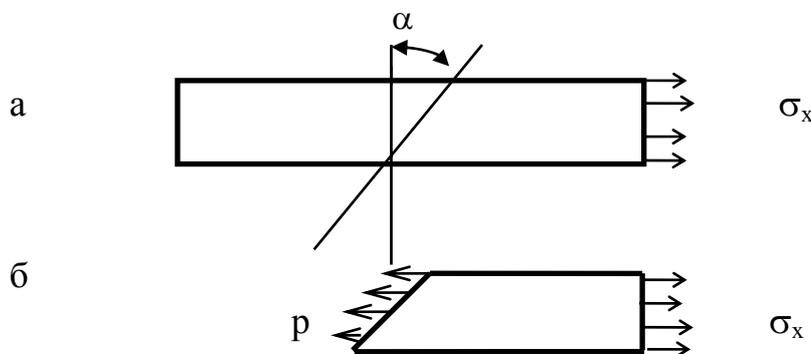


Рис. 5.8. Напряжения в наклонных сечениях

Полное напряжение в каждой точке наклонной площадки $p = \sigma_x S / S_\alpha = \sigma_x \cos^2 \alpha$. Раскладывая это напряжение по нормали и касательной (рис. 5.8, б), получаем

$$\sigma = p \cos \alpha = \sigma_x \cos^2 \alpha,$$

$$\tau = p \cdot \sin \alpha = \sigma \cdot \cos \alpha \cdot \sin \alpha = \frac{1}{2} \sigma \cdot \sin 2\alpha.$$

Нормальное напряжение имеет максимальное значение при $\alpha = 0$, $\sigma = \sigma_x$, $\tau = 0$. Касательное напряжение максимально при $\alpha = 45^\circ$, $\tau_{\max} = \sigma_x / 2$.

5.4. Сдвиг

Нормальные напряжения вызывают линейные деформации тела - растяжение и сужение тела. Касательные напряжения вызывают угловые деформации, называемые сдвигами. Сдвиги характеризуют изменение первоначально прямого угла между двумя взаимно перпендикулярными волокнами в деформированном теле.

Чистым сдвигом называется напряженное состояние, при котором имеют место только касательные напряжения.

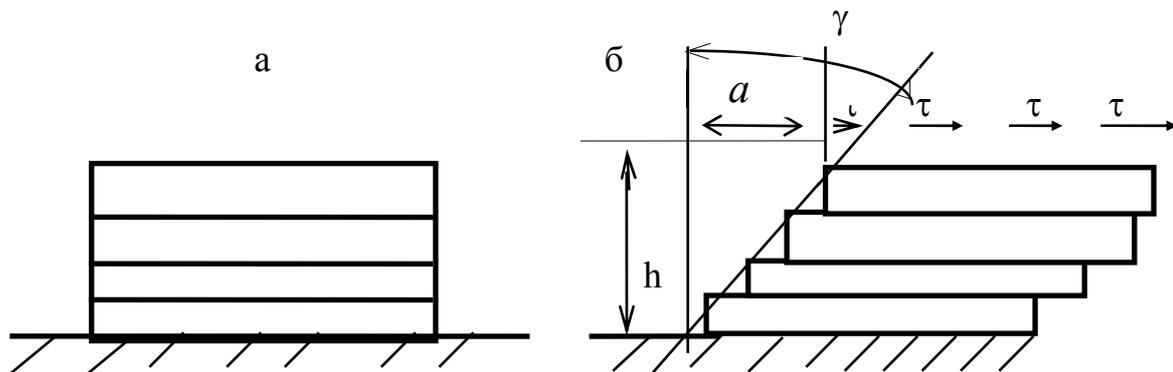


Рис. 5.9. Деформация сдвига

Схему деформации сдвига можно условно представить на деформации набора пластин под действием касательных усилий, приложенных к верхней пластине. После приложения нагрузки τ пластины сдвинутся относительно друг друга так, что высота h останется прежней, а вертикальная грань отклонится от своего первоначального положения на угол γ . Угол γ называется углом сдвига. Абсолютная деформация (сдвиг верхней пластины) характеризуется перемещением a пластины по высоте h . Относительная деформация, или относительный сдвиг, при малых углах γ будет равен

$$a / h = \operatorname{tg} \gamma \cong \gamma.$$

Касательное напряжение, появляющееся в материале тела при сдвиге, пропорционально углу сдвига γ :

$$\tau = G \cdot \gamma, \quad (5.4)$$

где G - коэффициент пропорциональности, называемый модулем сдвига второго рода. Соотношение (5.4) носит название закона Гука для сдвига.

Искажение прямых углов элемента деформированного тела под действием растягивающих усилий происходит за счет удлинений и укорочений элементов во взаимно перпендикулярных направлениях. Рассматривая связь между относительным сдвигом элементов тела и их линейными деформациями при растяжении, можно выразить модуль сдвига через модуль упругости E :

$$G = E / [2(1+\nu)],$$

где ν - коэффициент Пуассона.

Расчетом на сдвиг проверяют прочность соединений болтовых, заклепочных, сварных швов при действии сил, лежащих в плоскости поперечного сечения.

Разрушение детали под действием касательных напряжений называется срезом. Условие прочности детали, работающей на срез, имеет вид

$$\tau = F/S \leq [\tau],$$

где $[\tau] = (0.5...0.6)[\sigma]$ - допускаемое напряжение на срез; $[\sigma]$ - допускаемое напряжение растяжения. Иногда допускаемое напряжение на срез $[\tau]$ для различных видов нагружения приводится в литературе [8].

5.5. Напряжения и деформации при изгибе

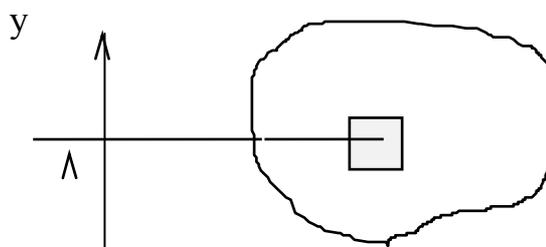
При растяжении, сжатии и чистом сдвиге для расчета на прочность достаточно знать площадь поперечного сечения тела. При других видах деформаций, например, при изгибе и кручении, прочность характеризуется не только размерами сечения, но и его формой. К геометрическим характеристикам, учитывающим этот фактор, относятся статические моменты инерции плоских сечений.

Осевым моментом инерции сечения называют взятую по всей площади сечения сумму произведений элементарных площадок на квадраты их расстояний до оси.

Осевые моменты инерции выражаются формулами:

$$I_z = \int_A y^2 \cdot dA, \quad I_y = \int_A z^2 \cdot dA,$$

где A - площадь плоской фигуры сечения, dA - элемент площади.



