

621.753

3-15
ТОП
50

ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ
ОБРАЗОВАНИЕ

Учебник



С.А.Зайцев, А.Н.Толстов



ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

С. А. ЗАЙЦЕВ, А. Н. ТОЛСТОВ

ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

УЧЕБНИК

Рекомендовано

Федеральным государственным автономным учреждением «Федеральный институт развития образования» в качестве учебника для использования в образовательном процессе образовательных организаций, реализующих программы среднего профессионального образования по профессиям «Сварщик (ручной и частично механизированной сварки (наплавки))», «Оператор станков с программным управлением», «Токарь на станках с числовым программным управлением», «Фрезеровщик на станках с числовым программным управлением», «Мастер слесарных работ»

*Регистрационный номер рецензии 174
от 24 мая 2017 г. ФГАУ «ФИРО»*

3-е издание, исправленное



Москва
Издательский центр «Академия»
2019

УДК 621.753.1-2; 620.1.08(075.32)

ББК 34.5-7я722

З-15

Рецензент —

преподаватель специальных дисциплин ГОУ СПО
«Политехнический колледж № 31», г. Москва *Т.Б. Филлюшкина*

Зайцев С.А.

З-15 Технические измерения : учебник для студ. учреждений
сред. проф. образования / С.А.Зайцев, А.Н.Толстов. — 3-е
изд., испр. — М. : Издательский центр «Академия», 2019. —
368 с.

ISBN 978-5-4468-8115-4

Учебник создан в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта среднего профессионального образования по профессиям укрупненной группы «Машиностроение», в том числе по профессиям из списка ТОП-50. Учебное издание предназначено для изучения общепрофессиональной дисциплины «Технические измерения».

Изложены основы технических измерений, взаимозаменяемости деталей и размерных соединений. Рассмотрены допуски и посадки гладких цилиндрических соединений как наиболее часто встречающиеся, а также конические, резьбовые, шлицевые и другие соединения. Приведены средства измерений деталей и различных соединений.

Для студентов учреждений среднего профессионального образования.

УДК 621.753.1-2; 620.1.08(075.32)

ББК 34.5-7я722

Технический текст данного издания является собственностью
Издательского центра «Академия», и его воспроизведение любым способом
без согласия правообладателя запрещается

© Зайцев С.А., Толстов А.Н., 2018

© Зайцев С.А., Толстов А.Н., 2019, с изменениями

© Образовательно-издательский центр «Академия», 2019

© Оформление. Издательский центр «Академия», 2019

ISBN 978-5-4468-8115-4

Уважаемый читатель!

Вы держите в руках учебник, который был подготовлен Издательским центром «Академия» в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом (ФГОС) в рамках реализации комплексного проекта подготовки кадров по 50 наиболее востребованным на рынке труда, новым и перспективным профессиям и специальностям среднего профессионального образования.

Одной из задач проекта является обновление содержания профессионального образования с учетом профессиональных стандартов, современных методик и технологий. При разработке ФГОС также учитывались требования международных конкурсов профессионального мастерства, включая чемпионаты «Молодые профессионалы» (WorldSkills и WorldSkills Russia).

Издательский центр «Академия» является лидером по выпуску учебных материалов для СПО в Российской Федерации. Более двадцати лет наши издания помогают студентам овладевать знаниями, умениями и навыками по рабочим профессиям и специальностям. Стремясь идти в ногу со временем, издательство предлагает не только печатные издания, но и электронные учебники, электронные учебно-методические комплексы и виртуальные практикумы.

Интерактивная форма подачи информации с учетом последних методик и тенденций в преподавании — отличительная особенность и визитная карточка Издательского центра «Академия» на российском рынке.

Мы надеемся, что данный учебник будет полезен студентам, облегчит задачу преподавателей, а также поможет специалистам, которые стремятся расти и развиваться в выбранной ими области, достичь новых профессиональных вершин.

Предисловие

Сложная современная техника предъявляет очень высокие требования к профессиональному уровню специалистов. Основой для него служат базовые знания, в том числе учебный курс «Технические измерения». Он не является обособленным от других учебных дисциплин, а взаимосвязан с физикой и математикой.

В учебнике представлены основные понятия о системе стандартизации в Российской Федерации, системах стандартов, унификации и агрегатировании, показателях качества продукции, системах качества, рассмотрены основы теории измерений, методы и средства измерений и контроля различных величин, вопросы метрологического обеспечения и единства измерений. В первых трех главах представлены основные понятия о стандартизации, качестве машин и механизмов, взаимозаменяемости деталей, узлов и механизмов. Глава 4 посвящена техническим измерениям, в том числе методам и средствам нахождения геометрических параметров деталей с помощью универсальных технических инструментов и приборов. Материал, представленный в последних главах, позволит применять полученные знания при работе с типовыми соединениями деталей машин и механизмами, используемыми в машиностроении.

Все это будет востребовано после окончания учебного заведения вне зависимости от места работы — будь это сфера производства, сервисного обслуживания или торговли техническими устройствами.

ОСНОВЫ СТАНДАРТИЗАЦИИ

1.1. НОРМАТИВНО-ПРАВОВАЯ ОСНОВА СТАНДАРТИЗАЦИИ

В настоящее время ни один процесс конструирования немалым без широкого использования типовых, унифицированных и стандартизированных конструктивных решений, таких как стандартные крепежные изделия, допуски и посадки, узлы и детали общепромышленного применения, типовые соединения, уплотнения и др. Тенденция к взаимосвязанному использованию технического творчества и стандартизации усиливается интенсивно ведущимися работами по формализации инженерных задач и привлечением к их решению технических средств автоматизации и систем автоматизированного проектирования.

Современный период развития стандартизации в нашей стране принято отсчитывать с 1918 г., когда был принят Декрет Совета народных комиссаров «О введении международной метрической системы мер и весов». В 1923 г. Совет труда и обороны (СТО) принял Постановление «О стандартизации экспортных товаров», а в 1925 г. при СТО был создан Комитет по стандартам.

На комитет было возложено руководство работой всех ведомств СССР по стандартизации во всех областях народного хозяйства и дано право утверждения обязательных к исполнению общесоюзных государственных стандартов на различные материалы и изделия. К 1928 г. было утверждено более 300 стандартов на рациональный сортамент стального проката, ширину железнодорожной колеи и профиль рельсов, типы сельскохозяйственных машин, инструмент, крепеж и другие изделия массового применения.

В 1940 г. для обозначения общесоюзных стандартов введена аббревиатура — ГОСТ.

Достигнутый в последнее десятилетие высокий уровень технологий, прежде всего транспортных и информационных, привел к

принципиально новым тенденциям в организации мирового сообщества:

- «сжатию» земного пространства по расстояниям и времени перемещения по нему, показав ограниченность природных ресурсов для существующих объемов и темпов роста их потребления, а также уязвимость среды обитания человека по экологии;
- формированию единой телекоммуникационной среды в виде глобальных информационных сетей;
- формированию цифрового пространства формализованного описания, разработки, производства и применения средств труда и продуктов труда;
- формированию единой среды накопления знаний с возможностью доступа к ним на задаваемых условиях.

Поэтому закономерно, что необходимо изменять, совершенствовать взгляды на национальную систему стандартизации, рассматривать новые подходы исходя из рыночной экономики. Национальная система стандартизации должна подстроиться под происходящие изменения в экономическом механизме страны, адекватно реагировать на общественные запросы.

В этих целях был разработан Федеральный закон «О стандартизации в Российской Федерации» от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ. Вместе с тем законодательство о стандартизации не ограничивается только этим законом, в настоящее время имеется более сотни действующих федеральных законов, регулирующих отношения в связанных сферах.

Федеральный закон «О техническом регулировании» является стратегическим, поскольку из него вытекают дальнейшие действия по нормативно-техническому обеспечению создания и эксплуатации продукции. Он является важнейшей составной частью механизма, с использованием которого осуществляется реформирование всей системы технического регулирования.

Данный закон, как известно, регулирует отношения, возникающие при разработке, принятии и применении обязательных и добровольных требований к продукции и процессам ее создания и эксплуатации, а также при оценке соответствия продукции предъявленным требованиям.

Закон определяет основные принципы осуществления технического регулирования, а именно:

- применение единых правил установления требований к продукции;

- соответствие технического регулирования уровням развития национальной экономики и материально-технической базы, а также уровню научно-технического развития;
- независимость органов по аккредитации, органов по сертификации от изготовителей, продавцов, исполнителей и приобретателей;
- единые система и правила аккредитации;
- единство правил и методов исследований (испытаний) и измерений при проведении процедур обязательной оценки соответствия;
- единство применения требований технических регламентов, независимо от видов или особенностей сделок;
- недопустимость ограничения конкуренции при осуществлении аккредитации и сертификации;
- недопустимость совмещения полномочий органа государственного контроля и надзора и органа по сертификации;
- недопустимость совмещения одним органом полномочий на аккредитацию и сертификацию;
- недопустимость внебюджетного финансирования государственного контроля (надзора) за соблюдением требований технических регламентов.

Обязательные требования, содержащиеся в ГОСТах, законом предлагается вынести в сферу технического законодательства, а именно в федеральные законы. Это придаст большую весомость принятым техническим требованиям, а с другой стороны, предохранит от принятия федеральными органами исполнительной власти субъективных и зачастую необоснованно жестких решений. К обязательным требованиям в законе относятся только требования к безопасности продукции и процессов, что не приемлемо для оборонной продукции, поскольку за рамками остаются вопросы ее совместимости, взаимозаменяемости и унификации, гарантированного технического уровня и др.

В настоящее время в государственных стандартах одновременно присутствуют как обязательные, так и добровольные требования. В этой связи и возникла задача создания двухуровневой структуры нормативно-правовых и нормативно-технических документов: на верхнем уровне — **технические регламенты**, а ниже — гармонизированные с техническими регламентами **добровольные стандарты**.

Добровольные в применении национальные стандарты призваны помочь производителю правильно понять и выполнить требования технических регламентов, т.е. добровольные стандарты являются поддержкой для обеспечения выполнения требований документов обязательных — регламентов. Такова международная практика, основанная на директивах Европейского союза, которые, как известно, вводятся через национальные законодательные акты. Директивы «нового подхода» предоставляют производителям выбор путей выполнения требований технических регламентов.

Добровольные стандарты помогают правильно трактовать обязательные требования технических регламентов, задают методы их выполнения. Стандарты необязательны, но если их требования учитываются, то тем самым обеспечивается выполнение соответствующего технического регламента (федерального закона) и производитель (поставщик) действует в рамках закона. В том случае, если производитель отказывается применять добровольный стандарт, он должен доказать государственным контролирующим органам соответствие данного изделия техническому регламенту.

Следует иметь в виду, что на стандарты ложится основная функциональная нагрузка по заданиям количественных требований к объектам и субъектам экономики и социальной сферы. Действующие в стране стандарты являются одним из объективных критериев уровня развития национальной экономики и ее места в системе международного разделения труда.

Понятие «стандартизация» уточняется в процессе развития человеческого общества. В Российской Федерации в настоящее время вопросы стандартизации регулируются Федеральным законом от 29.06.2015 № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Закон устанавливает правовые основы стандартизации в РФ, в том числе функционирования национальной системы стандартизации, и направлен на обеспечение проведения единой государственной политики в сфере стандартизации. Федеральный закон регулирует отношения в сфере стандартизации, включая отношения, возникающие при разработке (ведении), утверждении, изменении (актуализации), отмене, опубликовании и применении документов по стандартизации.

Рассмотрим подробнее этот Федеральный закон. В ст. 2 Федерального закона «О стандартизации в Российской Федерации» приведены основные виды документов в области стандартизации и дано определение понятия: «**стандартизация** деятельность по

разработке (ведению), утверждению, изменению (актуализации), отмене, опубликованию и применению документов по стандартизации и иная деятельность, направленная на достижение упорядоченности в отношении объектов стандартизации».

Согласно данному закону в качестве важнейших результатов деятельности по стандартизации должны рассматриваться повышение степени соответствия продукции, процессов и услуг их функциональному назначению, устранение барьеров в торговле и содействие научно-техническому и экономическому сотрудничеству.

Цели стандартизации:

- содействие социально-экономическому развитию РФ;
- содействие интеграции РФ в мировую экономику и международные системы стандартизации в качестве равноправного партнера;
- улучшение качества жизни населения страны;
- обеспечение обороны страны и безопасности государства;
- техническое перевооружение промышленности;
- повышение качества продукции, выполнение работ, оказание услуг и повышение конкурентоспособности продукции российского производства.

Задачи стандартизации, способствующие реализации ее целей:

- внедрение передовых технологий, достижение и поддержание технологического лидерства РФ в высокотехнологичных (инновационных) секторах экономики;
- повышение уровня безопасности жизни и здоровья людей, охрана окружающей среды, объектов животного, растительного мира и других природных ресурсов, имущества юридических и физических лиц, государственного и муниципального имущества, а также содействие развитию систем жизнеобеспечения населения в чрезвычайных ситуациях;
- оптимизация и унификация номенклатуры продукции, обеспечение ее совместимости и взаимозаменяемости, сокращение сроков ее создания, освоения в производстве и затрат на эксплуатацию и утилизацию;
- применение документов по стандартизации при поставках товаров, выполнении работ, оказании услуг, в том числе при осуществлении закупок товаров, работ, услуг

для обеспечения государственных и муниципальных нужд;

- обеспечение единства измерений и сопоставимости их результатов;
- предупреждение действий, вводящих потребителя продукции (далее – потребитель) в заблуждение;
- обеспечение рационального использования ресурсов;
- устранение технических барьеров в торговле и создание условий для применения международных и региональных стандартов, региональных сводов правил, стандартов иностранных государств и сводов правил иностранных государств.

Деятельности по стандартизации определяют принципы, функции, структуру построения и взаимодействие с внешней средой национальной системы стандартизации.

Цели деятельности по стандартизации определяют принципы, функции, структуру построения и взаимодействие с внешней средой национальной системы стандартизации.

1.2. ПРИНЦИПЫ СТАНДАРТИЗАЦИИ

Основные принципы стандартизации, обеспечивающие достижение установленных целей и задач ее развития в Российской Федерации, учитывают принципы, провозглашенные международными и региональными организациями по стандартизации, а также национальными органами по стандартизации промышленно развитых стран, и заключаются в следующем:

- добровольность применения документов по стандартизации;
- обязательность применения документов по стандартизации в отношении объектов стандартизации, предусмотренных ст. 6 настоящего Федерального закона;
- обеспечение комплексности и системности стандартизации, преемственности деятельности в сфере стандартизации;
- обеспечение соответствия общих характеристик, правил и принципов, устанавливаемых в документах национальной системы стандартизации, современному уров-

ню развития науки, техники и технологий, передовому отечественному и зарубежному опыту;

- открытость разработки документов национальной системы стандартизации, обеспечение участия в разработке таких документов всех заинтересованных лиц, достижение консенсуса при разработке национальных стандартов;
- установление в документах по стандартизации требований, обеспечивающих возможность контроля за их выполнением;
- унификация разработки (ведения), утверждения (актуализации), изменения, отмены, опубликования и применения документов по стандартизации;
- соответствие документов по стандартизации действующим на территории Российской Федерации техническим регламентам;
- непротиворечивость национальных стандартов друг другу;
- доступность информации о документах по стандартизации с учетом ограничений, установленных нормативными правовыми актами РФ в области защиты сведений, составляющих государственную тайну или относимых к охраняемой в соответствии с законодательством РФ иной информации ограниченного доступа.

Рассмотрим содержание некоторых принципов национальной стандартизации.

Добровольность применения документов по стандартизации. Стандарт в соответствии с действующим законодательством применяется на добровольной основе равным образом и в равной мере независимо от страны и (или) места происхождения продукции, осуществления процессов производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, выполнения работ и оказания услуг, видов или особенностей сделок и (или) лиц, являющихся изготовителями, исполнителями, продавцами, приобретателями.

Вызывает интерес вопрос о том, в каких случаях исполнение национального стандарта является обязательным. Здесь следует различать добровольность решения об использовании стандарта и обязательность соблюдения стандарта в случае принятия решения о его применении. Ответ достаточно прост: стандарт обязателен, если производитель продукции (услуги) сам заявил о применении этого стандарта путем ссылки на него в конструкторской

или в эксплуатационной документации. Действительно, если поставщик принял решение об использовании стандарта и зафиксировал это решение путем ссылок в конструкторской и (или) эксплуатационной документации, то Гражданский кодекс и Закон «О защите прав потребителей» требуют соблюдения заявленных стандартов.

Другим вариантом обязательности стандарта служит упоминание об этом в договоре на поставку продукции между поставщиком и заказчиком продукции (услуги).

Одновременно следует указать, что обязательными для применения являются разработанные до введения в действие Федерального закона «О техническом регулировании» (1 июля 2003 г.), государственные стандарты, устанавливающие требования по безопасности и предупреждению действий, вводящих в заблуждение приобретателей. Обязательность применения таких стандартов прекращается после введения в действие соответствующих технических регламентов или истечении 7-летнего переходного периода по внедрению Федерального закона «О техническом регулировании».

Открытость процессов разработки стандартов. Открытость процессов разработки российских национальных стандартов должна обеспечиваться на всех стадиях, начиная от планирования до принятия. Это достигается:

- публикацией программы разработки российских национальных стандартов и уведомлений об их разработке;
- публичностью обсуждения проектов российских национальных стандартов;
- единством и непротиворечивостью правил разработки и утверждения российских национальных стандартов с обязательной экспертизой всех проектов стандартов в технических комитетах по стандартизации. Обеспечение права участия всех заинтересованных сторон в разработке стандартов. Разработка стандартов должна выполняться открыто с участием и/или под руководством технических комитетов по стандартизации, объединяющих на добровольной основе все юридические и/или физические лица, заинтересованные в стандартизации того или иного объекта.

В работах по стандартизации в соответствии с Федеральным законом «О техническом регулировании» участвуют следующие субъекты:

- федеральный орган исполнительной власти по техническому регулированию (в настоящее время — Министерство промышленности и энергетики Российской Федерации — Минпромэнерго России);
- другие федеральные и иные органы исполнительной власти;
- национальный орган Российской Федерации по стандартизации (в настоящее время — Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии);
- субъекты хозяйственной деятельности и их объединения;
- технические комитеты по стандартизации;
- иные общественные и научные организации;
- заинтересованные физические лица.

Федеральный орган исполнительной власти по техническому регулированию осуществляет управление стандартизацией на федеральном уровне и ее взаимосвязь с техническими регламентами.

Национальный орган по стандартизации координирует деятельность в области стандартизации всех заинтересованных в ее результатах сторон, а также создает технические комитеты и осуществляет методическое руководство ими, утверждает и публикует национальные стандарты, обеспечивает соответствие национальных стандартов интересам российской экономике, участвует в разработке международных стандартов и обеспечивает учет интересов России при их принятии, представляет Российскую Федерацию в международных организациях по стандартизации.

Технические комитеты по стандартизации создаются для организации и осуществления работ по стандартизации определенных видов продукции, технологии, услуг. В их состав на паритетных началах включаются представители федеральных органов исполнительной власти, научных и общественных организаций, объединений предпринимателей и потребителей.

Развитие работ по стандартизации в стране осуществляется на следующих уровнях:

- международном (в рамках Международной организации по стандартизации (ИСО) и Международной электротехнической комиссии (МЭК) и других занимающихся стандартизацией международных организаций, членами которых является Российская Федерация);
- региональном (в рамках Евразийского совета по стандартизации, метрологии и сертификации и Всемирного

форума по согласованию правил в области транспортных средств Комитета по внутреннему транспорту Европейской Экономической комиссии (ЕЭК) ООН);

- национальном;
- организаций.

На **международном уровне** Российская Федерация участвует в проведении работ по разработке проектов международных стандартов или анализирует их научно-технический уровень, определяет свою позицию при голосовании по принимаемым стандартам ИСО и МЭК.

Процесс разработки стандартов включает в себя несколько этапов, начиная с мониторинга существующих стандартов и до утверждения и публикации нового стандарта. Процедуры ИСО и МЭК определяются Директивами ИСО/МЭК ч. I, II.

На **региональном уровне** ведется разработка и принятие межгосударственных стандартов, анализ проектов и изменений к Правилам ЕЭК ООН, присоединение к новым Правилам ЕЭК ООН.

На **национальном уровне** стандартизации осуществляется:

- обеспечение реализации государственной политики в области стандартизации;
- совершенствование деятельности в области стандартизации;
- развитие и совершенствование системы ТК по стандартизации;
- формирование программы разработки российских национальных стандартов, координация ее реализации, организация их разработки;
- рассмотрение и утверждение программ работ по стандартизации конкретных видов (групп) продукции, подготовленных различными организациями (объединениями);
- установление порядка разработки, оформления, утверждения, издания, пересмотра, внесения изменений и отмены российских национальных стандартов, требований к их обозначению;
- проведение работ по гармонизации разрабатываемых российских национальных стандартов с международными (региональными) стандартами;
- рассмотрение предложений по принятию международных (региональных) стандартов в качестве российских национальных стандартов;

- разработка, экспертиза, утверждение, пересмотр, внесение изменений и отмена российских национальных стандартов, межгосударственных стандартов и общероссийских классификаторов технико-экономической и социальной информации;
- издание, распространение российских национальных стандартов и введение в действие в Российской Федерации межгосударственных стандартов, а также обеспечение пользователей информацией о них;
- формирование и ведение Федерального информационного фонда технических регламентов и стандартов;
- предоставление информационных услуг в области стандартизации.

На *уровне организаций* осуществляется:

- подготовка предложений по разработке российских национальных стандартов, межгосударственных стандартов или принятию международных (региональных) стандартов в качестве российских национальных стандартов;
- организация применения российских национальных стандартов и действующих в Российской Федерации в этом качестве межгосударственных стандартов;
- подготовка замечаний и предложений по проектам международных и межгосударственных стандартов;
- разработка, утверждение, пересмотр, внесение изменений и отмена стандартов организаций, установление особенностей их разработки;
- проведение работ по унификации и рациональному сокращению номенклатуры применяемых материалов и/или комплектующих изделий;
- формирование и ведение в организации информационных фондов нормативных документов.

Рассмотрим возможные трактовки понятия «национальная система стандартизации».

Федеральным законом РФ от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании» определено, что национальная система стандартизации состоит из национальных стандартов, общероссийских классификаторов технико-экономической и социальной информации и правил их разработки и применения, которое подтверждается знаком соответствия национальному стандарту. Вместе с тем, основываясь на методе системного анализа,

национальную систему стандартизации можно трактовать в более широком смысле как организационно-техническую систему, охватывающую органы и службы стандартизации, фонды нормативных документов по стандартизации, правила и методы проведения работ, автоматизированные банки данных, технические средства и каналы связи, обеспечивающую на основе использования принципов системности и комплексности эффективное проведение работ по стандартизации в стране и при международном сотрудничестве в области стандартизации.

1.3. ДОКУМЕНТЫ В ОБЛАСТИ СТАНДАРТИЗАЦИИ

К документам по стандартизации в Российской Федерации относятся:

- документ по стандартизации — документ, в котором для добровольного и многократного применения устанавливаются общие характеристики объекта стандартизации, правила и общие принципы в отношении объекта стандартизации, за исключением случаев, если обязательность применения документов по стандартизации устанавливается настоящим Федеральным законом;
- документы, разрабатываемые и применяемые в национальной системе стандартизации (далее — документы национальной системы стандартизации):
 - ✓ национальный стандарт РФ (далее — национальный стандарт) — документ по стандартизации, который разработан техническим комитетом по стандартизации или проектным техническим комитетом по стандартизации, утвержден федеральным органом исполнительной власти в сфере стандартизации и в котором для всеобщего применения устанавливаются общие характеристики объекта стандартизации, а также правила и общие принципы в отношении объекта стандартизации;
 - ✓ основополагающий национальный стандарт РФ (далее — основополагающий национальный стандарт) — национальный стандарт, разработанный и утвержденный федеральным органом исполнительной власти в

сфере стандартизации, устанавливающий общие положения, касающиеся выполнения работ по стандартизации, а также виды национальных стандартов;

- ✓ предварительный национальный стандарт РФ (далее — предварительный национальный стандарт) документ по стандартизации, который разработан техническим комитетом по стандартизации или проектным техническим комитетом по стандартизации, утвержден федеральным органом исполнительной власти в сфере стандартизации и в котором для всеобщего применения устанавливаются общие характеристики объекта стандартизации, а также правила и общие принципы в отношении объекта стандартизации на ограниченный срок в целях накопления опыта в процессе применения предварительного национального стандарта для возможной последующей разработки на его основе национального стандарта;
- ✓ правила стандартизации документ национальной системы стандартизации, разработанный и утвержденный федеральным органом исполнительной власти в сфере стандартизации, содержащий положения организационного и методического характера, которые дополняют или конкретизируют отдельные положения основополагающих национальных стандартов, а также определяют порядок и методы проведения работ по стандартизации и оформления результатов таких работ;
- ✓ рекомендации по стандартизации документ национальной системы стандартизации, утвержденный федеральным органом исполнительной власти в сфере стандартизации и содержащий информацию организационного и методического характера, касающуюся проведения работ по стандартизации и способствующую применению соответствующего национального стандарта, либо положения, которые предварительно проверяются на практике до их установления в национальном стандарте или предварительном национальном стандарте;
- ✓ информационно-технический справочник документ национальной системы стандартизации, утвержденный федеральным органом исполнительной власти в сфере стандартизации, содержащий систематизиро-

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ванные данные в определенной области и включающий в себя описание технологий, процессов, методов, способов, оборудования и иные данные;

- объект стандартизации продукция (работы, услуги) (далее продукция), процессы, системы менеджмента, терминология, условные обозначения, исследования (испытания) и измерения (включая отбор образцов), методы испытаний, маркировка, процедуры оценки соответствия и иные объекты;
- общероссийский классификатор технико-экономической и социальной информации (далее общероссийский классификатор) документ по стандартизации, распределяющий технико-экономическую и социальную информацию в соответствии с ее классификацией (классами, группами, видами и др.) и являющийся обязательным для применения в государственных информационных системах и при межведомственном обмене информацией в порядке, установленном федеральными законами и иными нормативными правовыми актами РФ;
- свод правил документ по стандартизации, утвержденный федеральным органом исполнительной власти или Государственной корпорацией по атомной энергии «Росатом» и содержащий правила и общие принципы в отношении процессов в целях обеспечения соблюдения требований технических регламентов;
- стандарт организации документ по стандартизации, утвержденный юридическим лицом, в том числе государственной корпорацией, саморегулируемой организацией, а также индивидуальным предпринимателем для совершенствования производства и обеспечения качества продукции, выполнения работ и оказания услуг;
- технические условия вид стандарта организации, утвержденный изготовителем продукции (далее изготовитель) или исполнителем работ и услуг (далее исполнитель).

Виды стандартов, действующих в Российской Федерации, имеют следующую классификацию:

- основополагающие стандарты;
- стандарты на термины и определения;
- стандарты на продукцию;

- стандарты на процессы;
- стандарты на услуги;
- стандарты на методы контроля (испытаний, измерений, анализа, определения);
- стандарты на совместимость;
- стандарты на номенклатуру показателей.

Технический регламент — документ, который принят международным договором Российской Федерации, ратифицирован в порядке, установленном законодательством Российской Федерации, или федеральным законом, или указом Президента Российской Федерации, или постановлением Правительства Российской Федерации и устанавливает обязательные для применения и исполнения требования к объектам технического регулирования (продукции, в том числе зданиям, строениям и сооружениям, процессам производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации).

Национальный стандарт (ГОСТ Р) — это нормативный документ, утвержденный национальным органом Российской Федерации по стандартизации, в котором в целях добровольного многократного использования устанавливаются характеристики продукции, правила осуществления и характеристики процессов производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, выполнения работ или оказания услуг, требования к терминологии, символике, упаковке, маркировке или этикеткам и правилам их нанесения.

Общероссийские классификаторы (ОК) технико-экономической и социальной информации — это нормативные документы, распределяющие технико-экономическую и социальную информацию в соответствии с ее классификацией (классами, группами, видами и др.) и являющиеся обязательными для применения при создании государственных информационных систем и информационных ресурсов и межведомственном обмене информацией.

Правила по стандартизации (ПР) представляют собой нормативный документ, содержащий типовые организационно-технические и/или общетехнические правила, общие принципы, характеристики, нормы, соблюдение которых является добровольным при выполнении производственных процессов определенного вида в сфере стандартизации. Правила по стандартизации могут касаться порядка согласования нормативных документов, представления информации о принятых стандартах отраслей, обществ, создания службы по стандартизации на предприятии и др.

Рекомендации по стандартизации (Р) разрабатывают на конкретные процессы и их элементы, связанные с решением задач организации, координации и выполнения работ по стандартизации, сертификации, аккредитации, метрологии и каталогизации.

Стандарты организаций (СТО) разрабатываются для совершенствования производства и обеспечения качества выпускаемой ими продукции, выполнения работ, оказания услуг, а также для распространения и использования полученных в различных областях знаний результатов исследований (испытаний), измерений и разработок. При этом под термином «организация» рассматриваются все возможные ее организационно-правовые формы, установленные Гражданским кодексом Российской Федерации (федеральное государственное унитарное предприятие, муниципальное государственное унитарное предприятие, государственное учреждение, акционерное общество, общество с ограниченной ответственностью, автономная некоммерческая организация, фонд, ассоциация, союз и др.).

В целях реализации принципа комплексности действующий в стране фонд национальных стандартов включает в себя ряд комплексов и систем стандартов.

Комплекс (система) стандартов — это совокупность взаимосвязанных национальных стандартов, объединенных общей целевой направленностью и устанавливающих согласованные, преимущественно основополагающие организационно-технические и общетехнические требования к взаимосвязанным объектам стандартизации.

Комплекс национальных стандартов, являясь объединением большого количества стандартов, содержит положения, направленные на то, чтобы стандарты, применяемые на разных уровнях управления, не противоречили друг другу, обеспечивали достижение общей цели и выполнение взаимоувязанных требований к продукции и процессам, а также рекомендациям по их выполнению.

В настоящее время действует 25 систем и комплексов общетехнических стандартов, подавляющее большинство которых являются межгосударственными.

В состав **систем** и **комплексов** общетехнических стандартов входят:

- Единая система конструкторской документации (ЕСКД);
- Единая система технологической документации (ЕСТД);
- Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ);

- Единая система программной документации (ЕСПД);
- Система разработки и постановки продукции на производство (СРПП);
- Комплексная система контроля качества (КСКК) и др.

Рассмотрим вкратце принципы создания, структуру, содержание и обозначение двух основных общетехнических систем стандартов.

Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Представляет собой комплекс межгосударственных стандартов, устанавливающих взаимосвязанные единые правила и положения по порядку разработки, оформления и обращения конструкторских документов, разрабатываемых организациями и предприятиями. Эти единые правила распространяются на все виды конструкторских документов, на учетно-регистрационную, нормативно-техническую и технологическую документацию, а также на научно-техническую и учебную литературу.

ЕСКД состоит из более чем 160 межгосударственных стандартов и рекомендаций, которые соответствуют требованиям соответствующих стандартов ИСО и МЭК. Весь комплекс действующих стандартов ЕСКД подразделяется на следующие группы.

Группа 0 «Общие положения». Основной стандарт этой группы — ГОСТ 2.001—2013 «ЕСКД. Общие положения» — определяет назначение, область распространения, классификацию и правила обозначения стандартов, входящих в комплекс стандартов Единой системы конструкторской документации, а также порядок их внедрения.

Группа 1 «Основные положения». ГОСТ 2.101—2016 «Единая система конструкторской документации. Виды изделий» определяет объекты проектирования и производства, являющиеся базой для установления структуры ЕСКД. В этот стандарт включены виды изделий всех отраслей промышленности, на которые выполняется конструкторская документация. Данный стандарт устанавливает возможность применения любого ранее разработанного конструкторского документа на конкретное изделие в составе других изделий без его переоформления. Понятия, изложенные в ГОСТ 2.101—2016, положены в основу построения всей конструкторской документации и предопределяют порядок ее обращения во всех сферах использования.

ГОСТ 2.102—2013 «Единая система конструкторской документации. Виды и комплектность конструкторских документов» регламентирует номенклатуру конструкторских документов и дает

возможность выбрать для разрабатываемого изделия минимальный комплект конструкторских документов в зависимости от его вида и стадии разработки.

ГОСТ 2.103—2013 «Единая система конструкторской документации. Стадии разработки» устанавливает стадии разработки конструкторских документаций, единственную терминологию, требования к содержанию и оптимальному объему работ, выполняемых на каждой стадии.

В развитие данного стандарта разработаны три стандарта: ГОСТ 2.118—2013 «Единая система конструкторской документации. Техническое предложение», ГОСТ 2.119—2013 «ЕСКД. Эскизный проект», ГОСТ 2.120—2013 «ЕСКД. Технический проект».

Эти стандарты способствовали совершенствованию организации конструкторских работ на проектных стадиях, значительно повысили производительность труда разработчиков, улучшили качественные и технико-экономические показатели выпускаемых изделий.

ГОСТ 2.105—95 «Единая система конструкторской документации. Общие требования к конструкторским документам», ГОСТ 2.106—96 «Единая система конструкторской документации. Текстовые документы», ГОСТ 2.114—2016 «Единая система конструкторской документации. Технические условия. Правила построения, изложения и оформления» устанавливают требования к выполнению текстовых документов на изделия и правила их выполнения.

Группа 2 «Классификация и обозначение изделий в конструкторских документах» состоит из одного стандарта — ГОСТ 2.201—80 «Единая система конструкторской документации. Обозначение изделий и конструкторских документов».

Этот стандарт устанавливает единую обезличенную классификационную систему обозначения изделий машиностроения и приборостроения основного и вспомогательного производств, составных частей изделий и их конструкторских документов всех отраслей промышленности на всех стадиях жизненного цикла.

Группа 3 «Общие правила выполнения чертежей» состоит из 21 стандарта. Например, ГОСТ 2.301—68 «Единая система конструкторской документации. Форматы» устанавливает форматы листов чертежей и других конструкторских документов всех отраслей промышленности.

Другие стандарты этой группы также содержат единые для всех отраслей промышленности требования к масштабам изображе-

ний, линиям, чертежным шрифтам и другим элементам чертежей и общим правилам их оформления.

Группа 4 «Правила выполнения чертежей изделий машиностроения и приборостроения» включает в себя около 30 стандартов, устанавливающих правила выполнения наиболее широко применяемых в этих отраслях деталей и изделий.

Группа 5 «Правила обращения конструкторских документов». Содержание стандартов данной группы достаточно полно характеризуется наименованиями входящих в нее стандартов, а именно: ГОСТ 2.501—2013 «Единая система конструкторской документации. Правила учета и хранения», ГОСТ 2.502—2013 «Единая система конструкторской документации. Правила дублирования», ГОСТ 2.503—2013 «Единая система конструкторской документации. Правила внесения изменений» и др.

Группа 6 «Правила выполнения эксплуатационной и ремонтной документации» содержит восемь государственных стандартов. Эти стандарты устанавливают:

- общие требования к эксплуатационной и ремонтной документации (ГОСТ 2.602—2013 «Единая система конструкторской документации. Ремонтные документы»);
- правила внесения изменений в эту документацию (ГОСТ 2.603—68 «Единая система конструкторской документации. Внесение изменений в эксплуатационную и ремонтную документацию») и др.

Группа 7 «Правила выполнения схем» состоит из более чем 70 государственных стандартов, которые устанавливают:

- общие требования к выполнению электрических, гидравлических, кинематических, пневматических схем (ГОСТ 2.701—2008 «Единая система конструкторской документации. Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению»);
- условные обозначения для схем (ГОСТ 2.721—74 «Единая система конструкторской документации. Обозначения условные графические в схемах»).

Группа 8 «Правила выполнения документов строительных и судостроения» состоит из межгосударственных стандартов, содержащих макетный метод проектирования и горную графическую документацию.

Обозначения стандартов ЕСКД построены по следующей схеме. Номер каждого из них состоит из цифры 2, присвоенной классу стандартов ЕСКД, цифры (после точки), обозначающей класси-

фикационную группу стандартов (из числа перечисленных ранее), двухзначной цифры, определяющей порядковый номер стандарта в данной группе, и двухзначной цифры (после тире), указывающей год регистрации стандарта.

Единая система технологической документации (ЕСТД). Основной целью создания ЕСТД, начатой в 1965 г., было снижение затрат на разработку технологических процессов. Однако опыт показал, что получен и более существенный эффект — расширилось применение типовых технологических процессов, что привело к снижению себестоимости и повышению качества продукции.

Для достижения указанной цели была разработана большая группа ГОСТов (более 50). В основу создания и совершенствования ЕСТД положены следующие принципы:

- обеспечение преемственности основных положений ЕСКД;
- возможность изготовления и обработки технологических документов средствами организационной и вычислительной техники;
- удобство использования технологических документов в условиях функционирования автоматизированных систем управления технологическими процессами, робототехнических комплексов и гибких производственных систем;
- блочно-модульное построение документов, предусматривающее их образование из типовых информационных модулей, соответствующих строкам (или группам строк) формы документа;
- уменьшение объема технологических документов без ущерба для содержания;
- создание единой процедуры утверждения и изменения технологических документов;
- расширение использования типовых технологических процессов, в документацию на которые включается постоянная информация, единая для всей группы изделий рассматриваемого типа.

ЕСТД устанавливает правила оформления комплектов технологической документации на изделия; комплектов технологических документов на процессы и операции с учетом применяемых методов и видов; отдельных видов вспомогательных технологических документов и т.д.

Стандарты ЕСТД делятся на десять групп, одна из которых является резервной.

Группа 0 «Общие положения Единой системы технологической документации». ГОСТ 3.1001—2011 «ЕСТД. Общие положения» распространяется на все изделия машиностроения и приборостроения. В стандарте даны определения и назначение системы технологической документации, установлена область распространения стандартов ЕСТД, введены классификация и обозначение этих стандартов, установлен порядок их учета, хранения и нормоконтроля.

Группа 1 «Основопологающие стандарты Единой системы технологической документации» содержит ГОСТы, устанавливающие стадии разработки технологической документации, основные надписи, общие требования к формам, бланкам и документам, правила оформления документов общего назначения, комплектность документов, термины и определения основных понятий, правила оформления документов, применяемых при автоматизированном проектировании технологических процессов, правила учета, хранения и внесения изменений и т. д.

Группа 2 «Система обозначений технологических документов» содержит один стандарт — ГОСТ 3.1201—85 «Единая система технологической документации. Система обозначения технологической документации», создающий условия для упрощения хранения и поиска необходимых документов, их передачи на другие предприятия без последующего оформления и т. д.

Стандарты **группы 3 «Методы расчета применяемости деталей и учета применяемости технологической документации»** устанавливают соответствующие методы.

Группа 4 «Правила оформления технологических документов на различные виды работ» включает в себя стандарты, касающиеся правил оформления документов на различные технологические процессы (литье, ковку и штамповку, механическую обработку).

Группа 5 «Правила оформления технологических документов на испытания и контроль выпускаемых изделий» состоит из стандартов, определяющих правила оформления документов на технический контроль и технологические испытания.