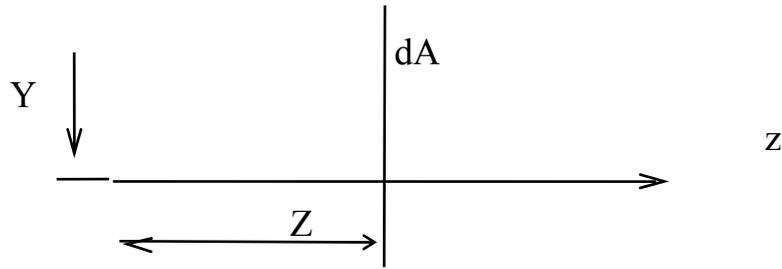
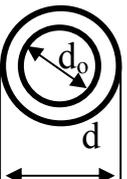
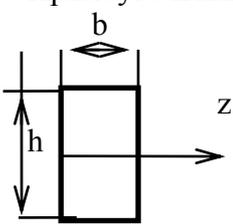


Рис. 5.10. Определение моментов инерции сечения

Таблица 5.2

Моменты инерции и моменты сопротивления изгибу простых фигур

Форма сечения	Осевой момент инерции	Момент сопротивления при изгибе
Круг сплошной 	$I_z = \pi d^4 / 64$	$W_z = \pi d^3 / 32 \approx 0.1 d^3$
Кольцо 	$I_z = \pi / 64 (d^4 - d_0^4)$	$W_z = \pi (d^4 - d_0^4) / 32 d$
Прямоугольник 	$I_z = b h^3 / 12,$	$W_z = b h^2 / 6$

Значения моментов инерции простейших фигур, а также прокатных профилей приводятся в литературе [1, 6, 12].

Полярным моментом инерции I_p относительно полюса называют взятую по всей площади сечения сумму произведений элементарных площадок на квадраты их расстояний до данного полюса

$$I_p = \int_A p^2 dA .$$

В табл.5.2 приведены значения осевых моментов инерции I_z и моментов сопротивления изгибу W_z для наиболее часто встречающихся сечений.

Под изгибом понимаем такой вид нагружения, при котором в поперечных сечениях бруса возникают изгибающие моменты, действующие в плоскости

перпендикулярной плоскости поперечного сечения. При этом ось бруса деформируется. Брус, закрепленный на опорах и работающий в основном на изгиб, называется **балкой**. Опоры балок могут быть трех видов. Их условные изображения приведены на рис. 5.11.

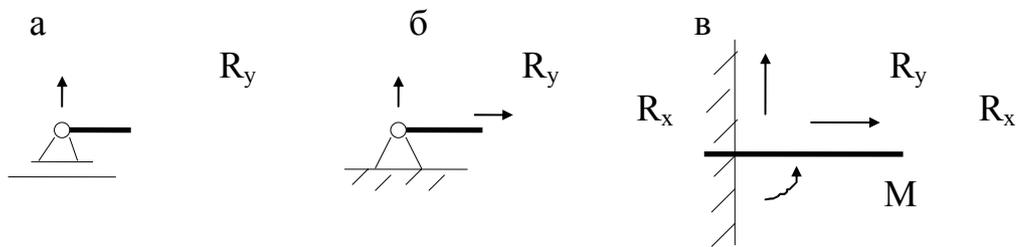


Рис. 5.11. Опоры балок

Подвижная шарнирная опора не препятствует вращению конца балки и перемещению вдоль плоскости изгиба. Эта опора препятствует только вертикальному перемещению и передает на балку сопротивление этим перемещениям в виде реакций R_y (рис. 5.11, а).

Неподвижная шарнирная опора допускает вращение конца балки, но препятствует линейным перемещениям и передает на балку сопротивление этим перемещениям в виде реакций R_y, R_x (рис. 5.11, б)

Жесткая заделка препятствует перемещениям по осям координат и повороту заделанного конца. Жесткая заделка передает на балку сопротивление этим перемещениям в виде реакций R_x, R_y и момента M (рис. 5.11, в).

При известных внешних нагрузках опорные реакции балок определяются методами статики, а для статически неопределимых балок составляют дополнительные уравнения деформаций. Рассмотрим законы изменения внутренних силовых факторов в сечениях балок. В качестве примера рассмотрим балку на двух опорах, показанную на рис. 5.12, а.

Из уравнений статики определяются значения и направления реакций опор при известной силе F и расстояниях a и b . По условию равновесия реакций в опорах А и Б

$$R_{ax} = 0; \quad R_{ay} = Fb/(a + b) \quad R_{by} = Fa/(a + b).$$

Отбрасывая опоры и заменяя их действие реакциями, приходим к расчетной схеме, показанной на рис. 5.12, б. На расстоянии x от левой опоры проведем сечение С и разделим балку мысленно на две части. Чтобы каждая часть балки была в равновесии, в сечении С нужно приложить силу Q и момент $M_{изг}$ (рис. 5.12, в). Эти силовые факторы определяют из условия равновесия частей балки. Для левой части балки