Группа 6 «Правила оформления документов, применяемых в вспомогательном производстве» состоит из стандартов, устанавливающих правила оформления документов, используемых в ремонтных и инструментальных цехах, и документов на процессы перемещения.

Группа 7 «Правила записи технологических операций» содержит стандарты, устанавливающие правила записи технологических операций и переходов для основных видов работ машиностроительного производства.

Группа 9 «Правила подготовки нормативной и справочной информации, используемой в АСУ» состоит из одного стандарта — ГОСТ 3.1901—74 «Единая система технологической документации. Состав нормативно-справочной информации, переносимой на машинные носители».

Обозначения стандартов ЕСТД строятся по следующей схеме. Номер каждого из них состоит из цифры 3, присвоенной классу стандартов ЕСТД, цифры (после точки), обозначающей подкласс, классификационную группу стандартов (из числа перечисленных ранее), двухзначной цифры, определяющей порядковый номер стандарта в данной группе, и двухзначной цифры (после тире), указывающей год регистрации стандарта.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какова основная цель стандартизации?
2. Какие преимущества дает стандартизация?
3. Что является объектом стандартизации?
4. Какие законодательные акты формируют основу стандартизации в Российской Федерации?
5. Какие принципы технического регулирования определены Федеральным законом «О техническом регулировании»?
6. Что означает принцип добровольного применения стандартов?
7. Дайте определение понятия «стандартизация».
8. На каких уровнях ведутся работы по стандартизации в Российской Федерации?
9. Какие требования стандартов являются обязательными?
10. Перечислите документы по стандартизации, принятые в Российской Федерации.
11. Что такое система стандартов?
12. Что такое ЕСКД?
13. Какие группы стандартов включает в себя ЕСТД?
14. Какова структура обозначений стандартов ЕСКД и ЕСТД?

КАЧЕСТВО ПРОДУКЦИИ

2.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В результате производственной деятельности человека создаются материальные ценности, предназначенные для удовлетворения его потребностей. Эти материальные ценности принято называть продукцией. Продукция может быть изделиями или продуктами.

Изделия — результат работы производственного предприятия, характеризуемый дискретной величиной, исчисляемой в штуках, экземплярах и других счетных единицах. К изделиям относятся машины и приборы, а также их элементы (детали, агрегаты), швейные изделия, обувь, торты, ювелирные изделия и т. п.

Продукты — результат работы производственного предприятия (металлы, лес, нефтепродукты, краски, ткани, овощи, зерно и др.), характеризуемый непрерывной величиной, исчисляемой в килограммах, литрах, метрах, квадратных или кубических метрах и т. п.

По способу использования продукция может быть разделена на два класса: первый — потребляемая продукция, второй — эксплуатируемая продукция.

Потребляемая продукция при использовании расходуется сама: топливо сгорает, материалы перерабатывают в изделие, продукты питания употребляют в пищу.

Эксплуатируемая продукция расходует свой ресурс, а масса продукции практически не уменьшается. К этому классу относятся все машины, приборы, оборудование. Физическая сущность и закономерности процесса расходования ресурса изучаются наукой о надежности машин.

В указанных классах продукция подразделяется на пять групп:

1) сырье и природное топливо: полезные ископаемые, нефть, газ, уголь, строительные материалы;

2) материалы и продукты: искусственное топливо, пластмассы, прокат, ткани, пищевые продукты, не вошедшие в первую группу;

3) расходные изделия: дозированные продукты в упаковке, консервы, жидкое топливо и смазочные материалы в бочках, кабель в бобинах и др.;

4) неремонтируемые изделия: электровакуумные и полупроводниковые элементы приборов, клиновые ремни, крепежные изделия и др.;

5) ремонтируемые изделия: машины, механизмы, приборы и оборудование длительного использования, в том числе тракторы, автомобили, сельскохозяйственные и гидромелиоративные машины, оборудование животноводческих ферм.

Каждый вид продукции обладает рядом специфических свойств, позволяющих отличить его от любого другого.

Свойство продукции — объективная особенность продукции, проявляющаяся при ее создании и использовании.

Признак продукции — качественная или количественная характеристика ее свойств.

Качественные признаки характеризуют цвет, форму, способ крепления деталей (сварка, клепка, свинчивание), способ настройки или регулировки (ручной, полуавтоматический, автоматический) изделия.

Количественный признак, или параметр продукции, дает численную характеристику отдельных свойств. Например, химический состав материала, угол заточки резца, грузоподъемность автомобиля и т.д.

Не все свойства продукции имеют одинаковую значимость: одни являются важнейшими, другие второстепенными, а третьи могут не иметь никакого значения и никак не отражаться на эффективности использования данной продукции. Например, для грузового автомобиля важнейшими являются такие его свойства, как грузоподъемность, удельный расход топлива, пробег до капитального ремонта. А такие свойства, как электрическая проводимость, растворимость в азотной кислоте, не имеют значения, не отражают способности автомобиля выполнять его основные функции и поэтому не относятся к качеству изделия.

Качество продукции — совокупность свойств продукции, обуславливающих ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с ее назначением.

Из этой формулировки следует, что не все свойства изделия входят в понятие «качество», а только те, которые определяются потребностью общества в соответствии с назначением этого из-

делия. Качество продукции определяется потребностью общества в данном виде продукции, и если по каким-либо причинам потребность в этом виде продукции полностью исчезла, то и качество ее будет равно нулю.

Для оценки качества машин и других изделий разработана система показателей качества и методы их определения. Область практической и научной деятельности, которая занимается разработкой теоретических основ и методов количественной оценки качества продукции, называется **квалиметрией**.

Задачи квалиметрии состоят в определении номенклатуры необходимых показателей качества изделия и их оптимальных значений, разработке методов количественной оценки качества, создании методики учета изменения качества с течением времени.

Номенклатурой показателей качества промышленной продукции установлены десять групп показателей качества любых видов продукции, т. е. количественные характеристики свойств продукции, рассматриваемые применительно к определенным условиям ее создания, эксплуатации или потребления. В каждую группу входят как единичные, так и комплексные показатели качества.

Единичный показатель качества продукции отражает одно свойство (производительность, грузоподъемность, энергоемкость, ресурс и др.).

Комплексный показатель качества продукции характеризует несколько ее свойств. Таким показателем является, например, коэффициент готовности изделия, характеризующий одновременно его безотказность и ремонтпригодность.

Обобщенные показатели качества, которые представляют собой сумму единичных показателей, имеющих одну размерность, либо выражаются в относительных безразмерных единицах или в баллах с учетом коэффициента значимости каждого показателя, также относят к комплексным.

Показатели назначения — одна из важнейших групп показателей качества, характеризующих назначение, область применения, конструктивные и другие особенности изделия. В машиностроении наиболее часто используют такие показатели назначения, как универсальность машины, производительность, материалоемкость, энергоемкость.

Показатели надежности для продукции машиностроения — одна из важнейших групп. Надежность — способность объекта выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения установленных эксплуатационных показателей в заданных пределах, соответствующих заданным режимам и условиям использования,

технического обслуживания, ремонта, хранения и транспортирования. Надежность — свойство изделия, определяемое четырьмя составляющими свойствами: безотказностью, долговечностью, ремонтопригодностью и сохраняемостью. Каждое из этих четырех свойств оценивается единичными показателями, несколько комплексных показателей выделено в особую группу.

Показатели технологичности характеризуют степень соответствия машины и ее элементов оптимальным условиям современного производства, рациональность использования конструкционных материалов, приспособленность продукции к применению прогрессивных технологических методов производства, возможность максимального использования централизованного производства и рациональной организации ремонта и обслуживания. Важнейшими технологическими показателями качества продукции являются коэффициент сборности изделия, коэффициент использования рациональных материалов, удельная трудоемкость производства, удельная материалоемкость.

Показатели стандартизации и унификации характеризуют степень использования или применения в данном изделии стандартизованных и унифицированных деталей, агрегатов, блоков и других составных элементов.

Патентно-правовые показатели включают в себя два безразмерных показателя: патентоспособности и патентной чистоты. Патентоспособным изделие является в том случае, если оно содержит технические решения, которые могут быть признаны изобретением в одной или в нескольких странах. Изделие обладает патентной чистотой в том случае, если оно не содержит технических решений, подпадающих под действие патентов, исключительного права на изобретения, промышленные образцы, а также свидетельства на товарные знаки, которые зарегистрированы в данной стране. Один и тот же технический объект обладает патентной чистотой для одних стран и не обладает таковой для других, где действуют покрывающие его патенты.

Эргономические показатели качества позволяют оценивать степень приспособленности машины к взаимодействию с человеком-оператором с точки зрения оптимальных условий для эффективного управления машиной, соблюдения необходимых норм гигиены и техники безопасности для оператора и окружающих людей. Термины и определения, относящиеся к эргономическим показателям качества, классифицированы по четырем подгруппам: гигиенические, антропометрические, физиологические и психофизиологические, психологические. В связи с увеличени-

ем интенсивности работы машин, усложнением их конструкции, повышением важности выполняемых ими функций эргономические показатели качества приобретают особое значение.

Эстетические показатели качества характеризуют внешний вид продукции, ее соответствие современному стилю, гармоничность сочетания отдельных элементов машины между собой, а также всей машины с окружающей средой, соответствие форм машины ее назначению, колористическое (цветовое) оформление, а также качество и совершенство отделки внешних поверхностей и других элементов.

Показатели транспортабельности характеризуют приспособленность продукции к перемещениям в пространстве, не сопровождающимся ее использованием или потреблением. Они выбираются с учетом конкретного вида транспорта и определяют затраты (трудовые и материальные) на операции по подготовке к транспортированию и непосредственно транспортные.

Показатели безопасности характеризуют свойства продукции, обуславливающие безопасность человека при использовании продукции, например время срабатывания защитных устройств, сопротивление изоляции токоведущих частей и т. п.

Экологические показатели характеризуют уровень вредных воздействий, возникающих при эксплуатации продукции на окружающую среду и человека, например содержание вредных элементов в составе продукции или ее выбросах.

Показатели качества определяются при помощи объективного (инструментальный) и субъективного (экспертный) методов.

Инструментальный метод включает в себя определение показателей качества продукции с помощью измерительных средств: весов, спидометров, расходомеров и т. д.

Разновидностью инструментального метода можно считать **расчетный метод** определения показателей качества. Он основан на вычислениях с использованием значений параметров, найденных другими методами (например, расход топлива на 1 км пробега, коэффициент полезного действия, производительность машины).

Экспертный метод — определение показателей качества продукции на основе решения, принимаемого группой специалистов-экспертов. Данный метод часто применяют для определения комплексных показателей качества. По возможности следует пользоваться объективными методами определения показателей качества продукции и отдавать им предпочтение по сравнению с показателями, полученными субъективными методами. Разновидности экспертного метода — органолептический и социологический методы.

Органолептический метод — определение показателей качества продукции (в баллах) на основе анализа восприятия органов чувств человека — зрения, слуха, обоняния, осязания и вкуса без применения технических измерительных или регистрационных средств. Этим методом пользуются, например, для эстетических показателей, оказывающих воздействие на потребителя, вкусовых качеств фруктов и т. д.

Социологический метод основан на сборе и учете мнений фактических или возможных потребителей продукции. Этим методом определяются в основном показатели качества товаров народного потребления.

2.2. УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ

Управление качеством промышленной продукции — это установление, обеспечение и поддержание необходимого уровня качества продукции на всех стадиях ее жизненного цикла: разработке, производстве, эксплуатации (или потреблении) и утилизации, осуществляемое путем систематического контроля за качеством и целенаправленным воздействием на условия и факторы, влияющие на качество продукции.

В марте 1987 г. Международная организация по стандартизации (ИСО) приняла целый пакет международных стандартов серии 9000, в которых отражен международный опыт по управлению качеством продукции.

Пакет принятых международных и отечественных стандартов на системы качества (по управлению качеством) в настоящее время включает в себя:

- ГОСТ Р ИСО 9000—2015 «Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь»;
- ГОСТ Р ИСО 9001—2015 «Системы менеджмента качества. Требования»;
- ГОСТ Р ИСО 9004—2010 «Менеджмент для достижения устойчивого успеха организации».

В этих стандартах задачи, стоящие перед организацией в области качества, сформулированы следующим образом:

- организация должна достигать и поддерживать качество продукции или услуги на уровне, обеспечивающем постоянное удовлетворение установленным или предполагаемым требованиям;

- организация должна обеспечивать своему руководству уверенность в том, что намеченное качество достигается и поддерживается на заданном уровне;
- организация должна обеспечивать потребителю уверенность в том, что намеченное качество поставляемой продукции или предоставляемой услуги достигается или будет достигнуто.

Ориентация на удовлетворение требований потребителя является главным отличием указанных стандартов. Особенно отчетливо это отражено в стандарте ИСО 9004, где рассмотрены технические, административные и человеческие факторы, влияющие на качество продукции или услуги на всех этапах петли качества — от выявления потребности до удовлетворения потребителя.

В рекомендациях по применению стандартов рассмотрены: область распространения и сфера действия стандартов; правила их выбора; основные принципы системы качества; документация системы качества; порядок проведения на предприятии работ по применению указанных стандартов; проверка, анализ и оценка системы качества.

Указанные стандарты действуют в условиях, когда осуществляется проверка системы обеспечения качества продукции на предприятии. **Системой обеспечения качества** принято называть совокупность планируемых и систематически проводимых мероприятий, необходимых для создания уверенности в том, что продукция (услуга) удовлетворяет определенным требованиям к качеству.

Поскольку каждый стандарт содержит нормы, следование которым необходимо для обеспечения качества, то цель проверки состоит в установлении соответствия фактического положения дел указанным нормам. Обязательная проверка системы обеспечения качества может быть частью более общей процедуры (например, сертификации продукции, аттестации продукции, официальной оценки системы качества и т.д.).

Основные принципы системы качества. Системы управления качеством (или просто системы качества) создаются и внедряются на предприятии для того, чтобы обеспечить проведение определенной политики в области качества и достижение целей, сформулированных в области качества. Из этого следует, что в создании системы качества первично формирование и документальное оформление руководством предприятия политики в области качества.

Политика в области качества может быть сформулирована по-разному: либо в виде принципа деятельности по поддержанию ка-

чества продукции на определенном техническом уровне, либо в виде конкретной долгосрочной цели.

Система управления качеством разрабатывается для каждого конкретного вида продукции отдельно. По этой причине на одном предприятии, выпускающем разные виды продукции, может быть несколько систем (подсистем) качества.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем отличие понятий «изделие» и «продукция»?
2. Чем занимается наука квалиметрия?
3. Сколько групп показателей качества установлено? Перечислите их.
4. Какими методами можно определить уровень качества продукции?
5. Какими основными нормативными документами устанавливаются требования и задачи в области качества?

ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ ДЕТАЛЕЙ, УЗЛОВ И МЕХАНИЗМОВ

3.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ О ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТИ ДЕТАЛЕЙ, УЗЛОВ И МЕХАНИЗМОВ

Взаимозаменяемость — это пригодность одного изделия, процесса, услуги для использования вместо другого изделия, процесса, услуги в целях выполнения одних и тех же требований.

Выполнение требований к точностным параметрам деталей и сборочных единиц является одним из основных условий взаимозаменяемости. Кроме того, для обеспечения взаимозаменяемости необходимо соблюдать и ряд других условий, например, устанавливать оптимальные и номинальные значения параметров деталей и сборочных единиц, выполнять требования к материалу деталей, технологии их изготовления, контроля.

Взаимозаменяемыми могут быть детали, сборочные единицы и изделия в целом, прежде всего детали и сборочные единицы, от которых зависят надежность и другие эксплуатационные показатели изделий.

Различают следующие виды взаимозаменяемости.

Полная взаимозаменяемость, при которой обеспечивается возможность беспригоночной сборки (или замены при ремонте) любых независимо изготовленных с заданной точностью однотипных деталей. Такой вид взаимозаменяемости возможен только в тех случаях, когда размеры, форма, механические, электрические и другие качественные и количественные характеристики деталей и сборочных единиц после изготовления находятся в заданных пределах и собранные из этих деталей изделия соответствуют техническим требованиям.

В условиях полной взаимозаменяемости существенно облегчается сборка, которая при этом сводится к простому соединению деталей, расширяются возможности применения поточного метода изготовления деталей, автоматизации процесса изготовления и сборки изделий, упрощается ремонт машин. Такой вид взаимоза-

меняемости позволяет ввести специализацию и кооперирование предприятий (поставщик изготавливает унифицированные изделия, детали или сборочные единицы ограниченной номенклатуры и поставляет их предприятию, выпускающему основную продукцию).

Неполная взаимозаменяемость — это взаимозаменяемость, при которой для обеспечения требуемой точности изделия предусматриваются некоторые конструктивные особенности узла или вводятся дополнительные технологические операции при сборке или ремонте. Применяется в том случае, если для заданных эксплуатационных требований необходимо изготавливать детали и сборочные единицы с малыми, экономически невыгодными или технологически трудновыполнимыми допусками. Для получения требуемой точности сборки при этом применяются дополнительные технологические операции, в том числе доводка и пригонка, так называемая селективная сборка, или групповой подбор деталей, в конструкцию вводятся регулировочные элементы, компенсаторы. Неполная взаимозаменяемость осуществляется не по всем, а только по отдельным геометрическим или другим параметрам.

Кроме указанных различают внутреннюю, внешнюю и функциональную взаимозаменяемость.

Внутренняя взаимозаменяемость — взаимозаменяемость всех или некоторых деталей, составляющих сборочные единицы, механизмы, входящие в изделие. Например, в подшипниках качения внутреннюю взаимозаменяемость имеют кольца и тела качения (шарики, ролики).

Внешняя взаимозаменяемость — взаимозаменяемость сборочных единиц, а также кооперируемых и покупных изделий (монтируемых в более сложные изделия) по размерам и форме присоединительных поверхностей, эксплуатационным показателям, параметрам. Для подшипников качения это размеры наружного и внутреннего колец, точность их вращения; для электродвигателей — мощность, частота вращения вала, размеры и форма присоединительных поверхностей.

Функциональная взаимозаменяемость — вид взаимозаменяемости, при которой возможны не только сборка и замена при ремонте любых деталей, узлов и механизмов, но и обеспечение их необходимых эксплуатационных показателей и функциональных параметров. Например, взаимозаменяемое зубчатое колесо кроме способности без подгонки занять свое место в узле должно передавать заданный крутящий момент, иметь определенное передаточное отношение и обладать заданным ресурсом работы. Функционально взаимозаменяемый бензонасос автомобиля кроме со-

ответствующих присоединительных размеров должен иметь заданную производительность, развивать определенное давление и иметь соответствующий ресурс.

Помимо взаимозаменяемости часто встречается такое понятие, как совместимость. Под **совместимостью** принято понимать свойство объектов занимать свое место в сложном готовом изделии и выполнять требуемые функции при совместной или последовательной работе этих объектов и сложного изделия в заданных эксплуатационных условиях. В качестве объекта чаще всего подразумеваются различные автономные электронные блоки, приборы и т. д.

Чтобы обеспечить наибольшую эффективность взаимозаменяемости, необходимо при конструировании, производстве и эксплуатации машин и механизмов учитывать целый комплекс научно-технических положений. Этот комплекс часто называют **принципом функциональной взаимозаменяемости**.

Комплекс содержит три группы исходных положений.

В **первую группу** входят положения, используемые при конструировании изделий. Перечислим пять основных из них.

1. Функциональная взаимозаменяемость в большинстве случаев обеспечивается на стадии проектирования изделий. Прежде всего уточняются номинальные эксплуатационные показатели и определяются допустимые отклонения от их значений, возникающие в ходе эксплуатации. Теоретически и экспериментально на макетах, моделях и опытных образцах устанавливаются возможные изменения функциональных параметров во времени (износ при эксплуатации, пластическая деформация, изменение структуры и т. д.), находятся связи и степень влияния этих параметров и их отклонений на эксплуатационные показатели нового изделия. Зная эти связи и допуски на эксплуатационные показатели изделий, определяют допустимые отклонения функциональных параметров и рассчитывают посадки для ответственных соединений.