$$R_{ay} + Q = 0; \quad R_{ax} = 0; \quad R_{ay}x - M_{изг} = 0,$$

откуда

$$Q = R_{Ay} = -F b/(a + b); \quad M_{изг} = R_{Ay}x = Fbx/(a + b).$$

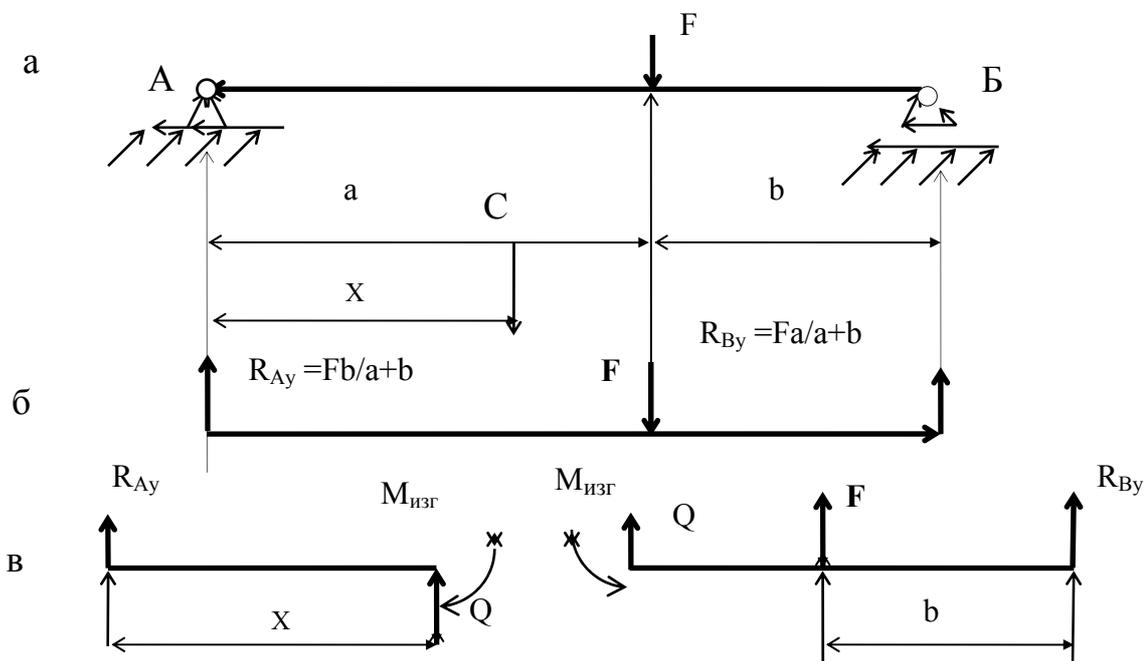


Рис. 5.12. Балка на двух

Соответственно для правой части балки

$$F - R_{By} - Q = 0; \quad M_{изг} = F(a - x) - R_{By} = (a - x + b),$$

откуда

$$Q = F - R_{By} = F - F \frac{a}{a+b} = F \frac{b}{a+b};$$

$$M_{изг} = F(a - x) - F \frac{a}{a+b} (a + b - x) = -F \frac{b}{a+b} x.$$

Таким образом, в сечении С внутренние факторы сводятся к перерезывающей силе Q и изгибающему моменту $M_{изг}$. При этом знаки внутренних факторов Q и $M_{изг}$ в разных частях балки получились противоположными, а их числовые значения - одинаковыми. Следовательно, для определения Q и $M_{изг}$ достаточно рассмотреть равновесие лишь одной части балки. Изгибающий момент в сечении равен сумме моментов всех сил, расположенных по одну сторону сечения, а перерезывающая сила равна сумме всех сил, расположенных по эту сторону сечения. Изгибающие моменты будем считать положительными, если они изгибают балку так, что сжатые слои будут находиться сверху (выпуклостью вниз), и отрицательными, если сжатые слои снизу (выпуклостью вверх). Поперечную силу будем считать положительной, если равнодействующая внешних сил, действующих слева от сечения, направлена вверх, а действующих справа - вниз.

Для построения графиков изменения поперечных сил и изгибающих моментов балку разбивают на участки, на которых нагрузка однородна. В рассматриваемом примере (см. рис. 5.13) таких участков два: первый, где x меняется от нуля до a , и второй, где x меняется от a до $(a + b)$ (рис. 5.13, а).

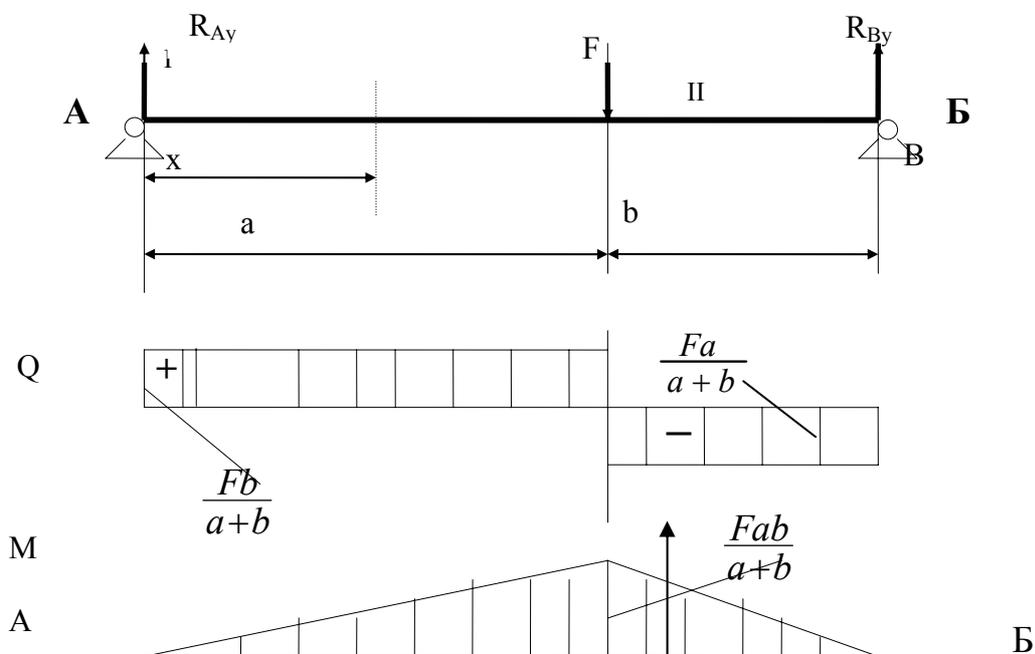


Рис. 5.13. Силы моменты, действующие в сечении балки

На участке 1 поперечная сила и момент имеют следующие значения:

$$Q_1 = R_{Ay} = F b / (a + b);$$

$$M_{изг1} = R_{Ay} x = F b x / (a + b).$$

В пределах участка 1 поперечная сила постоянна, а момент линейно растет от нуля до значения $M_{изг} = Fba/(a + b)$.

На участке II эти факторы имеют значения:

$$Q_2 = R_{Ay} - F = - Fa / (a + b);$$

$$M_{изг2} = R_{Ay} x - F(x - a) = Fa - Fax / (a + b).$$

Поперечная сила постоянна, а момент уменьшается по линейному закону до нуля в точке В. Эпюра поперечной силы $Q(x)$ изображена на рис. 5.13, б. В точке приложения сосредоточенной силы функция $Q(x)$ имеет разрыв, изменяясь на значение прикладываемой силы F . Эпюра момента $M_{изг}(x)$ изображена на рис. 5.13, в. В точке приложения сосредоточенной силы график функции $M_{изг}(x)$ имеет излом.

Рассмотрим построение эпюр Q и $M_{изг}(x)$ у балки длиной l на двух опорах, нагруженной равномерно распределенной нагрузкой

интенсивностью q (рис. 5.14, а). Из уравнений статики находим реакции опор $R_A = R_B = q l / 2$.