2. Эксплуатационные показатели машин и других изделий зависят от уровня и стабильности характеристик процесса изготовления (размеров, формы, других геометрических параметров деталей и сборочных единиц), а также уровня и стабильности свойств (механических, электрических, оптических, химических) материалов, из которых изготовлены детали, и других факторов. Немаловажную роль играет обеспечение однородности исходного сырья и материалов заготовок по структурно-химическому составу, а также стабильного уровня физико-механических свойств, точности и стабильности размеров и формы заготовок.

3. При конструировании изделий необходимо придерживаться общетехнических норм, широко применять унифицированные и стандартизованные детали и сборочные единицы, так как без этого невозможно обеспечить высокое качество изделий и экономичность производства.

4. Для обеспечения взаимозаменяемости ответственных деталей по шероховатости поверхностей, их форме и взаимному расположению эти параметры следует выбирать таким образом, чтобы износ деталей был минимальным, а эксплуатационные качества — оптимальными.

5. При конструировании необходимо учитывать требования технологичности и предусматривать возможность выбора для проверки точностных параметров деталей, сборочных единиц и изделий таких схем измерения, которые не вносили бы дополнительных погрешностей и позволяли применять простые и надежные универсальные или специальные средства измерения и контроля.

Разработка чертежей, технических условий и требований с указанием точности размеров и других параметров, обеспечивающих высокое качество деталей, сборочных единиц и изделий, является первой составной частью реализации принципа взаимозаменяемости в процессе конструирования изделий. Рабочий чертеж, в котором указаны точностные требования, — это исходный и основной документ, по которому разрабатывают технологические процессы, измеряют и контролируют точность деталей, составных частей и готовой продукции.

Вторая группа включает в себя положения, используемые при производстве изделий. Рассмотрим некоторые из них.

1. Для соблюдения принципа взаимозаменяемости при изготовлении деталей и сборке изделий необходимо строго выдерживать нормированную точность функциональных параметров.

2. Чтобы создать большой запас работоспособности машин, для ответственных функциональных параметров целесообразно обеспечить выполнение условия $T_F > T_T$, где T_F — допуск параметра, устанавливаемый исходя из эксплуатационных требований; T_T — технологический допуск, обеспечиваемый принятым технологическим процессом.

3. Точность оборудования, инструмента и оснастки должна быть несколько выше требуемой точности изготавливаемых деталей, т. е. следует иметь необходимый запас точности.

4. Для обеспечения взаимозаменяемости деталей и высокого качества машин и других изделий необходимо, чтобы технологи-

ческие и измерительные базы совпадали с конструкторскими, т. е. соблюдался принцип единства и постоянства баз.

В *третью группу* входят положения, используемые при эксплуатации изделий (обеспеченность запасными частями, периодичность ремонта, планово-предупредительная замена отдельных частей, механизмов и эксплуатационных материалов).

3.2. ПОНЯТИЯ О ПОГРЕШНОСТИ И ТОЧНОСТИ РАЗМЕРА

Качество машин, их надежность и долговечность в значительной мере зависят от точности обработки деталей при их изготовлении. Совершенствование и усложнение конструкций автомобилей, станков и других машин, увеличение рабочих скоростей, нагрузок предъявляют все более высокие требования к качеству деталей, точности обработки.

При проектировании конструктор определяет размеры и форму каждой детали, обеспечивающие заданные эксплуатационные характеристики. Однако при изготовлении деталей в связи с большим числом факторов, возникающих в процессе обработки, появляются отклонения от заданных размеров и формы.

Точность обработки чаще всего бывает различной в разных сечениях и точках даже в пределах одной поверхности. Она представляет собой совокупность отклонений с различными частотами и амплитудами.

Степень соответствия изготовленной детали прототипу, заданному чертежом, принято называть *точностью обработки*. Под *погрешностью обработки* понимают степень несоответствия действительных параметров заданным, т. е. погрешность — это величина, обратная точности.

В производственных условиях для оценки точности размеров деталей используют укрупненную классификацию отклонений геометрических параметров:

- отклонения размера;
- отклонения расположения поверхностей;
- отклонения формы;
- волнистость поверхности;
- шероховатость поверхности.

Факторов, влияющих на точность обработки, очень много, и в процессе изготовления деталей они постоянно изменяются. Что-

бы тщательно проанализировать источники погрешностей обработки, разделим их на группы.

Неточности станка. Погрешность обработки вызывается биением шпинделя, отклонениями от прямолинейности направляющих станины или суппорта, отклонениями от параллельности и перпендикулярности перемещений суппорта относительно оси шпинделя, несовпадением осей центров передней и задней бабок, зазорами в сопряжениях.

Неточности приспособления. Проявляются при неточности элементов приспособлений, предназначенных для установки обрабатываемой детали, а также для определения положения режущего инструмента.

Неточности режущего инструмента. Наибольшее влияние на форму и размер обрабатываемых поверхностей оказывают неточности мерного инструмента (сверл, разверток, метчиков и т. п.) и профильного (фасонного) инструмента (резцов, шлифовальных кругов, фрез и т. п.).

Это объясняется тем, что неточности изготовления таких инструментов непосредственно влияют на форму и размер обрабатываемой поверхности. Устранить эти неточности подналадкой инструмента нельзя.

Для всех режущих инструментов наиболее существенными будут погрешности, вызываемые износом режущей части.

Неточность установки инструмента. Чаще всего ее называют погрешностью настройки инструмента на размер. Возникает при неточной первоначальной установке режущего инструмента или при его замене.

Неточности детали. Деталь, поступившая на данную операцию, имеет погрешности обработки, возникшие на предшествующих операциях. Эти погрешности влияют на точность обработки, достигаемую на данной операции.

Деформация детали. Особенно часто проявляется при обработке нежестких деталей (тонкостенных цилиндров, длинных валов, колец и т. п.). Погрешности обработки возникают в результате действия сил зажима детали при ее закреплении и сил резания при обработке.

В процессе обработки деталей сложной формы, имеющих резкие изменения сечений, особое значение приобретают деформации, вызванные внутренними напряжениями.

Деформации станка, приспособления, инструмента. В основном это упругие деформации, возникающие под действием сил резания в станке, приспособлениях, инструменте. Величи-

ны этих деформаций определяются жесткостью станка и зависят прежде всего от его конструкции и качества изготовления.

Температурные деформации, возникающие в процессе обработки детали. Температура отдельных частей станка, приспособлений, инструмента, детали изменяется неодинаково. Материалы, из которых они изготовлены, имеют различные коэффициенты линейного расширения. В результате положение поверхностей отличается от первоначального, что является причиной возникновения погрешностей.

Неточности измерения и контроля размеров. Погрешности, допускаемые при измерениях и контроле, неточность изготовления и настройки измерительных приборов и инструментов и другие факторы не позволяют определить истинные размеры, полученные при обработке, и вынуждают использовать реальные размеры.

Перечисленные причины вызывают отклонения размеров детали после обработки от заданных чертежом. При обработке партии деталей каждая из причин, вызывающая неточность, изменяет свое воздействие при переходе от одной детали к другой. В результате реальные размеры деталей в одной партии различаются между собой, т.е. происходит рассеяние размеров.

Рассеяние размеров возникает в результате воздействия большого числа факторов, поддающихся и не поддающихся регулированию. Эти факторы получили название **погрешности**. Погрешности подразделяются на **систематические, случайные и грубые**.

Полностью избежать погрешностей обработки невозможно, поэтому при изготовлении деталей отклонения параметров геометрической точности от заданных ограничивают, обеспечивая определенную точность обработки.

3.3. ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНЫЕ ЧИСЛА И РЯДЫ ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНЫХ ЧИСЕЛ

Параметры, характеризующие каждый вид продукции, выражаются конкретными числами. Например, мощность двигателя 80 кВт, диаметр вала 50 мм, грузоподъемность автомобиля 5 т. Эти параметры определяются расчетами или назначаются исходя из конструктивных соображений. При этом числовые характеристики параметров могут принимать самые разные значения.

Если не ограничить применение числовых характеристик, то осуществить стандартизацию и унификацию параметров станет практически невозможно. Кроме того, как показал опыт стандартизации, последовательность чисел, характеризующих параметры объектов стандартизации, должна быть не случайной, а строиться по математическим законам — *рядам*. При выборе числовых значений параметров в расчетах, составлении технических документов, проектировании пользуются рядами предпочтительных чисел.

Ряды предпочтительных чисел установлены ГОСТ 8032—84 «Предпочтительные числа и ряды предпочтительных чисел». В этом стандарте предусмотрено четыре основных ряда предпочтительных чисел (*R5*, *R10*, *R20*, *R40*) и два дополнительных (*R80* и *R160*). Применение дополнительных рядов допускается в отдельных случаях, но только если это экономически и технически обосновано.

Основные ряды имеют знаменатели:

ряд *R5* — $\sqrt[5]{10} = 1,5849 \approx 1,6$;

ряд *R10* — $\sqrt[10]{10} = 1,2589 \approx 1,25$;

ряд *R20* — $\sqrt[20]{10} = 1,1220 \approx 1,12$;

ряд *R40* — $\sqrt[40]{10} = 1,0593 \approx 1,06$.

Дополнительные ряды имеют знаменатели:

ряд *R80* — $\sqrt[80]{10} = 1,0292 \approx 1,03$;

ряд *R160* — $\sqrt[160]{10} = 1,0145 \approx 1,015$.

Числа, входящие в ряды, округлены. Их относительное отличие от расчетных значений находится в пределах +1,26...–1,01 %.

Основные ряды предпочтительных чисел приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1. Основные ряды предпочтительных чисел

| Основные ряды | | | | Номер предпочтительного числа |
|---------------|------------|------------|------------|-------------------------------|
| <i>R5</i> | <i>R10</i> | <i>R20</i> | <i>R40</i> | |
| 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0 |
| | | | 1,06 | 1 |
| | | 1,12 | 1,12 | 2 |
| | | | 1,18 | 3 |

Продолжение табл. 3.1

| Основные ряды | | | | Номер предпочтительного числа | | |
|---------------|------|------|------|-------------------------------|------|----|
| R5 | R10 | R20 | R40 | | | |
| 1,60 | 1,25 | 1,25 | 1,25 | 4 | | |
| | | | | 1,32 | 5 | |
| | | | 1,40 | 1,40 | 6 | |
| | | | | 1,50 | 7 | |
| | | 1,60 | 1,60 | 1,60 | 8 | |
| | | | | 1,70 | 9 | |
| | | | 1,80 | 1,80 | 10 | |
| | | | | 1,90 | 11 | |
| | | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 12 | |
| | | | | 2,12 | 13 | |
| | | | 2,24 | 2,24 | 14 | |
| 2,50 | | | 2,36 | 15 | | |
| | 2,50 | 2,50 | 2,50 | 2,50 | 16 | |
| | | | | 2,65 | 17 | |
| | | | 2,80 | 2,80 | 18 | |
| | | | | 3,00 | 19 | |
| | | 3,15 | 3,15 | 3,15 | 20 | |
| | | | | 3,35 | 21 | |
| | | | 3,55 | 3,55 | 22 | |
| | | | | 3,75 | 23 | |
| | 4,00 | 4,00 | 4,00 | 4,00 | 4,00 | 24 |
| | | | | | 4,25 | 25 |
| | | | 4,50 | 4,50 | 26 | |
| | | | | 4,75 | 27 | |
| | | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 28 | |
| | | | | 5,30 | 29 | |

| Основные ряды | | | | Номер предпочтительного числа |
|---------------|-------|-------|-------|-------------------------------|
| R5 | R10 | R20 | R40 | |
| | | 5,60 | 5,60 | 30 |
| | | | 6,00 | 31 |
| 6,30 | 6,30 | 6,30 | 6,30 | 32 |
| | | | 6,70 | 33 |
| | | 7,10 | 7,10 | 34 |
| | | | 7,50 | 35 |
| | 8,00 | 8,00 | 8,00 | 36 |
| | | | 8,50 | 37 |
| | | 9,00 | 9,00 | 38 |
| | | | 9,50 | 39 |
| 10,00 | 10,00 | 10,00 | 10,00 | 40 |

Во всех случаях необходимо применять одно из 40 основных предпочтительных чисел, указанных в таблице, причем при установлении параметров следует отдавать предпочтение значениям ряда R5 перед значениями ряда R10, ряда R10 — перед значениями ряда R20, ряда R20 — перед значениями ряда R40.

Отступление от предпочтительных чисел и их рядов допускается в следующих случаях:

- если округление до предпочтительного числа выходит за пределы допустимой погрешности;
- если значения параметров следуют закономерности, отличающейся от геометрической прогрессии.

Стандартом допускается использование выборочных и составных рядов, поэтому применять все числа того или иного ряда не всегда обязательно.

Выборочные ряды предпочтительных чисел применяют в тех случаях, когда уменьшение числа градаций значений создает дополнительный экономический эффект по сравнению с использованием полных рядов. Предпочтение следует отдавать рекомендуемым выборочным рядам, а из выборочных рядов с одинаковым знаменателем — ряду, содержащему единицу или число, един-

Таблица 3.2. Нормальные линейные размеры от 1 до 500 мм

| Линейные размеры рядов, мм | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|------|------|------|-----|------|------|------|-----|------|------|------|-----|
| Ra5 | Ra10 | Ra20 | Ra40 | Ra5 | Ra10 | Ra20 | Ra40 | Ra5 | Ra10 | Ra20 | Ra40 | Ra5 |
| 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 10 | 10 | 10 | 10 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| | | 1,05 | 10,5 | | | | | | | | | |
| | | 1,1 | 11 | | | | | | | | | |
| | | 1,15 | 15,5 | | | | | | | | | |
| | 1,2 | 1,2 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 125 | 125 | 125 | 125 | 125 |
| | | 1,3 | 13 | | | | | | | | | |
| | | 1,4 | 14 | | | | | | | | | |
| | | 1,4 | 14 | | | | | | | | | |
| | | 1,5 | 15 | | | | | | | | | |
| 1,6 | 1,6 | 1,6 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 |
| | | 1,7 | 17 | | | | | | | | | |
| | | 1,8 | 18 | | | | | | | | | |
| | | 1,8 | 18 | | | | | | | | | |
| | | 1,9 | 19 | | | | | | | | | |
| | 2,0 | 2,0 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 |
| | | 2,1 | 21 | | | | | | | | | |
| | | 2,2 | 22 | | | | | | | | | |
| | | 2,2 | 22 | | | | | | | | | |

| Линейные размеры рядов, мм | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|------|------|------|-----|------|------|------|-----|------|------|------|
| Ra5 | Ra10 | Ra20 | Ra40 | Ra5 | Ra10 | Ra20 | Ra40 | Ra5 | Ra10 | Ra20 | Ra40 |
| | | | 2,4 | | | | 24 | | | | 240 |
| 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 25 | 25 | 25 | 25 | 250 | 250 | 250 | 250 |
| | | | 2,6 | | | | 26 | | | | 260 |
| | | 2,8 | 2,8 | | | 28 | 28 | | | 280 | 280 |
| | 3,0 | 3,0 | 3,0 | | | | 30 | | | | 300 |
| | | | 3,2 | | 32 | 32 | 32 | | 320 | 320 | 320 |
| | | | 3,4 | | | | 34 | | | | 340 |
| | | 3,6 | 3,6 | | | 36 | 36 | | | 360 | 360 |
| | | | 3,8 | | | | 38 | | | | 380 |
| 4,0 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 40 | 40 | 40 | 40 | 400 | 400 | 400 | 400 |
| | | | 4,2 | | | | 42 | | | | 420 |
| | | 4,5 | 4,5 | | | 45 | 45 | | | 450 | 450 |
| | | | 4,8 | | | | 48 | | | | 480 |
| | 5,0 | 5,0 | 5,0 | | 50 | 50 | 50 | | 500 | 500 | 500 |
| | | | 5,2 | | | | 52 | | | | |

ственной значащей цифрой которого является единица (например, 0,01; 0,1; 10; 100).

Кроме предпочтительных рядов чисел в ГОСТ 8032—84 приводится приложение с описанием специальных рядов чисел, которые следует использовать, если ни один вид установленных рядов предпочтительных чисел не может быть применен.

По рядам предпочтительных чисел определяют, например, параметры и числовые характеристики продукции, не являющиеся линейными размерами.

Ряды рекомендуемых линейных размеров приведены в ГОСТ 6636—69 «Основные нормы взаимозаменяемости. Нормальные линейные размеры». В стандарте представлены четыре ряда линейных размеров: $Ra5$, $Ra10$, $Ra20$, $Ra40$, в которые включены округленные числа из рядов $R5$, $R10$, $R20$, $R40$ предпочтительных чисел, устанавливающие нормальные линейные размеры от 0,001 до 20 000 мм. В табл. 3.2 представлены нормальные линейные размеры от 1 до 500 мм.

Указанный стандарт не распространяется на производственные размеры, зависящие от принятых исходных размеров и параметров, в том числе на технологические межоперационные размеры, а также размеры, регламентированные в стандартах на конкретные изделия (например, средний диаметр резьбы).

3.4. ПОНЯТИЕ О ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТАХ И ИХ ХАРАКТЕРИСТИКАХ

Геометрические характеристики — это параметры, описывающие отклонения реальной поверхности от номинальной, заданной.

Общие термины и определения объектов нормирования установлены ГОСТ 31254—2004 (ИСО 14660-1:1999, ИСО 14660-2:1999) «Основные нормы взаимозаменяемости. Геометрические элементы. Общие термины и определения». Они являются новыми по сравнению с применявшимися. Их введение стало необходимым для однозначного описания и беспрепятственного математического определения различных видов геометрических элементов и формулировки определений геометрических характеристик в ГОСТ Р 53442—2009 (ИСО 1101:2004) «Основные нормы взаимозаменяемости. Характеристики изделий геометрические. Допуски формы, ориентации, месторасположения и биения».

Реальная поверхность детали — совокупность физически существующих геометрических элементов, которые отделяют всю деталь от окружающей среды.

Геометрический элемент представляет собой отдельную часть детали, такую как точка, линия или поверхность. Он может быть полным элементом (поверхность, линия на поверхности) или производным элементом (центральная точка, средняя линия, средняя поверхность), т.е. элементом, произведенным от одного или нескольких полных элементов (рис. 3.1).

Например, средняя точка (центр) сферы является производным геометрическим элементом от сферы, которая является полным геометрическим элементом; средняя линия (ось) цилиндра является производным геометрическим элементом от цилиндрической поверхности, которая является полным геометрическим элементом.

Размерный элемент — геометрическая форма, определяемая линейным или угловым размером. Размерными элементами могут быть цилиндр, сфера, две параллельные плоскости, конус или призма. Используемые ранее термины «гладкая деталь» и «гладкий элемент детали» имеют примерно то же значение, что и термин «размерный элемент».

Полный номинальный геометрический элемент — точный, полный геометрический элемент, определенный чертежом или другими средствами (рис. 3.1, а).

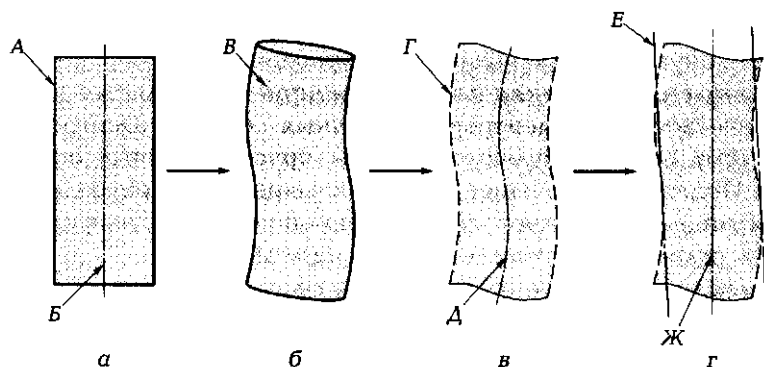


Рис. 3.1. Взаимосвязь определений геометрических элементов:

а — чертеж: А — номинальный полный элемент; Б — номинальный производный элемент; б — деталь: В — реальный элемент; в — выявление: Г — выявленный полный элемент; Д — выявленный производный элемент; г — присоединение: Е — присоединенный полный элемент; Ж — присоединенный производный элемент

Производный номинальный геометрический элемент — центр, ось или плоскость симметрии, которые произведены от одного или нескольких полных геометрических элементов (см. рис. 3.1, а).

Реальный полный геометрический элемент — полный геометрический элемент как часть реальной поверхности детали, ограниченная соседними реальными полными геометрическими элементами (рис. 3.1, б).

Реальные производные геометрические элементы не существуют.

Выявленный полный геометрический элемент — приближенное представление реального полного геометрического элемента, которое получают с помощью регистрации конечного (ограниченного) числа реального полного геометрического элемента при соблюдении согласованных условий.

Выявленный производный элемент — центральная точка, средняя линия или средняя поверхность, произведенные от одного или нескольких реальных полных элементов (рис. 3.1, в).

Присоединенный (совмещенный) полный элемент — полный элемент правильной формы, присоединенный (совмещенный) к выявленному полному элементу при соблюдении согласованных условий (рис. 3.1, г).

Присоединенный (совмещенный) производный элемент — центр, ось или плоскость симметрии, произведенные от одного или нескольких присоединенных полных элементов (см. рис. 3.1, г).

Частными видами выявленных производных элементов являются выявленная средняя линия цилиндра, выявленная средняя линия конуса и выявленная средняя поверхность.

Выявленная средняя линия цилиндра определяется как геометрическое место центров поперечных сечений. Центрами поперечных сечений являются центры присоединенных окружностей. Поперечные сечения перпендикулярны оси присоединенного цилиндра, полученного по выявленной поверхности, т. е. радиус может отличаться от номинального радиуса.

Выявленная средняя линия конуса определяется как геометрическое место центров поперечных сечений. Центрами поперечных сечений являются центры присоединенных окружностей. Поперечные сечения перпендикулярны оси присоединенного конуса, полученного по выявленной поверхности, т. е. угол конуса может отличаться от номинального угла.

Термин «реальная ось» используется примерно в том же значении, что и термин «выявленная средняя линия цилиндра или конуса».

Выявленная средняя поверхность определяется как геометрическое место центральных точек для наборов противоположащих точек выявленных противоположащих поверхностей. Линии, соединяющие пары противоположащих точек, перпендикулярны к присоединенной средней плоскости (плоскости симметрии). Присоединенная средняя плоскость является плоскостью симметрии двух присоединенных параллельных плоскостей, полученных по выявленным поверхностям, т. е. расстояние между двумя присоединенными параллельными плоскостями может отличаться от номинального расстояния.

ГОСТ 31254—2004 для геометрических выявленных элементов вводит понятие местного размера.

Местный размер выявленного цилиндра, местный диаметр выявленного цилиндра — расстояние между двумя противоположащими точками элемента. Линия, соединяющая две точки, проходит через центр присоединенной окружности. Поперечные сечения перпендикулярны оси присоединенного цилиндра, полученного по выделенной поверхности.

Местный размер для элемента, образованного двумя параллельными выявленными поверхностями, — расстояние между двумя точками на противоположащих выявленных поверхностях. Линии, соединяющие пары противоположащих точек, перпендикулярны присоединенной плоскости симметрии. Присоединенная плоскость симметрии является плоскостью симметрии двух присоединенных параллельных плоскостей, полученных по выявленным поверхностям, т. е. расстояние между присоединенными плоскостями может отличаться от номинального.

Понятия о геометрических элементах существуют в трех областях:

- 1) в области технических требований, когда конструктор рассматривает отдельные части будущей детали;
- 2) в области физической материализации детали;
- 3) в области контроля, когда используются части данной детали.

Рассмотренные термины для геометрических элементов предназначены как для каждой из перечисленных областей в отдельности, так и для уяснения взаимосвязи между этими областями, а также являются основой для определений «по умолчанию» (если не задано иное) для рассматриваемых элементов.

Выявленные элементы не имеют правильной геометрической формы и по сравнению с соответствующими номинальными элементами нуждаются в дополнительных, детализированных определениях для однозначного и правильного понимания.

Во всех стандартах, где рассматриваются геометрические элементы и их характеристики, следует использовать одно и то же определение выявленного элемента (определение «по умолчанию»).

Детализированное дополнительное определение для рассматриваемого выявленного элемента должно устанавливаться путем соглашения и применяться только при использовании на чертежах или в других технических документах основных способов указания допусков, если не задано иное. Основные способы указания допусков установлены, в частности, в ГОСТ 25346—2013 «Основные нормы взаимозаменяемости. Характеристики изделий геометрические. Система допусков на линейные размеры. Основные положения, допуски, отклонения и посадки», ГОСТ 2.307—2011 «ЕСКД. Нанесение размеров и предельных отклонений», ГОСТ 2.308—2011 «ЕСКД. Указание допусков формы и расположения поверхностей».

Определение размеров (диаметров) с допуском до введения в действие ГОСТ 25346—2013 было «по умолчанию» основано на правиле Тейлора (размер по сопряжению ограничен пределом максимума материала, а любой местный диаметр ограничен пределом минимума материала).

Для *отверстий* диаметр вписанного цилиндра (наибольшего воображаемого цилиндра, который может быть вписан в отверстие так, чтобы плотно контактировать с наиболее выступающими точками поверхности) не должен быть меньше предела максимума материала.

Любой местный диаметр отверстия не должен быть больше предела минимума материала.

Для *валов* диаметр описанного цилиндра (наименьшего воображаемого цилиндра, который может быть описан вокруг вала так, чтобы плотно контактировать с наиболее выступающими точками поверхности) не должен быть больше предела максимума материала.

Любой местный диаметр вала не должен быть меньше предела минимума материала.

Теперь подобная интерпретация имеет место только тогда, когда на чертеже размер с допуском дополнен требованием прилегания (символ E).

Определение линейного размера «по умолчанию» изменено на местный размер между двумя противоположными точками.

Для указания на чертеже какого-либо иного требования установленный допуск должен быть дополнен модификатором сопря-

гаемого размера, например, символом требования прилегания (правило Тейлора). Например, $\varnothing 30H6$ (E).

Рассмотрим условия «по умолчанию» для определений выявленных производных элементов.

Выявленная средняя линия цилиндра. Для определения «по умолчанию» (если не предписано иное) выявленной средней линии цилиндра выполняются следующие условия:

- присоединенные окружности являются полными окружностями наименьших квадратов отклонений;
- присоединенный цилиндр является полным цилиндром наименьших квадратов отклонений).

На рис. 3.2 показан пример выявления средней линии цилиндра.

Выявленная средняя линия конуса. Для определения «по умолчанию» (если не предписано иное) выявленной средней линии конуса выполняются следующие условия:

- присоединенные окружности являются полными окружностями наименьших квадратов отклонений;

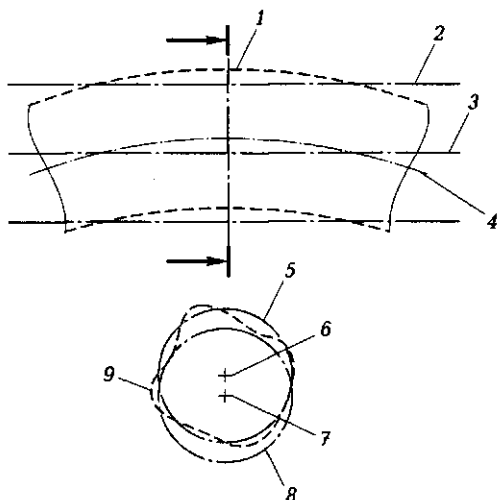


Рис. 3.2. Выявленная средняя линия цилиндра:

1 — выявленная поверхность; 2 — присоединенный цилиндр; 3 — ось присоединенного цилиндра; 4 — выявленная средняя линия; 5 — присоединенная окружность; 6 — центр присоединенной окружности; 7 — ось присоединенного цилиндра; 8 — присоединенный цилиндр; 9 — выявленная линия

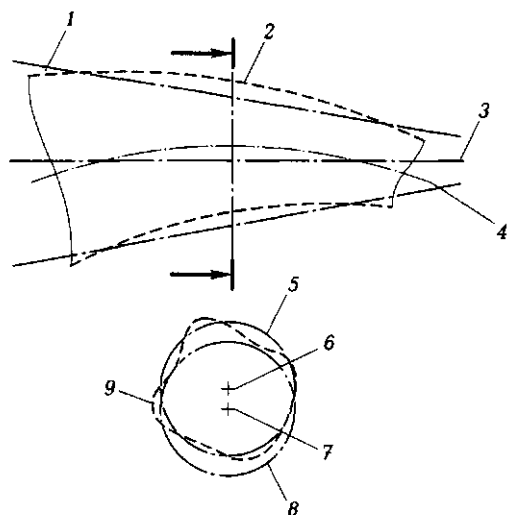


Рис. 3.3. Выявленная средняя линия конуса:

1 — присоединенный конус; 2 — выявленная поверхность; 3 — ось присоединенного конуса; 4 — выявленная средняя линия; 5 — присоединенная окружность; 6 — центр присоединенной окружности; 7 — ось присоединенного конуса; 8 — присоединенный конус; 9 — выявленная линия

- присоединенный конус является полным конусом наименьших квадратов отклонений.

На рис. 3.3 показан пример выявления средней линии конуса.

Выявленная средняя поверхность (плоскость симметрии). Для определения «по умолчанию» (если не предписано иное) выявленной средней поверхности выполняется следующее условие: обе присоединенные параллельные плоскости построены по методу наименьших квадратов отклонений.

На рис. 3.4 показан пример выявления средней поверхности.

Рассмотрим условия «по умолчанию» для определений местного размера выявленных поверхностей.

Определение местного размера (местного диаметра) выявленного цилиндра. Для определения «по умолчанию» (если не предписано иное) местного диаметра выявленного цилиндра (отдельного сечения) применяются следующие условия:

- присоединенная окружность является окружностью наименьших квадратов отклонений;
- присоединенный цилиндр является цилиндром наименьших квадратов отклонений.

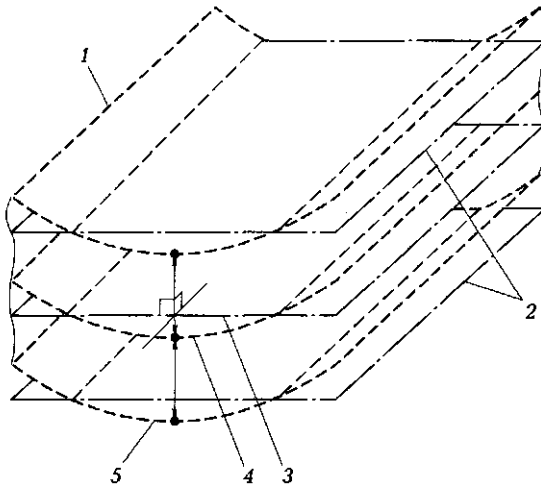


Рис. 3.4. Выявленная средняя поверхность:

1 — выявленная поверхность; 2 — присоединенная плоскость; 3 — присоединенная плоскость симметрии; 4 — выявленная средняя поверхность; 5 — выявленная поверхность

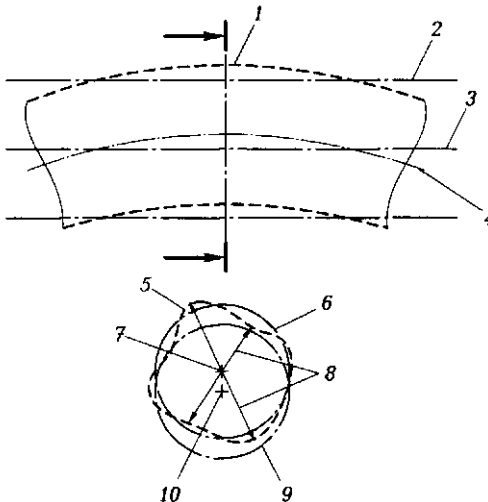


Рис. 3.5. Местный размер выявленного цилиндра (местный диаметр цилиндра):

1 — выявленная поверхность; 2 — присоединенный цилиндр; 3 — ось присоединенного цилиндра; 4 — выявленная средняя линия; 5 — выявленная линия; 6 — присоединенная окружность; 7 — центр присоединенной окружности; 8 — местный диаметр выявленного элемента; 9 — присоединенный цилиндр; 10 — ось присоединенного цилиндра

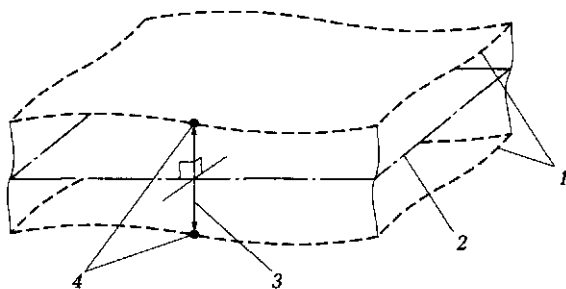


Рис. 3.6. Местный размер двух параллельных выявленных поверхностей:

1 — выявленные поверхности; 2 — присоединенная плоскость симметрии; 3 — местный размер двух выявленных поверхностей; 4 — противоположные точки

На рис. 3.5 показан пример местного размера выявленного цилиндра.

Определение местного размера двух параллельных выявленных поверхностей. Для определения «по умолчанию» (если не предписано иное) местного размера двух параллельных выявленных поверхностей обе присоединенные параллельные плоскости построены по методу наименьших квадратов отклонений (рис. 3.6).

3.5. ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗДЕЛИЙ. СИСТЕМА ДОПУСКОВ ИСО НА ЛИНЕЙНЫЕ РАЗМЕРЫ

С 1 июля 2015 г. введен в действие межгосударственный стандарт ГОСТ 25346—2013 (ISO 286-1:2010). Стандарт устанавливает систему допусков и отклонений на линейные размеры, применимую к двум типам размерных элементов: цилиндр и две параллельные противоположащие плоскости. Основное назначение этой системы — обеспечение взаимозаменяемости деталей в сборочных единицах и изделиях, выполнение посадкой своих функций.

С изменением требования прилегания на правило двухточечного измерения (любой местный размер ограничен верхним и нижним предельными размерами) при задании допуска размера «по умолчанию» на отклонения формы теперь не накладывается каких-либо ограничений. В тех случаях, когда установления допу-

ска на размер оказывается недостаточно для обеспечения выполнения посадкой своего функционального назначения, могут быть дополнительно установлены требование прилегания, допуски геометрической формы, а также требования к шероховатости поверхности.

3.5.1. Основные термины и определения

Для того чтобы систематизировать многообразие форм деталей, все возможные варианты поверхностей подразделяют: на внутренние (цилиндрические, конические, поверхности с параллельными и непараллельными поверхностями) и называют их *охватываемыми*, и наружные — *охватывающими*.

В соответствии с этим были введены понятия: вал и отверстие.

Вал — наружный размерный элемент детали (включая наружные размерные элементы, не являющиеся цилиндрическими).

Отверстие — это внутренний размерный элемент детали (включая внутренние размерные элементы, не являющиеся цилиндрическими).

Термины «отверстие» и «вал» применяют для описания следующих размерных элементов: цилиндр (например, при установлении допуска на диаметр отверстия или вала) и две параллельные противоположащие плоскости (например, для установления допуска на толщину шпонки или ширину шлицевого паза).

Количественно геометрические параметры деталей оцениваются посредством размеров.

Размер — числовое значение линейной величины (диаметра, длины и др.) в выбранных единицах измерения.

Различают номинальные, действительные и предельные размеры.

Номинальный размер (D , d , l и др.) — размер геометрического элемента идеальной формы, определенной чертежом. Номинальный размер используют для расчета предельных размеров путем его сложения с верхним и/или нижним предельным отклонением.

Для деталей, составляющих соединение, номинальный размер является общим. Номинальные размеры деталей находятся расчетом деталей на прочность, жесткость и по другим критериям работоспособности. Полученный в результате расчета размер, для сокращения типоразмеров, должен округляться, как правило, в большую сторону и соответствовать значениям, указанным в ГОСТ 6636—69 «Основные нормы взаимозаменяемости. Нормальные линейные размеры».

В производстве невозможно выполнить абсолютно точно требуемые размеры деталей. Некоторая погрешность вносится также при измерении, поэтому существует понятие «действительный размер детали».

Действительный размер — размер присоединенного полного элемента. Действительный размер получают путем измерения.

Предельные размеры — предельно допустимые размеры размерного элемента.

Удовлетворяющий допуску действительный размер находится между предельными размерами или равен им.

Верхний предельный размер (ULS) — наибольший допустимый размер размерного элемента.

Нижний предельный размер (LLS) — наименьший допустимый размер размерного элемента.

Эти размеры принято обозначать D_{\max} и D_{\min} для отверстий, d_{\max} и d_{\min} — для валов. Сравнение действительного размера с предельными дает возможность судить о годности детали.

Для упрощения чертежей введены предельные отклонения от номинального размера.

Отклонение — разность между значением и опорным значением.

Для отклонений размеров опорным значением является номинальный размер, а значением — действительный размер.

Предельное отклонение — верхнее предельное отклонение или нижнее предельное отклонение от номинального размера.

Верхнее предельное отклонение (ES; es) — алгебраическая разность между верхним предельным размером и номинальным размером (обозначение *ES* применяют для внутренних, а *es* — для наружных размерных элементов):

$$ES = D_{\max} - D;$$

$$es = d_{\max} - d.$$

Верхнее предельное отклонение — отрицательное, равное нулю или положительное число.

Нижнее предельное отклонение (EI; ei) — алгебраическая разность между нижним предельным размером и номинальным размером (обозначение *EI* применяют для внутренних, а *ei* — для наружных размерных элементов):

$$EI = D_{\min} - D;$$

$$ei = d_{\min} - d.$$

Нижнее предельное отклонение — отрицательное, равное нулю или положительное число.

Основное отклонение — предельное отклонение, определяющее расположение интервала допуска относительно номинального размера.

Основным отклонением является то из предельных отклонений, которое соответствует ближайшему к номинальному предельному размеру.

Основное отклонение обозначают буквой латинского алфавита (например, B , d).

Графическое пояснение терминов (на примере отверстия) показано на рис. 3.7. Непрерывная горизонтальная линия, ограничивающая интервал допуска, показывает основное отклонение, а штриховая — другое (не основное) предельное отклонение отверстия.

Предельные размеры можно задать с помощью номинального размера и предельных отклонений от него, имеющих положительные или отрицательные знаки.

На конструкторских и технологических чертежах номинальные и предельные размеры, а также их отклонения указывают в миллиметрах без обозначения единицы (ГОСТ 2.307—2011), например, $85_{-0,034}^{-0,012}$, $42_{-0,024}^{-0,013}$, $50^{+0,025}_{-0,022}$. При равенстве абсолютных значений отклонений они указываются один раз со знаком \pm рядом с номинальным размером, например, $85 \pm 0,02$.