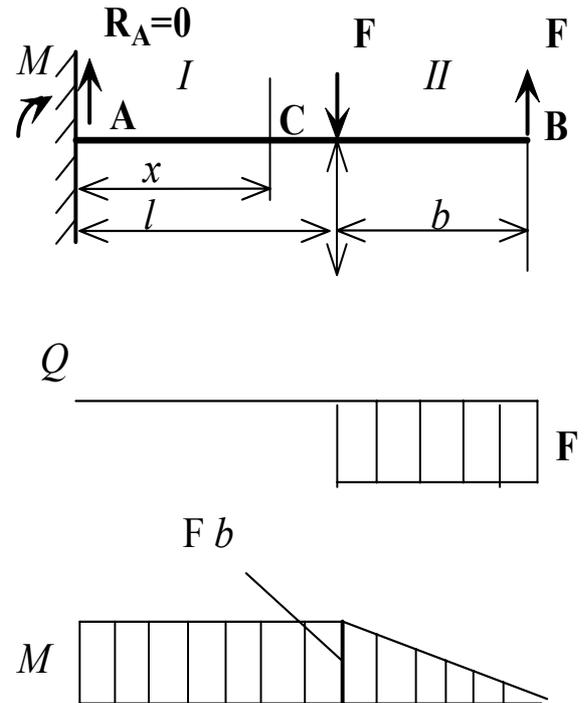
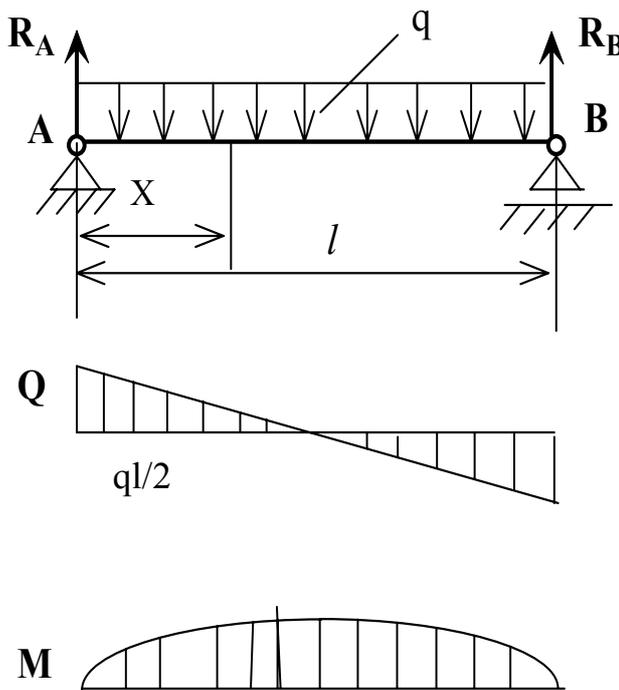
Рассматривая сечение балки с координатой x , находим силовые факторы в сечении:

$$Q_c = R_A - qx = ql/2 - qx;$$

$$M_{изг} = R_A x - qx dx / 2 = qlx/2 - qx^2/2.$$

Рис. 5.14 Балка на двух опорах

Рис. 5.15. Консольная балка



При $x = l/2$ имеем $M_{изг \max} = ql^2/2$.

Эпюры $Q(x)$ и $M(x)$ показаны, соответственно, на рис. 5.14, б, в.

Наконец рассмотрим построение эпюр для консольной балки с заделкой (рис.5.15, а). Консольной балкой называют балку, закрепленную одним концом; консоль называют часть балки, выходящую за опору.

Балку можно разбить на участки I и II. Для построения эпюр в данном случае нет необходимости определять реакции опоры. Достаточно брать сумму сил и моментов с правой стороны сечения C:

на участке I $Q(x) = 0$; $M_{изг}(x) = F(a + b - x) - F(a - x) = Fb$;

на участке II $Q(x) = F$; $M_{изг}(x) = F(a + b - x) = F(a + b) - Fx$.

Построение эпюр показано на рис. 5.15, б. Эпюры показывают, что на участке I происходит чистый изгиб, а на участке II - поперечный изгиб.

Рассматривая построенные для трех разобранных примеров эпюры, нетрудно подметить определенную связь между эпюрами изгибающих моментов и поперечных сил: поперечная сила $Q(x)$ представляет собой производную от изгибающего момента $M_{изг}(x)$ по длине балки. Это можно доказать следующим образом.

Рассмотрим элемент балки длиной dx и нагруженный распределенной нагрузкой q (рис. 5.16). На концах элемента приложим изгибающие моменты M и $(M+dM)$ и поперечные силы Q и $(Q+dQ)$. Составляя уравнение равновесия для элементов балки, получим

$$Q + q dx - Q - dQ = 0;$$

$$M + Q dx + q dx \cdot dx / 2 - M - dM = 0.$$

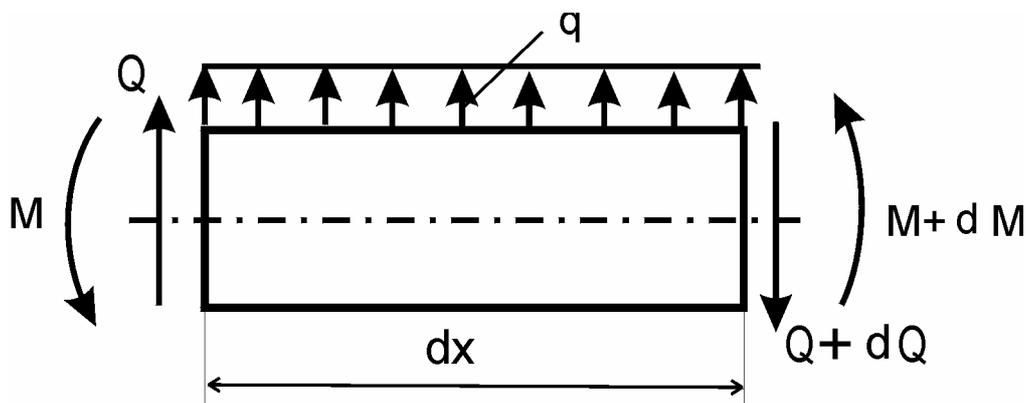


Рис. 5.16. Элемент балки

Отсюда, если отбросить $q dx^2/2$ - величину высшего порядка малости, получим

$$dQ/dx = q(x); \quad (5.5)$$

$$dM/dx = Q(x). \quad (5.6)$$

Формулы (5.5, 5.6) используются для контроля построенных эпюр. В точках приложения сосредоточенных сил эпюра $Q(x)$ претерпевает скачек на значение внешней силы, а эпюра M_x претерпевает излом. На участках между точками приложения сил, если $q(x) = 0$, сила $Q = \text{const}$, а момент $M(x)$ является линейной функцией. На участке балки с нагрузкой интенсивностью $q = \text{const}$ эпюра Q будет линейной, а эпюра $M(x)$ - квадратичной параболой.