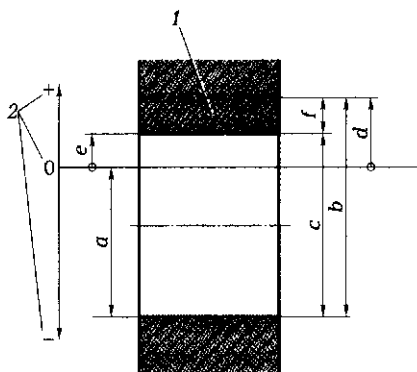


Рис. 3.7. Графическое пояснение терминов (на примере отверстия):

1 — интервал допуска; 2 — правило знаков для отклонений; a — номинальный размер; b — верхний предельный размер; c — нижний предельный размер; d — верхнее предельное отклонение; e — нижнее предельное отклонение (в данном случае оно является и основным отклонением); f — допуск

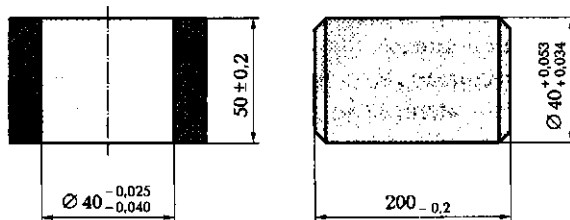


Рис. 3.8. Обозначение предельных отклонений на чертежах

В соответствии с ЕСКД отклонение, равное нулю, на чертежах не проставляется. Наносят только одно отклонение — положительное на месте верхнего отклонения, отрицательное — на месте нижнего предельного отклонения, например, $60_{-0,022}$; $89^{+0,022}$.

Пример обозначения предельных отклонений на чертеже показан на рис. 3.8.

Одним из основных понятий, определяющих точность изготовления деталей, является допуск.

Допуск — разность между верхним и нижним предельными размерами. Допуск также может быть определен как разность между верхним и нижним предельными отклонениями:

$$TD = D_{\max} - D_{\min} = ES - EI;$$

$$Td = d_{\max} - d_{\min} = es - ei,$$

где TD — допуск отверстия; Td — допуск вала.

Допуск — положительное число.

Пределы допуска — установленные значения, определяющие верхнюю и нижнюю границы допустимых значений.

Стандартный допуск (*International Tolerance* — ИТ — международный допуск) — допуск, установленный системой допусков ИСО на линейные размеры.

Квалитет — группа допусков на линейные размеры, характеризующаяся общим обозначением.

В системе допусков ИСО на линейные размеры обозначение квалитета состоит из номера, следующего за аббревиатурой ИТ (например, ИТ7).

Интервал допуска — совокупность значений размера между пределами допуска, включая эти пределы.

Прежний термин «поле допуска» (ГОСТ 25346—89 «Основы взаимозаменяемости. Единая система допусков и посадок. Общие

положения, ряды допусков и основных отклонений»), применявшийся ранее для линейных размеров, изменен на термин «интервал допуска» в связи с тем, что термин «интервал допуска» указывает на диапазон чисел, в то время как термин «поле допуска» в отношении геометрических характеристик изделий указывает на область в плоскости или пространстве, например, при установлении геометрических допусков.

Интервал допуска заключен между верхним и нижним предельными размерами, он определяется значением допуска и его расположением относительно номинального размера (см. рис. 3.7).

Номинальный размер необязательно находится внутри интервала допуска (см. рис. 3.7). Пределы допуска могут располагаться как по обе стороны (двусторонние пределы), так и по одну сторону (односторонние пределы) относительно номинального размера.

Класс допуска — сочетание основного отклонения и качества.

В системе допусков ИСО на линейные размеры класс допуска указывают сочетанием идентификатора основного отклонения (прописной буквы латинского алфавита для отверстий и строчной буквы для валов) и номера качества (например, *D13* для отверстия; *h9* для вала и др.).

Когда говорят о деталях, находящихся в соединении, применяют термин « посадка ».

3.5.2. Понятия о посадках

Посадка — соединение наружного размерного элемента и внутреннего размерного элемента (отверстия и вала), участвующих в сборке.

Посадка характеризует свободу (степень) относительного перемещения соединяемых деталей.

Различают посадки с зазором (рис. 3.9), с натягом (рис. 3.10) и переходные (рис. 3.11).

Зазор *S* — разность между размерами отверстия и вала, когда диаметр вала меньше диаметра отверстия:

$$S = D - d.$$

Зазор — положительное число.

Наименьший зазор — разность между нижним предельным размером отверстия и верхним предельным размером вала или разность между нижним предельным отклонением отверстия и верхним предельным отклонением вала, см. рис. 3.9.

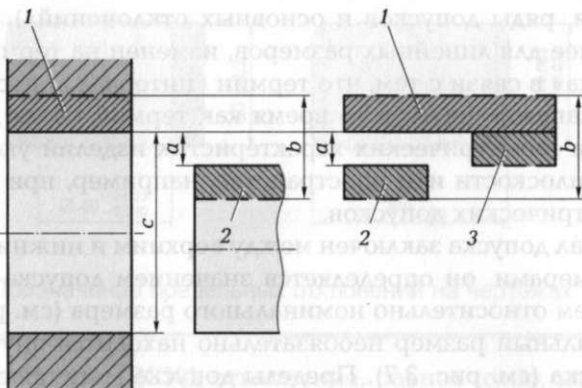


Рис. 3.9. Графическое представление посадки с зазором:

1 — интервал допуска отверстия; 2 — интервал допуска вала, случай, когда верхний предельный размер вала ниже, чем нижний предельный размер отверстия, наименьший зазор больше нуля; 3 — интервал допуска вала, случай, когда верхний предельный размер вала совпадает с нижним предельным размером отверстия, наименьший зазор равен нулю; a — наименьший зазор; b — наибольший зазор; c — номинальный размер, равный нижнему предельному размеру отверстия

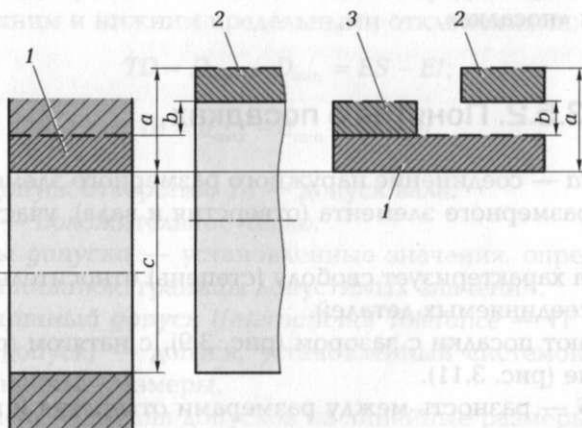


Рис. 3.10. Графическое представление посадки с натягом:

1 — интервал допуска отверстия; 2 — интервал допуска вала, случай, когда нижний предельный размер вала совпадает с верхним предельным размером отверстия, наименьший натяг равен нулю; 3 — интервал допуска вала, случай, когда нижний предельный размер вала больше, чем верхний предельный размер отверстия, наименьший натяг больше нуля; a — наибольший натяг; b — наименьший натяг; c — номинальный размер, равный нижнему предельному размеру отверстия

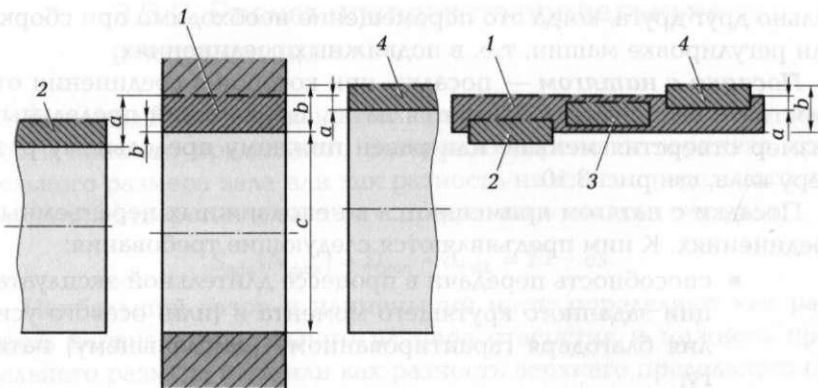


Рис. 3.11. Схематическое представление переходной посадки:

1 — интервал допуска отверстия; 2 4 — интервал допуска вала (показано несколько возможных расположений); а — наибольший зазор; б — наибольший натяг; с — номинальный размер, равный нижнему предельному размеру отверстия

Наибольший зазор — разность между верхним предельным размером отверстия и нижним предельным размером вала или разность между верхним предельным отклонением отверстия и нижним предельным отклонением вала, см. рис. 3.9.

Натяг N — разность размеров отверстия и вала до сборки, когда диаметр вала больше диаметра отверстия:

$$N = D - d.$$

Натяг — отрицательное число.

Наименьший натяг — разность между верхним предельным размером отверстия и нижним предельным размером вала или разность между верхним предельным отклонением отверстия и нижним предельным отклонением вала, см. рис. 3.10.

Наибольший натяг — разность между нижним предельным размером отверстия и верхним предельным размером вала, см. рис. 3.10.

Посадка с зазором — посадка, при которой в соединении отверстия и вала всегда образуется зазор, т.е. нижний предельный размер отверстия больше или равен верхнему предельному размеру вала, см. рис. 3.9.

Посадки с зазором применяются в тех случаях, когда детали в процессе работы машин должны свободно перемещаться относи-

тельно друг друга, когда это перемещение необходимо при сборке или регулировке машин, т. е. в подвижных соединениях.

Посадка с натягом — посадка, при которой в соединении отверстия и вала всегда образуется натяг, т. е. верхний предельный размер отверстия меньше или равен нижнему предельному размеру вала, см. рис. 3.10.

Посадки с натягом применяются в неподвижных неразъемных соединениях. К ним предъявляются следующие требования:

- способность передачи в процессе длительной эксплуатации заданного крутящего момента и (или) осевого усилия благодаря гарантированному (наименьшему) натягу;
- отсутствие при этом недопустимых деформаций наиболее напряженной детали (условие прочности учитывается при расчете наибольшего натяга).

Переходная посадка — посадка, при которой в соединении отверстия и вала возможно получение как зазора, так и натяга, см. рис. 3.11.

В переходной посадке интервал допуска отверстия и интервал допуска вала перекрываются частично или полностью, поэтому наличие зазора или натяга в соединении зависит от действительных размеров отверстия и вала.

Переходные посадки применяются в неподвижных разъемных соединениях. Неподвижность посадки обеспечивается дополнительным креплением различными стопорными устройствами (шпонками, штифтами и др.). Характеризуется вероятностью получения в соединении как зазора, так и натяга.

Диапазон посадки — арифметическая сумма допусков размеров двух размерных элементов, образующих посадку.

Диапазон посадки — положительное число.

Диапазон посадки с зазором также может быть определен как разность между наибольшим и наименьшим зазорами:

$$TS = S_{\max} - S_{\min} = TD + Td.$$

Диапазон посадки с натягом также может быть определен как разность между наибольшим и наименьшим натягами:

$$TN = N_{\max} - N_{\min} = TD + Td.$$

Диапазон переходной посадки также может быть определен как сумма наибольшего зазора и наибольшего натяга:

$$TS(N) = S_{\max} + N_{\max} = TD + Td.$$

3.5.3. Расчет посадок по предельным отклонениям

Наименьший зазор и наибольший натяг определяют как разность нижнего предельного размера отверстия и верхнего предельного размера вала или как разность нижнего предельного отклонения отверстия и верхнего предельного отклонения вала:

$$S_{\min}(N_{\max}) = D_{\min} - d_{\max} = EI - es.$$

Наибольший зазор и наименьший натяг определяют как разность верхнего предельного размера отверстия и нижнего предельного размера вала или как разность верхнего предельного отклонения отверстия и нижнего предельного отклонения вала:

$$S_{\max}(N_{\min}) = D_{\max} - d_{\min} = ES - ei.$$

Результат вычисления имеет положительное или отрицательное значение. Из определений следует, что зазоры положительны, а натяги отрицательны.

После интерпретации результатов вычислений берут абсолютные значения и рассматривают их совместно в качестве характеристики зазоров и натягов.

Пример 3.1. Рассчитаем посадку $\varnothing 36H8/f7$.

Решение. Из таблиц ГОСТ 25347—2013 (ISO 286-2: 2010) «Основные нормы взаимозаменяемости. Характеристики изделий геометрические. Система допусков на линейные размеры. Ряды допусков, предельные отклонения отверстий и валов» находим для отверстия $\varnothing 36H8$:

$$ES = +0,039 \text{ мм},$$

следовательно, верхний предельный размер

$$D_{\max} = 36,039 \text{ мм};$$

$$EI = 0,$$

следовательно, нижний предельный размер

$$D_{\min} = 36,000 \text{ мм}.$$

Допуск отверстия:

$$TD = ES - EI = 0,039 - 0 = 0,039 \text{ мм}.$$

Из таблиц ГОСТ 25347—2013 находим для вала $\varnothing 36f7$:

$$es = -0,025 \text{ мм},$$

следовательно, верхний предельный размер

$$d_{\max} = 35,975 \text{ мм};$$

$$ei = -0,050 \text{ мм},$$

следовательно, нижний предельный размер

$$d_{\min} = 35,950 \text{ мм.}$$

Тогда допуск вала:

$$Td = es - ei = -0,025 - (-0,050) = 0,025 \text{ мм.}$$

Следовательно, разность верхнего предельного размера отверстия и нижнего предельного размера вала определится как

$$D_{\max} - d_{\min} = 36,039 - 35,950 = 0,089 \text{ мм,}$$

а разность нижнего предельного размера отверстия и верхнего предельного размера вала будет равна

$$D_{\min} - d_{\max} = 36,000 - 35,975 = 0,025 \text{ мм.}$$

Оба результата вычислений имеют положительные значения. Это означает, что посадка имеет наибольший зазор $S_{\max} = 0,089$ мм, наименьший зазор $S_{\min} = 0,025$ мм и является посадкой с зазором.

Диапазон посадки с зазором:

$$TS = S_{\max} - S_{\min} = 0,089 - 0,025 = 0,064 \text{ мм;}$$

$$TS = TD + Td = 0,039 + 0,025 = 0,064 \text{ мм.}$$

Пример 3.2. Рассчитаем посадку $\varnothing 36H7/p6$.

Решение. Из таблиц ГОСТ 25347—2013 находим для отверстия $\varnothing 36H7$:

$$ES = +0,025 \text{ мм,}$$

следовательно, верхний предельный размер

$$D_{\max} = 36,025 \text{ мм;}$$

$$EI = 0,$$

следовательно, нижний предельный размер

$$D_{\min} = 36,000 \text{ мм.}$$

Допуск отверстия:

$$TD = ES - EI = 0,025 - 0 = 0,025 \text{ мм.}$$

Из таблиц ГОСТ 25347—2013 находим для вала $\varnothing 36p6$:

$$es = +0,033 \text{ мм,}$$

следовательно, верхний предельный размер $d_{\max} = 36,033$ мм;

$$ei = +0,017 \text{ мм,}$$

следовательно, нижний предельный размер

$$d_{\min} = 36,017 \text{ мм.}$$

Тогда допуск вала:

$$Td = es - ei = 0,033 - 0,017 = 0,016 \text{ мм.}$$

Следовательно, разность верхнего предельного размера отверстия и нижнего предельного размера вала определится как

$$D_{\max} - d_{\min} = 36,025 - 36,017 = +0,008 \text{ мм,}$$

а разность нижнего предельного размера отверстия и верхнего предельного размера вала будет равна

$$D_{\min} - d_{\max} = 36,000 - 36,033 = -0,033 \text{ мм.}$$

Результаты вычислений имеют положительное и отрицательное значения. Это означает, что посадка имеет наибольший зазор $S_{\max} = 0,008$ мм, наибольший натяг $N_{\max} = 0,033$ мм и является переходной посадкой.

Диапазон переходной посадки:

$$TS(N) = S_{\max} + N_{\max} = 0,008 + 0,033 = 0,041 \text{ мм;}$$

$$TS(N) = TD + Td = 0,025 + 0,016 = 0,041 \text{ мм.}$$

Пример 3.3. Рассчитаем посадку $\varnothing 36H7/s6$.

Решение. Из таблиц ГОСТ 25347—2013 находим для отверстия $\varnothing 36H7$:

$$ES = +0,025 \text{ мм,}$$

следовательно, верхний предельный размер

$$D_{\max} = 36,025 \text{ мм;}$$

$$EI = 0,$$

следовательно, нижний предельный размер

$$D_{\min} = 36,000 \text{ мм.}$$

Допуск отверстия:

$$TD = ES - EI = 0,025 - 0 = 0,025 \text{ мм.}$$

Из таблиц ГОСТ 25347—2013 находим для вала $\varnothing 36s6$:

$$es = +0,059 \text{ мм,}$$

следовательно, верхний предельный размер

$$d_{\max} = 36,059 \text{ мм;}$$

$$ei = +0,043 \text{ мм,}$$

следовательно, нижний предельный размер

$$d_{\min} = 36,043 \text{ мм.}$$

Тогда допуск вала:

$$Td = es - ei = 0,059 - 0,043 = 0,016 \text{ мм.}$$

Следовательно, разность верхнего предельного размера отверстия и нижнего предельного размера вала определится как:

$$D_{\max} - d_{\min} = 36,025 - 36,043 = -0,018 \text{ мм;}$$

а разность нижнего предельного размера отверстия и верхнего предельного размера вала будет равна:

$$D_{\min} - d_{\max} = 36,000 - 36,059 = -0,059 \text{ мм.}$$

Оба результата вычислений имеют отрицательные значения. Это означает, что посадка имеет наибольший натяг $N_{\max} = 0,059$ мм, наименьший натяг $N_{\min} = 0,018$ мм и является посадкой с натягом.

Диапазон посадки с натягом:

$$TN = N_{\max} - N_{\min} = 0,059 - 0,018 = 0,041 \text{ мм;}$$

$$TN = TD + Td = 0,025 + 0,016 = 0,041 \text{ мм.}$$

3.5.4. Система посадок ИСО на гладкие цилиндрические соединения

Система посадок ИСО — система посадок, образующихся при соединении валов и отверстий, допуски на линейные размеры которых установлены в соответствии с системой допусков ИСО на линейные размеры.

Основные положения системы посадок ИСО приведены в ГОСТ 25346—2013.

При применении системы допусков ИСО на линейные размеры подразумевают, что номинальные размеры вала и отверстия, образующих посадку, одинаковы.

Основание системы. Различают посадки в системе отверстия и посадки в системе вала.

Посадка в системе отверстия — посадка, в которой основное отклонение (нижнее предельное отклонение) отверстия равно нулю. На рис. 3.12 показаны возможные сочетания основного отверстия с валами, соответствующими различным классам допуска.

Посадки в системе отверстия — посадки, в которых нижний предельный размер отверстия равен номинальному размеру. Требуемые зазоры или натяги образуются сочетанием валов, имеющих различные классы допуска, с основными отверстиями, класс

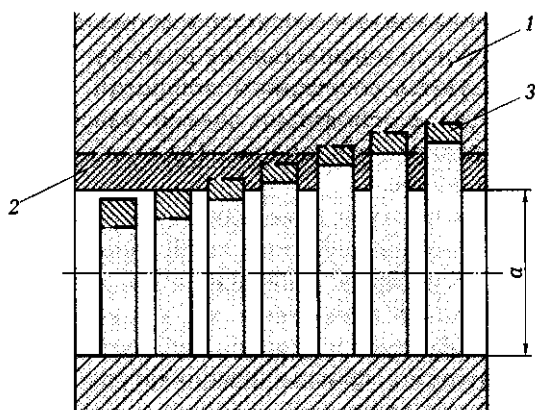


Рис. 3.12. Посадки в системе отверстия:

1 — деталь с основным отверстием; 2 — интервал допуска основного отверстия; 3 — интервал допуска различных валов; а — номинальный размер

допуска которых имеет нулевое основное отклонение. Примеры посадок в системе отверстия: $H7/f6$, $H6/k5$, $H6/p6$.