5.5.1 Напряжения при чистом изгибе

Чистым изгибом называется нагружение, при котором единственным силовым фактором является изгибающий момент. В любом сечении бруса изгибающий момент один и тот же, и изменение кривизны для всех участков будет одинаковым. Поэтому при чистом изгибе ось бруса принимает форму дуги окружности.

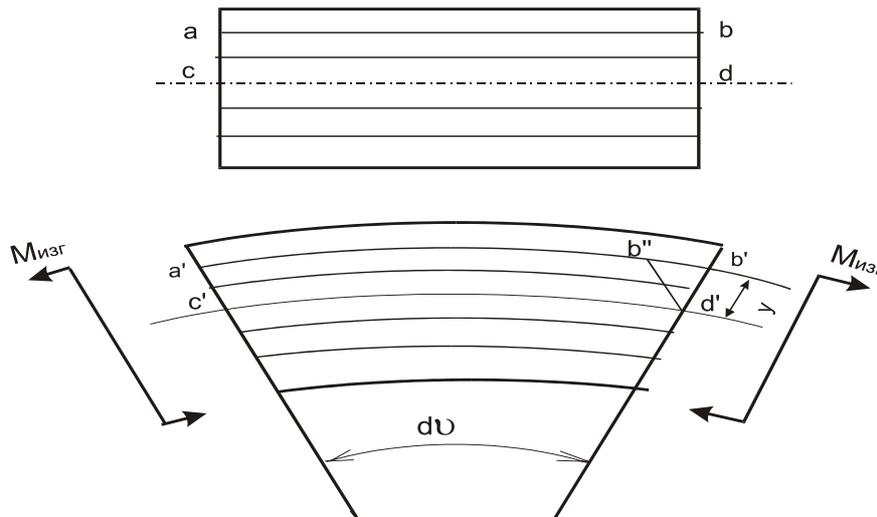


Рис. 5.17. Деформация при изгибе

Если на боковой поверхности бруса нанести сетку, то можно увидеть, что на выпуклой стороне волокна удлиняются - в материале имеют место напряжения растяжения. На вогнутой стороне волокна укорачиваются - следовательно, имеются напряжения сжатия, и есть волокна, длина которых не изменилась - следовательно напряжения в них отсутствуют. На рис. 5.17 это слой cd , который называется нейтральным слоем. Наибольшие деформации испытывают волокна, наиболее удаленные от нейтральной линии. Относительное удлинение слоя ab , отстоящего от нейтральной линии на расстоянии y , равно:

$$\varepsilon = \frac{bb'}{ab} = \frac{bb'}{cd} = \frac{y \cdot d\theta}{\rho \cdot d\theta} = \frac{y}{\rho},$$

где y - расстояние от нейтральной линии до рассматриваемого волокна, ρ - радиус кривизны.

В соответствии с законом Гука напряжения пропорциональны деформации

$$\sigma_z = E \cdot \varepsilon = E \cdot y / \rho. \quad (5.7)$$

Для определения напряжений составим уравнения равновесия внешнего изгибающего момента M_z и момента внутренних сил, который равен интегралу по площади сечения от произведения напряжения в точке на расстояние от точки до нейтральной линии:

$$M_z = \int_A y \cdot \sigma \cdot dA, \text{ или } M_z = E / \rho \int_A y^2 \cdot dA = E \cdot I_z / \rho.$$

Здесь I_z - момент инерции сечения относительно оси Z . Таким образом, кривизна балки

$$\frac{1}{\rho} = M_{изг} / (E I_z).$$

(5.8)

Тогда подставив $1/\rho$ в выражение для σ , получим

$$\sigma = E \cdot y / \rho = M_{изг} \cdot y / I_z \quad (5.9)$$

Максимальное напряжение будет в наиболее удаленных от нейтрального слоя точках сечения.

Отношение $I_z/y_{\max} = W_z$ называется моментом сопротивления при изгибе, тогда

$$\sigma_{\max} = M_{изг} / W_z.$$

Если обозначить $[\sigma_{и}]$ - допускаемое напряжение при изгибе, то формула для расчета на прочность при изгибе примет вид

$$\sigma = M_{изг} / W_z \leq [\sigma_{и}] \quad (5.10)$$

Из формулы видно, что более выгодными являются формы поперечных сечений с наибольшим моментом сопротивления W_z при наименьшей затрате материала. Это возможно, если наибольшая часть площади сечения будет удалена от нейтральной оси, как, например, у двутавровых балок, коробчатых конструкций, труб и т.д.

5.5.2. Определение перемещений при изгибе

Перемещения при изгибе определяются прогибом балки y и углом поворота сечения ψ (рис 5.18), которые можно найти, используя выражение (5.8) для кривизны бруса:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{M}{E \cdot I_z}.$$

В неподвижной системе координат XU кривизна линии, заданной уравнением $y = y(x)$, определяется по формуле:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{d^2y}{dx^2} / \left[1 + \left(\frac{dy}{dx} \right)^2 \right]^{3/2}.$$

В случае малых перемещений тангенс угла наклона $\text{tg } \vartheta = \frac{dy}{dx}$ весьма мал по сравнению с единицей, поэтому можно им пренебречь и принять

$$\frac{1}{\rho} \approx \frac{d^2y}{dx^2},$$

откуда

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{M_{\text{изг}}}{EI_z}. \quad (5.11)$$

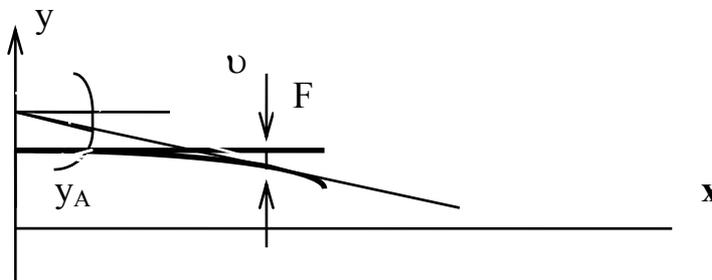


Рис. 5.18. Изгиб балки

Величина EI_z называется жесткостью бруса при изгибе. Прогиб и угол поворота сечения находят, интегрируя выражение (5.11). Чтобы определить полную деформацию бруса, нагруженного произвольным образом внешними силами и моментами, необходимо построить эпюры изгибающих моментов, разделить брус на участки с однородной нагрузкой и для каждого участка записать уравнение (5.11), в котором момент $M_{\text{изг}}$ будет определенной функцией x . Эти уравнения интегрируют, а произвольные постоянные, необходимые при интегрировании, определяют из условия, что на границах участков с однородной нагрузкой перемещения и углы наклона сечений одинаковы.

В качестве примеров можно рассмотреть деформацию балки, закрепленной консольно (рис. 5.19) и шарнирно опертой на концах (рис.5.20), что часто бывает в конструкциях машин и приборов.

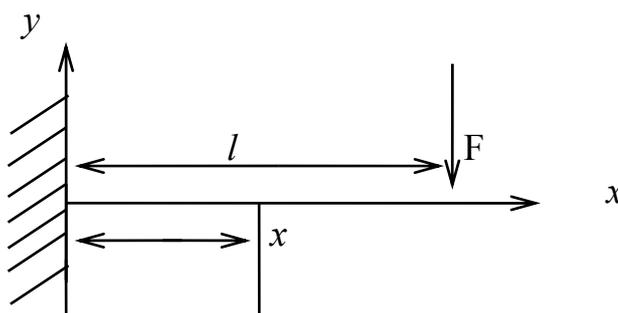


Рис. 5.19. Деформация консольной балки

Пример 1. Составим уравнение упругой линии балки, нагруженной на конце сосредоточенной силой F (рис. 5.19). Поместим начало координат x в заделке. Изгибающий момент в сечении x равен

$$M = P (l - x).$$

После интегрирования получаем, что наибольшее перемещение, имеющее место в точке приложения силы P равно

$$y_{\max} = \frac{P \cdot l^3}{3EI_z} ; \quad \upsilon_{\max} = -\frac{Pl^2}{2EI_z}.$$

Пример 2. двухопорная балка длиной l (рис. 5.20) нагружена силой F , приложенной на расстоянии a от левой опоры. Найти перемещение точки приложения силы.

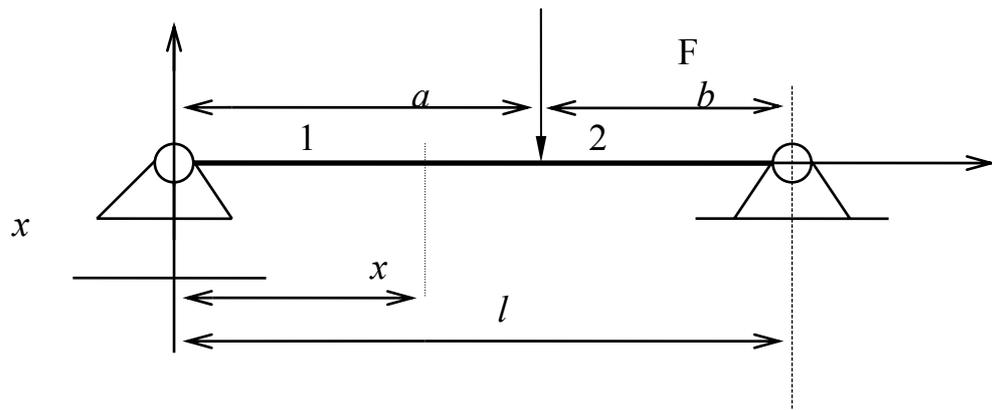


Рис. 5.20. Деформация двухопорной балки

Начало координат располагаем на левой опоре. Изгибающий момент на первом и втором участках бруса определяются выражениями

$$M_1 = F \frac{b}{l} x, \quad M_2 = P \frac{b}{l} x - F(x - a).$$

Перемещение балки на этих участках находим, интегрируя выражения для кривизны

$$\frac{d^2 y_1}{dx^2} = \frac{F \cdot b \cdot x}{l \cdot E \cdot I_z}, \quad \frac{d^2 y_2}{dx^2} = \frac{F(ax - lx + la)}{l \cdot E \cdot I_z}.$$

После интегрирования находим

$$y_1 = \frac{F}{E \cdot I_z} \left(\frac{b}{l} \frac{x^3}{6} + c_1 x + c_2 \right),$$

$$y_2 = \frac{F}{E \cdot I_z} \left(\frac{b}{l} \frac{x^3}{6} - \frac{x^3}{6} + a \frac{x^2}{2} + c_3 x + c_4 \right).$$

Постоянные интегрирования определяем из условия непрерывности при переходе с первого участка на второй, т.е.

$$\begin{aligned} \text{при } x = 0 & \quad y_1 = 0, \\ \text{при } x = a & \quad y_1 = y_2 \text{ и } \dot{y}_1 = \dot{y}_2, \\ \text{при } x = l & \quad y_2 = 0. \end{aligned}$$

Из этих условий находим

$$c_1 = \frac{a}{6l} (3al - 2l^2 - a^2), \quad c_2 = 0,$$

$$c_3 = \frac{a}{6l} (2l^2 + a^2), \quad c_4 = a^3/6.$$

Следовательно

$$y_1 = \frac{F}{E \cdot I_z} \left[\frac{b}{1} \frac{x^2}{6} + \frac{ax}{6l} (3al - 2l^2 - a^2) \right],$$

$$y_2 = \frac{F}{E \cdot I_z} \left[\frac{x^3}{6} \left(\frac{b}{1} - 1 \right) + \frac{ax^2}{2} - x \frac{a}{6l} (2l^2 + a^2) + \frac{a^2}{6} \right].$$

В точке приложения силы

$$y_1 = y_2 = -\frac{Fa^2}{3E \cdot I_z l} (1 - a)^2.$$

Если сила приложена посередине, то

$$y_1 = y_{\max} = -\frac{Fl^3}{48E \cdot I_z}.$$

Координата y в точке приложения силы оказывается отрицательной, т.е. брус прогибается в сторону, противоположную положительному направлению оси y .

5.6. Кручение

Под кручением понимается такой вид нагружения, при котором в поперечных сечениях бруса возникает только крутящий момент, а прочие силовые факторы равны нулю.

При такой деформации поперечные сечения бруса остаются плоскими, а расстояние между ними не меняется. Поперечные сечения поворачиваются вокруг оси бруса на некоторые углы. При этом образующие обращаются в винтовые линии (рис.5.21, а).