Посадка в системе вала — посадка, в которой основное отклонение (верхнее предельное отклонение) вала равно нулю. На рис. 3.13 показаны возможные сочетания основного вала с отверстиями, соответствующими различным классам допуска.

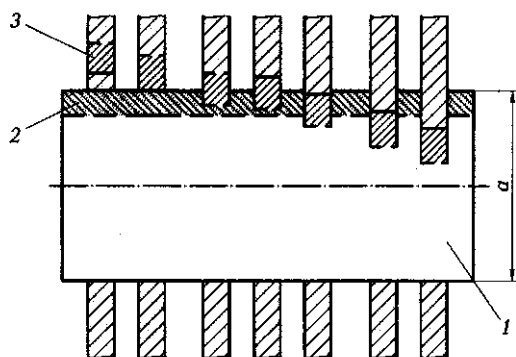


Рис. 3.13. Посадки в системе отверстия:

1 — основной вал; 2 — интервал допуска основного вала; 3 — интервал допуска различных отверстий; а — номинальный размер

Посадки в системе вала — посадки, в которых верхний предельный размер вала равен номинальному размеру. Требуемые зазоры или натяги образуются сочетанием отверстий, имеющих различные классы допуска, с основными валами, класс допуска которых имеет нулевое основное отклонение. Примеры посадок в системе вала: $G7/h6$, $F6/h6$, $M6/h6$.

Выбор системы посадки определяется конструктивными, технологическими и экономическими соображениями. По экономическим и технологическим соображениям наибольшее распространение получила система отверстия, так как при этой системе на производстве образуется меньше различных по размерам отверстий, следовательно, меньше номенклатура режущего инструмента для обработки отверстий, а также и мерительного инструмента. Обработка же валов с различными размерами проще: например, на одном токарном или шлифовальном станке можно получить различные значения диаметров у вала.

Система вала применяется:

- когда в производстве используется цельнотянутый материал в виде прутка без последующей механической обработки;
- при использовании стандартных деталей и узлов, поставляемых по кооперации;
- когда на одном и том же валу или оси установлено несколько деталей с различным характером посадок (полось автомобиля или вторичный вал коробки передач автомобиля);
- если по конструктивным или эксплуатационным условиям невозможно применить систему отверстий (например, когда требуется чередовать соединение нескольких отверстий одинакового номинального размера, но с различными посадками на одном валу).

Квалитеты. Квалитет — совокупность допусков, соответствующих одному уровню точности для любых номинальных размеров. Точность в пределах одного квалитета изменяется только в зависимости от номинального размера.

Для размеров до 3 и 3 ... 150 мм по величине допуска установлено 20 квалитетов: 01; 0; 1; 2; ...; 18 (в порядке понижения точности). Для размеров до 1 мм квалитеты 14—18 не применяются.

В квалитетах, начиная с 17, значения допусков увеличиваются в 10 раз при переходе с данного квалитета на пять квалитетов грубее.

Допуски (мкм) для качеств с IT2 по IT18 определяются по формуле

$$IT = ki,$$

где k — число единиц допуска (коэффициент, характеризующий изменение допуска по качествам). Значения k , начиная с 5-го качества, приблизительно соответствуют геометрической прогрессии со знаменателем $\phi = 1,6$ и приведены в табл. 3.3; i — единица допуска, выражающая зависимость допуска от номинального размера, мкм. Значения единицы допуска приведены в табл. 3.4.

Для размеров до 500 мм:

$$i = 0,45\sqrt[3]{D} + 0,001D.$$

Для размеров свыше 500 до 3 150 мм:

$$i = 0,004D + 2,1,$$

где D — среднее геометрическое из крайних значений каждого интервала номинальных размеров, мм.

В целях упрощения построения системы допусков весь диапазон номинальных размеров до 3 150 мм подразделяют на основные интервалы: до 3; 3—6; 6—10; 10—18; 18—30; 30—50; 50—80 и др. Значения допусков вычисляют для среднего геометрического значения D :

$$D = \sqrt{D_{\min} D_{\max}},$$

где D_{\min} , D_{\max} — граничные значения интервала размеров.

Таблица 3.3. Число единиц допуска

| Квалитет | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
|--------------------------|---|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|-------|-------|
| Число единиц допуска k | 7 | 10 | 16 | 25 | 40 | 64 | 100 | 160 | 250 | 400 | 640 | 1 000 | 1 600 | 2 500 |

Таблица 3.4. Значения единицы допуска для интервалов номинальных размеров

| Интервалы размеров, мм | 3—6 | 6—10 | 10—18 | 18—30 | 30—50 | 50—80 | 80—120 | 120—180 | 180—250 | 250—315 | 315—400 |
|------------------------|------|------|-------|-------|-------|-------|--------|---------|---------|---------|---------|
| Значение i , мкм | 0,73 | 0,90 | 1,08 | 1,31 | 1,56 | 1,86 | 2,17 | 2,52 | 2,90 | 3,23 | 3,54 |

Для интервала до 3 мм принимается $D = \sqrt{3}$.

Полученный допуск принимается постоянным для всех номинальных размеров, относящихся к заданному интервалу.

Единица допуска i является мерой точности. Величина допуска неполно характеризует точность обработки. Например, у валов $\varnothing 6_{-0,03}$ и $\varnothing 80_{-0,03}$ величина допуска одинаковая. Но обработать второй вал значительно труднее.

В качестве единицы точности, с помощью которой можно установить зависимость изменения допуска с изменением диаметра, является единица допуска.

Пример 3.4. Даны две детали $\varnothing 20 \pm 0,1$ и $\varnothing 500^{+0,5}$. Какая из деталей обработана с большей точностью?

Решение.

$$k_1 = \frac{IT_1}{i} = \frac{200}{0,45\sqrt[3]{20} + 0,001 \cdot 20} = 164;$$

$$k_2 = \frac{IT_2}{i} = \frac{500}{0,45\sqrt[3]{500} + 0,001 \cdot 500} = 140.$$

Значение k_1 больше значения k_2 . По табл. 3.3 определяем, что точность у $\varnothing 500$ выше.

Числовые значения допусков для размеров приведены в табл. 3.5.

Табл. 3.5. Числовые значения допусков для размеров (с 01 по 12-й квалитеты)

| Интервалы номинальных размеров, мм | Квалитеты | | | | | | |
|--|-----------|-----|-----|-----|-----|----|----|
| | 01 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| | мкм | | | | | | |
| До 3 включительно | 0,3 | 0,5 | 0,8 | 1,2 | 2 | 3 | 4 |
| Свыше 3 до 6 | 0,4 | 0,6 | 1 | 1,5 | 2,5 | 4 | 5 |
| Свыше 6 до 10 | 0,4 | 0,6 | 1 | 1,5 | 2,5 | 4 | 6 |
| Свыше 10 до 18 | 0,5 | 0,8 | 1,2 | 2 | 3 | 5 | 8 |
| Свыше 18 до 30 | 0,6 | 1 | 1,5 | 2,5 | 4 | 6 | 9 |
| Свыше 30 до 50 | 0,6 | 1 | 1,5 | 2,5 | 4 | 7 | 11 |
| Свыше 50 до 80 | 0,8 | 1,2 | 2 | 3 | 5 | 8 | 13 |
| Свыше 80 до 120 | 1 | 1,5 | 2,5 | 4 | 6 | 10 | 15 |
| Свыше 120 до 180 | 1,2 | 2 | 3,5 | 5 | 8 | 12 | 18 |
| Свыше 180 до 250 | 2 | 3 | 4,5 | 7 | 10 | 14 | 20 |

| Интервалы номинальных размеров, мм | Квалитеты | | | | | | |
|--|-----------|----|----|-----|-----|-----|-----|
| | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| | мкм | | | | | | |
| До 3 включительно | 6 | 10 | 14 | 25 | 40 | 60 | 100 |
| Свыше 3 до 6 | 8 | 12 | 18 | 30 | 48 | 75 | 120 |
| Свыше 6 до 10 | 9 | 15 | 22 | 36 | 58 | 90 | 150 |
| Свыше 10 до 18 | 11 | 18 | 27 | 43 | 70 | 110 | 180 |
| Свыше 18 до 30 | 13 | 21 | 33 | 52 | 84 | 130 | 210 |
| Свыше 30 до 50 | 16 | 25 | 39 | 62 | 100 | 160 | 250 |
| Свыше 50 до 80 | 19 | 30 | 46 | 74 | 120 | 190 | 300 |
| Свыше 80 до 120 | 22 | 35 | 54 | 87 | 140 | 220 | 350 |
| Свыше 120 до 180 | 25 | 40 | 63 | 100 | 160 | 250 | 400 |
| Свыше 180 до 250 | 29 | 46 | 72 | 115 | 185 | 290 | 460 |

Класс допуска. В системе допусков ИСО на линейные размеры класс допуска указывают сочетанием *идентификатора основного отклонения* (прописной буквы латинского алфавита для отверстий и строчной буквы для валов) и номера квалитета (например, D13 для отверстий; h9 для валов и др.).

Класс допуска содержит информацию о значении допуска и положении интервала допуска относительно номинального размера размерного элемента.

Класс допуска определяет значение допуска. Значение допуска зависит от номера квалитета и номинального размера размерного элемента.

Положение интервала допуска. Ряды основных отклонений. Интервал допуска (прежний термин «поле допуска») — множество значений размера, ограниченное верхним и нижним предельными размерами. Класс допуска определяет положение интервала допуска относительно номинального размера посредством основного отклонения, входящего в обозначение класса допуска. Положение интервала допуска, т. е. основное отклонение, определяется одной или несколькими буквами, называемыми идентификаторами основного отклонения.

Основные отклонения обозначают следующим образом:

- прописной буквой (буквами) латинского алфавита (*A... ZC*) для отверстий;
- строчной буквой (буквами) латинского алфавита (*a... zc*) для валов.

Для обозначения основных отклонений не применяют следующие буквы: *I, i, L, l, O, o, Q, q, W, w*.

Основное отклонение устанавливают для интервала номинальных размеров.

Основное отклонение не зависит от качества, а изменяется в зависимости от номинального размера.

Основное отклонение считают положительным [знак «+» (плюс)], если определяемый им предел допуска располагается выше номинального размера, и считают отрицательным [знак «-» (минус)], если соответствующий предел допуска располагается ниже номинального размера.

Возможные случаи расположения интервалов допуска относительно номинального размера и правило знаков [«+» (плюс) или «-» (минус)] для основных отклонений отверстий и валов показаны на рис. 3.14.

Понятие «основное отклонение» не распространяется на отклонения *Js* и *js*, пределы допуска в этом случае располагаются симметрично относительно номинального размера и отклонения, соответствующие их границам, равны $\pm IT/2$.

Другое (не основное) предельное отклонение (верхнее или нижнее) определяют следующим образом. Для отверстий от *A* до *H* основное отклонение (нижнее) *EI* постоянно для всех качеств, а верхнее отклонение:

$$ES = EI + IT.$$

Для отверстий от *K* до *ZC* основное отклонение (верхнее) *ES* постоянно, а нижнее отклонение:

$$EI = ES - IT.$$

Для валов от *a* до *h* основное отклонение *es*, а нижнее отклонение:

$$ei = es - IT;$$

для валов от *k* до *zc* основное отклонение *i*, а верхнее отклонение:

$$es = e + IT.$$

Основные отклонения валов и отверстий, обозначенных одной буквой, равны по величине, но противоположны по знаку.

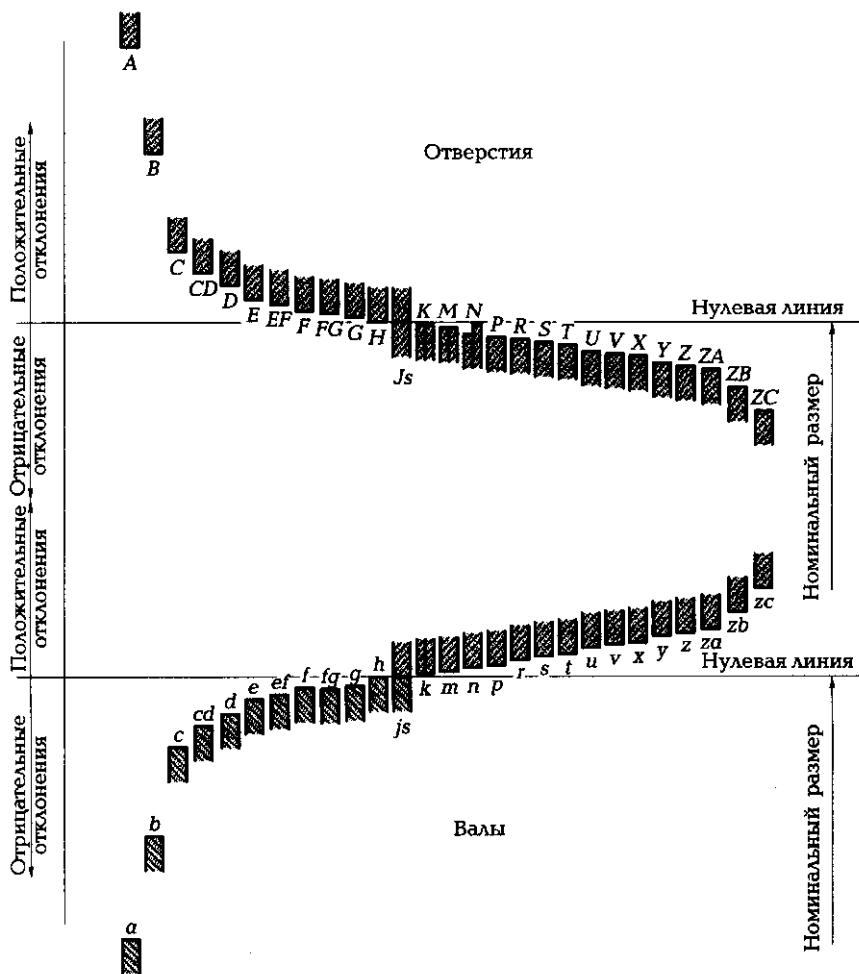


Рис. 3.14. Схема расположения и обозначения основных отклонений

Для отверстий с основными отклонениями А—Н:

$$EI = -es.$$

Для отверстий с основными отклонениями J—ZC:

$$ES = -ei.$$

Из этого правила сделано исключение. Для отверстий с основными отклонениями J, K, M, N до 8-го качества включительно и для отверстий с основными отклонениями от P до ZC до 7-го ква-

литета включительно для интервалов размеров свыше 3 до 500 мм существует специальное правило для определения основных отклонений:

$$ES = -ei + \Delta,$$

где Δ равна разности между допуском рассматриваемого качества IT_n и допуском ближайшего более точного качества IT_{n-1} :

$$\Delta = IT_n - IT_{n-1}.$$

Указанное правило определения основных отклонений сформулировано на основе следующего принципа: основное отклонение отверстия должно быть таким, чтобы две соответствующие друг другу посадки в системе отверстия и в системе вала, в которых отверстие данного качества соединяется с валом ближайшего более точного качества, например $H7/p6$ и $P7/h6$, обеспечивали идентичные зазоры и натяги.

Числовые значения основных отклонений размеров приведены в табл. 3.6.

Подробности, касающиеся основных отклонений Js, J, K, M и N (j, js, k, m, n), приведены в табл. 3.7 и 3.8. Числовые значения поправки Δ — в табл. 3.9.

Значения основных отклонений $P-ZC$ до $IT7$ включительно определяются как значения для качеств, свыше $IT7$, увеличенные на Δ .

Таблица 3.6. Основные отклонения размеров, мкм

| Интервалы номинальных размеров, мм | Для всех качеств | | | | | | | | | | |
|------------------------------------|------------------|-----|-----|----|----|----|----|----|----|---|---|
| | A | B | C | CD | D | E | EF | F | FG | G | H |
| | Для всех качеств | | | | | | | | | | |
| | a | b | c | cd | d | e | ef | f | fg | g | h |
| До 3 включительно | 270 | 140 | 60 | 34 | 20 | 14 | 10 | 6 | 4 | 2 | 0 |
| 3 — 6 | 240 | 140 | 70 | 46 | 30 | 20 | 14 | 10 | 6 | 4 | 0 |
| 6 — 10 | 280 | 150 | 80 | 56 | 40 | 25 | 18 | 13 | 8 | 5 | 0 |
| 10 — 18 | 290 | 150 | 95 | — | 50 | 32 | — | 16 | — | 6 | — |
| 18 — 30 | 300 | 160 | 110 | — | 65 | 40 | — | 20 | — | 7 | 0 |
| 30 — 40 | 310 | 170 | 120 | — | 80 | 50 | — | 25 | — | 9 | 0 |
| 40 — 50 | 320 | 180 | 130 | | | | | | | | |

Продолжение табл. 3.6

| Интервалы номинальных размеров, мм | Для всех квалитетов | | | | | | | | | | |
|--|---------------------|-----|-----|----|-----|-----|----|----|----|----|---|
| | A | B | C | CD | D | E | EF | F | FG | G | H |
| | Для всех квалитетов | | | | | | | | | | |
| | a | b | c | cd | d | e | ef | f | fg | g | h |
| 50 — 65 | 340 | 190 | 140 | — | 100 | 60 | — | 30 | — | 10 | 0 |
| 65 — 80 | 360 | 200 | 150 | | | | | | | | |
| 80 — 100 | 380 | 220 | 170 | — | 120 | 72 | — | 36 | — | 12 | 0 |
| 100 — 120 | 410 | 240 | 180 | | | | | | | | |
| 120 — 140 | 460 | 260 | 200 | — | 145 | 85 | — | 43 | — | 14 | 0 |
| 140 — 160 | 520 | 280 | 210 | | | | | | | | |
| 160 — 180 | 580 | 310 | 230 | | | | | | | | |
| 180 — 200 | 660 | 340 | 240 | — | 170 | 100 | — | 50 | — | 15 | 0 |
| 200 — 225 | 740 | 380 | 260 | | | | | | | | |
| 225 — 250 | 820 | 420 | 280 | | | | | | | | |

Продолжение табл. 3.6

| Интервалы номиналь- ных раз- меров, мм | Для квалитетов свыше IT7 | | | | | | | | | | | |
|---|--------------------------|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | P | R | S | T | U | V | X | Y | Z | ZA | ZB | ZC |
| | Для всех квалитетов | | | | | | | | | | | |
| | p | r | s | t | u | v | x | y | z | za | zb | zc |
| До 3 вклю- чительно | 6 | 10 | 14 | — | 18 | — | 20 | — | 26 | 32 | 40 | 60 |
| 3 — 6 | 12 | 15 | 19 | — | 23 | — | 28 | — | 35 | 42 | 50 | 80 |
| 6 — 10 | 15 | 19 | 23 | — | 28 | — | 34 | — | 42 | 52 | 67 | 97 |
| 10 — 14 | 18 | 23 | 28 | — | 33 | — | 40 | — | 50 | 64 | 90 | 130 |
| 14 — 18 | | | | | | 39 | 45 | — | 60 | 77 | 108 | 150 |
| 18 — 24 | 22 | 28 | 35 | — | 41 | 47 | 54 | 63 | 73 | 98 | 136 | 188 |
| 24 — 30 | | | | 41 | 48 | 55 | 64 | 75 | 88 | 118 | 160 | 218 |
| 30 — 40 | 26 | 34 | 43 | 48 | 60 | 68 | 80 | 94 | 112 | 148 | 200 | 274 |
| 40 — 50 | | | | 54 | 70 | 81 | 97 | 114 | 136 | 180 | 242 | 325 |

| Интервалы номинальных размеров, мм | Для квалитетов свыше ИТ7 | | | | | | | | | | | |
|------------------------------------|--------------------------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|
| | P | R | S | T | U | V | X | Y | Z | ZA | ZB | ZC |
| | Для всех квалитетов | | | | | | | | | | | |
| | p | r | s | t | u | v | x | y | z | za | zb | zc |
| 50 — 65 | 32 | 41 | 53 | 66 | 87 | 102 | 122 | 144 | 172 | 226 | 300 | 405 |
| 65 — 80 | | 43 | 59 | 75 | 102 | 120 | 146 | 174 | 210 | 274 | 360 | 480 |
| 80 — 100 | 37 | 51 | 71 | 91 | 124 | 146 | 178 | 214 | 258 | 335 | 445 | 585 |
| 100 — 120 | | 54 | 79 | 104 | 144 | 172 | 210 | 254 | 310 | 400 | 525 | 690 |
| 120 — 140 | 43 | 63 | 92 | 122 | 170 | 202 | 248 | 300 | 365 | 470 | 620 | 800 |
| 140 — 160 | | 65 | 100 | 134 | 190 | 228 | 280 | 340 | 415 | 535 | 700 | 900 |
| 160 — 180 | | 68 | 108 | 146 | 210 | 252 | 310 | 380 | 465 | 600 | 780 | 1000 |
| 180 — 200 | 50 | 77 | 122 | 166 | 236 | 284 | 350 | 425 | 520 | 670 | 880 | 1150 |
| 200 — 225 | | 80 | 130 | 180 | 258 | 310 | 385 | 470 | 575 | 740 | 960 | 1250 |
| 225 — 250 | | 84 | 140 | 196 | 284 | 340 | 425 | 520 | 640 | 820 | 1050 | 1350 |