Рассмотрим элемент деформированного бруса в виде диска толщиной dx (рис.5.21, б). Образующая AB после закручивания на угол φ занимает новое положение AB' . Между углом сдвига γ и углом поворота сечения $d\varphi$ на длине dx имеется следующая зависимость

$$BB' = r \cdot d\varphi,$$

откуда

$$\gamma = r \cdot d\varphi / dx.$$

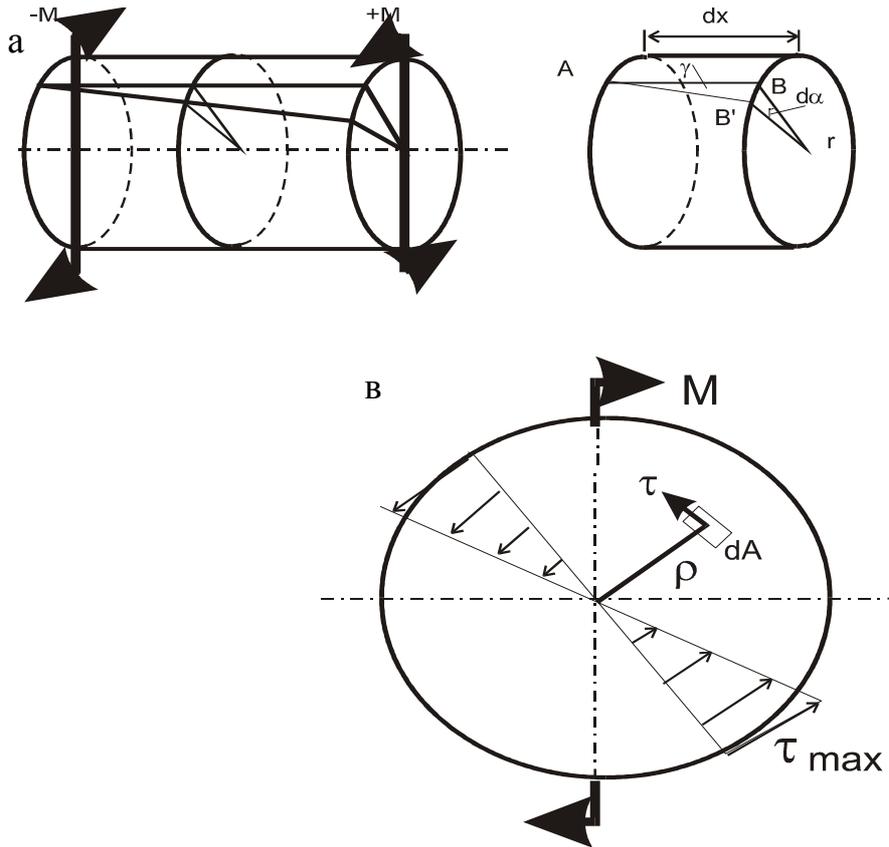


Рис. 5.21. Кручение

Деформация внутри бруса на расстоянии ρ от его оси равна $\gamma = \rho \cdot d\varphi / dx$.

По закону Гука можно записать

$$\tau = G\gamma, \text{ или } \tau = G \cdot \rho \, d\varphi / dx \quad (5.12)$$

Касательные напряжения τ меняются по сечению линейно от нуля до максимального значения на поверхности бруса

$$\tau_{\max} = G \cdot r \cdot d\varphi / dx. \quad (5.13)$$

Эпюра касательных напряжений показана на рис. 5.21, в. Условие равновесия бруса, находящегося под действием крутящего момента M и касательных напряжений τ в сечении, имеет вид

$$M = \int \tau \cdot \rho \cdot dS.$$

Учитывая зависимость (5.12), получаем

$$M = \int_s G \rho^2 \frac{d\varphi}{dx} dS = G \frac{d\varphi}{dx} \int_s \rho^2 dS \quad (5.14)$$

Интеграл $\int_s \rho^2 \cdot dS$ является полярным моментом инерции сечения.

Для круглого кольцевого сечения $I_p = \pi(d^4 - d_0^4)/32$, где d - наружный диаметр, d_0 - внутренний диаметр сечения.

Уравнение (5.14) можно записать как

$$G \cdot d\varphi / dx = Mr / I_p. \quad (5.15)$$

Величина I_p/r называется полярным моментом сопротивления и обозначается W_p . Для сплошного круглого сечения

$$W_p = \pi d^3 / 16 \approx 0.2 d^3.$$

Формулу для определения максимального касательного напряжения, которое определяет прочность конструкции, можно переписать в следующем виде:

$$\tau_{\max} = M \cdot r / W_p. \quad (5.16)$$

Величина $d\varphi / dx = \theta$ называется относительным углом закручивания. Из формулы (5.15) имеем

$$\theta = M \cdot r / (I_p G).$$

Значение полного угла поворота сечения относительно другого, находящегося от него на расстоянии l , получают, интегрируя уравнение $d\varphi = (M / I_p G) dx$ в пределах от нуля до l .

$$\varphi = M \cdot l / (GI_p)$$

5.7. Местные напряжения при сжатии упругих тел

Работоспособность многих деталей механизмов ограничена недостаточной прочностью поверхностных слоев в местах их контакта. Обычно у таких деталей нагрузки передаются через малые участки поверхности и вызывают в зоне контакта большие контактные напряжения. Это происходит, например, в подшипниках качения, в зубчатых колесах, фрикционных колесах.

Вопрос о деформациях и напряжениях решается методами теории упругости. При этом известными являются силы контактного давления и форма поверхностей соприкасающихся тел. При сжатии тел сферической формы (рис.5.23) площадка контакта имеет форму круга. Радиус этой площадки в мм определяется по формуле

$$a = 1.109 \sqrt[3]{F \cdot \rho_n} / E_n,$$

где $\rho_n = R_1 R_2 / (R_2 \pm R_1)$ [мм], $E_n = 2E_1 E_2 / (E_1 + E_2)$ [Мпа].

Давление на площадке контакта распределяется неравномерно. Наибольшее давление будет в центре площадки. Это давление определяется по формуле:

$$\sigma_{\max} = 0.388 \sqrt[3]{F \cdot E_n^2} / \rho_n^2 \leq [\sigma_k]$$

При сжатии двух цилиндров радиусами R_1 и R_2 и длиной l (рис. 5.22) силой F площадка имеет вид полоски шириной b , ограниченной параллельными линиями.

Ширина полоски b в мм определяется по формуле:

$$b = 3.04\sqrt{F \cdot \rho_n / E_n l}, \text{ или } b = 3.04\sqrt{q \cdot \rho_n / E_n},$$

где $q = F/l$ - удельная нагрузка на единицу длины или интенсивность нагрузки.

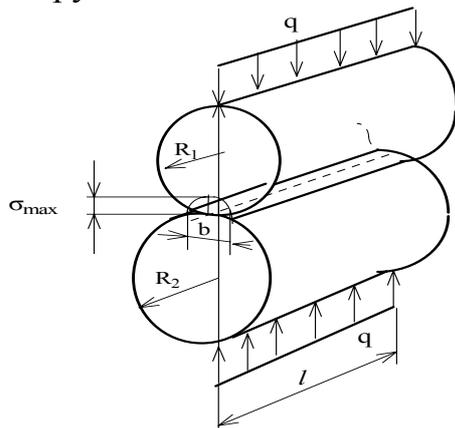


Рис. 5.22. Сжатие цилиндров

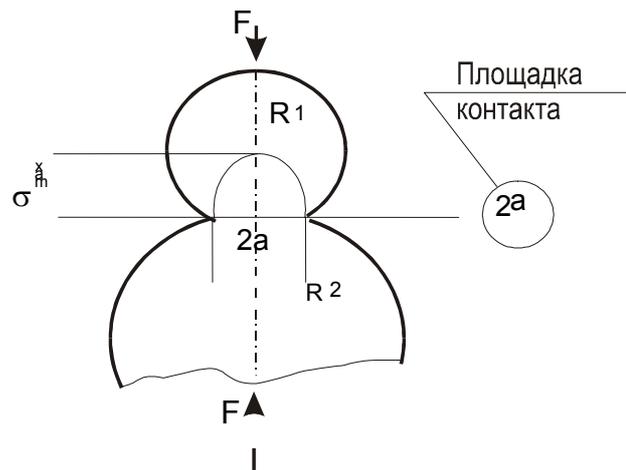


Рис. 5.23 Сжатие шаров

Наибольшее давление в середине полоски контакта:

$$\sigma_{\max} = \sqrt{E_n q} / [2\pi(1-\nu)\rho_n].$$

Для материалов с коэффициентом Пуассона $\nu = 0.3$ имеем

$$\sigma_{\max} = 0.418\sqrt{q \cdot E_n / \rho_n} \text{ [Мпа]}.$$

Условием контактной прочности будет:

$$\sigma_{\max} \leq [\sigma_k],$$

$[\sigma_k]$ – допускаемое контактное напряжение материала детали, величину которого можно задать: $[\sigma_k] = 2.6 \text{ НВ}$, где НВ - твердость материала по Бринелю.

Основные зависимости теории сопротивления материалов, используемые при расчете конструкций на прочность и жесткость

А. Растяжени сжатие: напряжение $\sigma = \frac{F}{S} \leq [\sigma]$;

$$\text{удлинение } \Delta l = \frac{\sigma}{E} \cdot l.$$

Б. Изгиб: напряжение $\sigma_{\max} = \frac{M_{\text{изг}} \cdot h}{I_z} \leq [\sigma]$;

кривизна $\frac{1}{\rho} = \frac{M_{\text{изг}}}{E \cdot I_z}$.

Прогиб: консольно закрепленной балки $y = \frac{M_{\text{изг}} l^2}{2EI_z}$;

шарнирно опертой, нагруженной силой F
посередине

$$y = \frac{F \cdot l^3}{48EI_z}.$$

В. Кручение:

напряжение $\tau = M_{\text{кр}} / W_z \leq [\tau]$

угол закручивания $\varphi = M \cdot l / (G \cdot I_p)$

Литература

1. Ванторин В.Д. Механизмы приборных и вычислительных систем: Учебное пособие для приборостроительных специальностей вузов. - М.: Высшая школа, 1985.- 416 с.ил.
2. Краткий справочник конструктора радиоэлектронной аппаратуры. /Под ред. Р.Г.Варламова.- М.: «Сов. Радио»,1972 – 856 с.
3. Левин И.Я. Справочник конструктора точных приборов. – М.: Оборонгиз, 1962. – 727 с.
4. Общетехнический справочник/ Е.А.Скороходов, В.П.Законников, А.Б.Пакнис и др. Под общ. Ред. Е.А.Скороходова. – 4-е изд., испр.- М.: Машиностроение, 1990. – 496 с.: ил. – (Серия справочник для рабочих).
5. Общие правила выполнения чертежей ЕСКД. - М.: Изд-во стандартов,1984. - 240 с.
6. Первицкий Ю.Д. Расчет и конструирование точных механизмов. – М.: Машиностроение, 1976. – 518 с.
7. Разработка и оформление конструкторской документации радиоэлектронной аппаратуры: Справочник/ Э.Т.Романычева, А.К.Иванова, А.С.Куликов, и др. Под ред. Э.Т.Романычевой. - 2-е изд. перераб. и доп. - М.: Радио и связь, 1989. - 448 с.
8. Слюдинов М.Н. Проектирование деталей, узлов, приводов и механизмов летательных аппаратов. - М.: Машиностроение, 1967. - 392 с.
9. Справочник конструктора - приборостроителя. Проектирование. Основные нормы / В.Л.Соломахо, Р.И.Томилин, Б.В.Цитонович, Л.Г.Юдовин - Минск: Выш. шк., 1988. - 272 с.
10. Справочник конструктора точного приборостроения/ Г.А.Веркович, Е.Н.Головенкин, В.А.Голубков и др. Под общей редакцией К.Н.Явленского, Б.П.Тимофеева, Е.Е.Чаадаевой. – Л.: Машиностроение, Ленингр. Отд-ние, 1989. – 792 с.: ил.
11. Федоренко В.А., Шошин А.И. Справочник по машиностроительному черчению / Под ред. Поповой Г.Н. - 14-е изд. перераб. и доп. - Л.: Машиностроение, 1982. - 416 с.
12. Феодосьев В.И. Соппротивление материалов. 8-е изд. - М.: Высшая школа, 1982. - 430 с.
13. Якушева А.И., Воронцова Л.Н., Федотов Н.М. . Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения. - М.: Машиностроение, 1987. - 352 с.

Содержание

Предисловие.....	3
1. Основы проектирования технических систем	4
1.1.Связь проектирования и конструирования с другими видами деятельности ...	4
1.2. Основные этапы создания технических систем	5
1.3. Системный подход в проектировании	7
2. Основные положения ЕСКД по оформлению конструкторской документации	9
2.1. Комплектность конструкторских документов	10
2.2. Правила выполнения схемной документации	20
3. Основы взаимозаменяемости	26
3.1. Единая система допусков и посадок	26
3.2. Условное обозначение на чертежах допусков посадок	34
3.3. Выбор посадок	34
3.4. Отклонения формы и расположения поверхностей	42
3.5. Нормирование допусков формы и расположения поверхностей	49
3.6. Обозначение на чертежах допусков формы и расположения поверхностей	51
3.7. Шероховатость поверхности	54
4. Материалы в приборостроении	63
4.1. Физико-механические свойства стали	64
.....	
4.2. Цветные металлы и их сплавы	72
4.3. Сплавы с особыми физическими свойствами	77
4.3. Неметаллические конструкционные материалы	79
4.4. Покрyтия и смазочные материалы	80
5. Основы расчета на прочность	85
5.1. Силы, действующие в механизмах	85
5.2. Внутренние силы, напряжения и деформации	88
5.3. Центральное растяжение (сжатие) прямого бруса	91
.....	
5.4. Сдвиг	94
5.5. Напряжения и деформации при изгибе	95
5.6. Кручение	106
5.7. Местные напряжения при сжатии упругих тел	107
Литература	110