Таблица 3.7. Значения основных отклонений js , j , k , m и n для валов

| Интервалы номинальных размеров, мм | Основные отклонения валов, мкм | | | | | | | |
|------------------------------------|--------------------------------|-----------|-----|-----|-------------------------------|---------------------------------|-----|-----|
| | js | j | | | k | | m | n |
| | Квалитеты | | | | | | | |
| | Все | ИТ5 и ИТ6 | ИТ7 | ИТ8 | Свыше ИТ4 до ИТ7 включительно | До ИТ3 включительно и свыше ИТ7 | Все | Все |
| До 3 включительно | $\pm IT/2$ | -2 | -4 | -6 | 0 | 0 | +2 | +4 |
| 3 — 6 | | -2 | -4 | — | +1 | 0 | +4 | +8 |
| 6 — 10 | | -2 | -5 | — | +1 | 0 | +6 | +10 |
| 10 — 18 | | -3 | -6 | — | +1 | 0 | +7 | +12 |
| 18 — 30 | | -4 | -8 | — | +2 | 0 | +8 | +15 |

| Интервалы номинальных размеров, мм | Основные отклонения валов, мкм | | | | | | | |
|------------------------------------|--------------------------------|-----------|-----|-----|-------------------------------|---------------------------------|-----|-----|
| | js | j | | | k | | m | n |
| | Квалитеты | | | | | | | |
| | Все | IT5 и IT6 | IT7 | IT8 | Свыше IT4 до IT7 включительно | До IT3 включительно и свыше IT7 | Все | Все |
| 30 — 50 | $\pm IT/2$ | -5 | -10 | — | +2 | 0 | +9 | +17 |
| 50 — 80 | | -7 | -12 | — | +2 | 0 | +11 | +20 |
| 80 — 120 | | -9 | -15 | — | +3 | 0 | +13 | +23 |
| 120 — 180 | | -11 | -18 | — | +3 | 0 | +15 | +27 |
| 180 — 250 | | -13 | -21 | — | +4 | 0 | +17 | +31 |

Таблица 3.8. Значения основных отклонений JS, J, K, M и N для отверстий

| Интервалы номинальных размеров, мм | Основные отклонения отверстий, мкм | | | | | | | | | |
|------------------------------------|------------------------------------|-----|-----|-----|---------------------|-----------|---------------------|-----------|---------------------|-----------|
| | Js | J | | | K | | M | | N | |
| | Все | IT6 | IT7 | IT8 | До IT8 включительно | Свыше IT8 | До IT6 включительно | Свыше IT6 | До IT8 включительно | Свыше IT8 |
| | | | | | | | | | | |
| До 3 включительно | $\pm IT/2$ | +2 | +4 | +6 | 0 | 0 | -2 | -2 | -4 | -4 |
| 3 — 6 | | +5 | +6 | +10 | -1 + Δ | — | -4 + Δ | -4 | -8 + Δ | 0 |
| 6 — 10 | | +5 | +8 | +12 | -1 + Δ | — | -6 + Δ | -6 | -10 + Δ | 0 |
| 10 — 18 | | +6 | +10 | +15 | -1 + Δ | — | -7 + Δ | -7 | -12 + Δ | 0 |
| 18 — 30 | | +8 | +12 | +20 | -2 + Δ | — | -8 + Δ | -8 | -15 + Δ | 0 |
| 30 — 50 | | +10 | +14 | +24 | -2 + Δ | — | -9 + Δ | -9 | -17 + Δ | 0 |
| 50 — 80 | | +13 | +18 | +28 | -2 + Δ | — | -11 + Δ | -11 | -20 + Δ | 0 |

| Интервалы номинальных размеров, мм | Основные отклонения отверстий, мкм | | | | | | | | | |
|------------------------------------|------------------------------------|--------|--------|--------|------------------------|--------------|------------------------|--------------|------------------------|--------------|
| | J_s | J | | | K | | M | | N | |
| | Все | IT_6 | IT_7 | IT_8 | До IT_8 включительно | Свыше IT_8 | До IT_8 включительно | Свыше IT_8 | До IT_8 включительно | Свыше IT_8 |
| 80 — 120 | | +16 | +22 | +34 | $-3 + \Delta$ | — | $-13 + \Delta$ | -13 | $-23 + \Delta$ | 0 |
| 120 — 180 | | +18 | +26 | +41 | $-3 + \Delta$ | — | $-15 + \Delta$ | -15 | $-27 + \Delta$ | 0 |
| 180 — 250 | | +22 | +30 | +47 | $-4 + \Delta$ | — | $-17 + \Delta$ | -17 | $-31 + \Delta$ | 0 |

Таблица 3.9. Значение поправки Δ , мкм

| Интервалы номинальных размеров, мм | Квалитеты | | | | | |
|------------------------------------|-----------|-----|---|---|----|----|
| | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| До 3 включительно | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 — 6 | 1 | 1,5 | 1 | 3 | 4 | 6 |
| 6 — 10 | 1 | 1,5 | 2 | 3 | 6 | 7 |
| 10 — 18 | 1 | 2 | 3 | 3 | 7 | 9 |
| 18 — 30 | 1,5 | 2 | 3 | 4 | 8 | 12 |
| 30 — 50 | 1,5 | 3 | 4 | 5 | 9 | 14 |
| 50 — 80 | 2 | 3 | 5 | 6 | 11 | 16 |
| 80 — 120 | 2 | 4 | 5 | 7 | 13 | 19 |
| 120 — 180 | 3 | 4 | 6 | 7 | 15 | 23 |
| 180 — 250 | 3 | 4 | 6 | 9 | 17 | 26 |

Пример 3.5. Дан вал $\varnothing 130k7^{(+0,043}_{+0,003})$. Определим предельные отклонения для отверстия $\varnothing 130K7$.

Решение. Определяем величину поправки Δ .
Для номинального размера 130 мм:

$$IT_7 = 40 \text{ мкм}; \quad IT_6 = 25 \text{ мкм};$$

$$\Delta = IT_n - IT_{n-1} = 40 - 25 = 15 \text{ мкм}.$$

Верхнее предельное отклонение отверстия:

$$ES = -ei + \Delta = -3 + 15 = 12 \text{ мкм.}$$

Нижнее предельное отклонение отверстия:

$$EI = ES - IT = 12 - 40 = -28 \text{ мкм.}$$

Выбор класса допуска. В первую очередь следует применять предпочтительные классы допусков (их обозначение заключено в рамки), рис. 3.15 и 3.16.

Выбор посадок. Посадку назначают, ориентируясь на известные соединения с аналогичными условиями работы, или определяют по результатам вычисления допустимых зазоров и/или натягов исходя из функциональных требований к сопрягаемым деталям и возможности их изготовления.

На функционирование посадки оказывают влияние не только размеры сопрягаемых деталей и их допуски, но и другие параметры — отклонения формы, ориентации и месторасположения, шероховатость поверхности, плотность материала, термическая обработка и материал деталей, образующих посадку.

В выбранной системе посадок качества и основное отклонение (положение интервала допуска) отверстия и вала следует на-

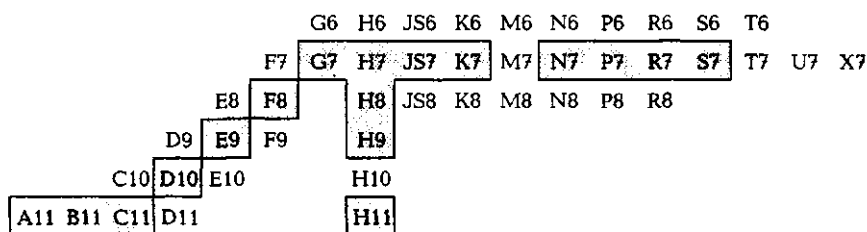


Рис. 3.15. Предпочтительные классы допусков отверстия

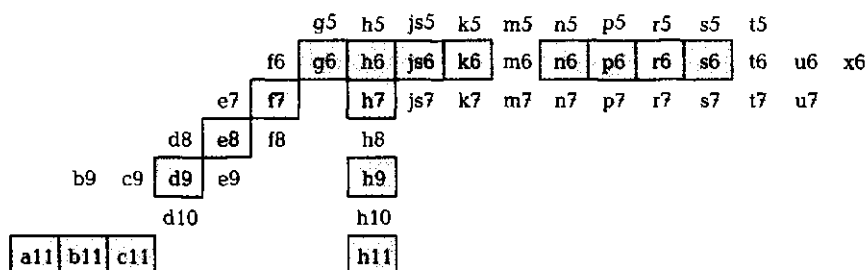


Рис. 3.16. Предпочтительные классы допусков валов

| Основное отверстие | Классы допусков валов | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|-----------------------|------------|-----------|--------------------|-----------|-----------|-------------------|-----------|----|-----------|-----------|----|----|----|----|-----------|
| | Посадки с зазором | | | Переходные посадки | | | Посадки с натягом | | | | | | | | | |
| H6 | | | | g5 | h5 | js5 | k5 | m5 | n5 | p5 | | | | | | |
| H7 | | | | f6 | g6 | h6 | js6 | k6 | m6 | n6 | p6 | r6 | s6 | t6 | u6 | x6 |
| H8 | | | | e7 | f7 | h7 | js7 | k7 | m7 | | | s7 | | u7 | | |
| H9 | | | d8 | e8 | f8 | h8 | | | | | | | | | | |
| H10 | b9 | c9 | d9 | e9 | | h9 | | | | | | | | | | |
| H11 | b11 | c11 | d10 | | | h10 | | | | | | | | | | |

Рис. 3.17. Предпочтительные посадки в системе отверстия

значать таким образом, чтобы обеспечить минимальный и максимальный зазоры (или натяги), которые наилучшим образом удовлетворяют требуемым условиям эксплуатации.

Для предпочтительного применения из всей совокупности возможных посадок выделено небольшое их число. Посадки предпочтительного применения в системе отверстия и в системе вала показаны на рис. 3.17 и 3.18 соответственно. По экономическим соображениям, в первую очередь, следует выбирать те из посадок, обозначения которых на этих рисунках заключены в рамки.

| Основное отверстие | Классы допусков валов | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|-----------------------|-----|------------|-----------|--------------------|------------|-----------|------------|-------------------|----|-----------|-----------|-----------|-----------|----|----|----|
| | Посадки с зазором | | | | Переходные посадки | | | | Посадки с натягом | | | | | | | | |
| h5 | | | | | G6 | H6 | JS6 | K6 | M6 | N6 | P6 | | | | | | |
| h6 | | | | | F7 | G7 | H7 | JS7 | K7 | M7 | N7 | P7 | R7 | S7 | T7 | U7 | X7 |
| h7 | | | | | E8 | F8 | H8 | | | | | | | | | | |
| h8 | | | D9 | E9 | F9 | H9 | | | | | | | | | | | |
| h9 | | | | E8 | F8 | H8 | | | | | | | | | | | |
| | | | D9 | E9 | H9 | | | | | | | | | | | | |
| | B11 | C10 | D10 | | | H10 | | | | | | | | | | | |

Рис. 3.18. Предпочтительные посадки в системе вала

3.5.5. Условное обозначение посадок и классов допуска на чертежах

На сборочных чертежах в местах соединений посадка указывается рядом с номинальным размером в виде дроби. В числителе проставляется обозначение класса допуска отверстия буквенное или числовое, в знаменателе — обозначение класса допуска вала.

Например, $52H7/g6$ или $52\frac{H7}{g6}$.

Класс допуска обозначают сочетанием идентификатора основного отклонения [прописной буквы (букв) латинского алфавита для отверстий и строчной буквы (букв) для валов] и номера качества. Например, $H7$, $h7$.

Размер и его допуск указывают сочетанием номинального размера и класса допуска или сочетанием номинального размера и предельных отклонений.

Обозначение класса допуска и предельные отклонения указывают после номинального размера:

$32G7$ эквивалентно $32_{+0,009}^{+0,034}$;

$80js5$ эквивалентно $80 \pm 0,6$;

$100g6$ эквивалентно $100_{-0,034}^{-0,016}$.

Если предельные отклонения соответствуют классу допуска, разрешается дополнительно к предельным отклонениям указывать в скобках класс допуска, и наоборот, после обозначения класса допуска указывать в скобках предельные отклонения. Например, $32G7_{(+0,009)}^{(+0,034)}$ или $32_{+0,009}^{+0,034}(G7)$.

3.5.6. Общая характеристика наиболее распространенных посадок

Посадки с натягом. Подразделяются по значению гарантированного (минимального) натяга на три группы:

1) посадки с минимальным гарантированным натягом ($\frac{H7}{p6}$, $\frac{H6}{p5}$, $\frac{P7}{h6}$, $\frac{P6}{h5}$). Применяют при малых нагрузках и для уменьшения деформаций собранных деталей. Неподвижность соединения обеспечивается дополнительным креплением. Допускают редкие разборки;

2) посадки с умеренными гарантированными натягами ($\frac{H7}{r6}$, $\frac{H7}{s6}$, $\frac{H7}{t6}$, $\frac{R7}{h6}$, $\frac{T7}{h6}$ и др.). Допускают передачу нагрузок сред-

ней величины без дополнительного крепления. Могут применяться при передаче больших нагрузок, если прочность деталей не позволяет применить посадки с большими натягами. Сборка может производиться под прессом;

3) посадки с большими гарантированными натягами ($\frac{H7}{u7}$, $\frac{H8}{u8}$, $\frac{U8}{h7}$, $\frac{H8}{x8}$, $\frac{H8}{z8}$ и др.). Передают тяжелые динамические нагрузки без дополнительного крепления. Необходима проверка соединяемых деталей на прочность. Сборка осуществляется способом термических деформаций.

Посадки переходные. Подразделяются на группы:

1) посадки с более вероятными натягами ($\frac{H7}{m6}$, $\frac{H7}{n6}$, $\frac{M7}{h6}$, $\frac{N7}{h6}$ и др.). Применяют при больших ударных нагрузках, при повышенной точности центрирования и редких разборках;

2) посадки с равновероятными натягами и зазорами ($\frac{H7}{k6}$, $\frac{K7}{h7}$ и др.). Имеют наибольшее применение из переходных посадок, так как для сборки и разборки не требуют больших усилий и обеспечивают высокую точность центрирования;

3) посадки с более вероятными зазорами ($\frac{H7}{js6}$, $\frac{Js7}{h6}$ и др.) применяют при небольших статических нагрузках, частых разборках и затрудненной сборке.

Посадки с зазором. $\frac{H7}{h6}$, $\frac{H8}{h7}$ — наименьший зазор равен нулю, поэтому они находятся на грани между неподвижными и подвижными посадками. При хорошей смазке детали перемещаются свободно друг относительно друга (пиноли в станках, поршневые штоки в цилиндрах). Но при дополнительном креплении превращаются в неподвижную посадку. Это осуществляется в случаях, когда требуется точное центрирование соединяемых деталей при частой сборке и разборке (соединение валов со сменными колесами).

$\frac{H7}{f7}$, $\frac{H7}{f6}$, $\frac{H7}{e7}$, $\frac{H8}{d8}$, $\frac{H9}{d9}$, $\frac{H7}{c8}$ и др. применяются в соединениях для облегчения сборки и невысокой точности центрирования, для обеспечения смазки трущихся поверхностей, компенсации тепловых деформаций, для сборки деталей с антикоррозионными покрытиями.

$\frac{H8}{f8}$, $\frac{H7}{f7}$ применяют в подшипниках скольжения, поршневых компрессорах.

3.5.7. Методы выбора посадок

Выбор посадок производится одним из трех методов.

Метод прецедентов, или аналогов. Посадка выбирается по аналогии с посадкой в надежно работающем узле. Сложность метода заключается в оценке и сопоставлении условий работы посадки в проектируемом узле и аналоге.

Метод подобия. Посадки выбираются на основании рекомендаций отраслевых технических документов и литературных источников. Недостатком метода является, как правило, отсутствие точных количественных оценок условий работы сопряжений.

Расчетный метод является наиболее обоснованным методом выбора посадок. Посадки рассчитываются на основании полуэмпирических зависимостей. Однако формулы не всегда учитывают сложный характер физических явлений, происходящих в посадке.

3.5.8. Порядок выбора и назначения квалитетов точности и посадок

Выбор квалитета точности. Определение оптимальной точности обработки и выбор квалитета точности часто представляют собой сложную задачу. При произвольном назначении необоснованно высокого квалитета с малыми допусками увеличивается стоимость изготовления деталей. При выборе более низкого квалитета точности стоимость изготовления уменьшается, но снижаются надежность и долговечность работы деталей в узле.

Для решения этой задачи необходимо учесть не только характер посадки конкретного соединения и условия его работы, но и рекомендации, учитывающие целесообразность назначения того или иного квалитета и возможность изготовления деталей необходимой точности.

Общее представление о применении квалитетов в соединениях машин и механизмов можно получить из следующих примеров.

Квалитеты 5 и 6 применяются в особо точных соединениях, таких как поршневой палец—втулка верхней головки шатуна двигателя автомобиля, шейки коленчатого вала—вкладыши подшипников и т. п.

Квалитеты 7 и 8 применяются для соединений зубчатых колес с валом, установки подшипников качения в корпус, фрез на оправки и т. п.

Квалитеты 9 и 10 применяются в тех соединениях, где требования к точности понижены, а к соосности и центрированию они сравнительно высокие (например, установка поршневого кольца в канавке поршня по высоте, посадка звездочек на вал и т. д.).

Квалитеты 11 и 12 распространены в подвижных соединениях сельскохозяйственных машин, в посадках часто снимаемых деталей, не требующих высокой точности центрирования, в сварных соединениях.

Посадки с зазором. Характер и условия работы подвижных соединений отличаются разнообразием. Примеры обозначения показаны на рис. 3.19. Например, соединения поршень—гильза, шейка коленчатого вала—вкладыш, поршневой палец—штука верхней головки шатуна одного и того же двигателя отличаются друг от друга характером взаимного перемещения деталей, температурным режимом, действующими нагрузками и т. д. Поэтому использовать единую методику расчета зазоров подвижных соединений для конкретного случая практически невозможно.

Для соединений каждого типа существует своя методика расчета зазоров. Так как подбирать специальную методику в большинстве случаев нецелесообразно, часто используют установленные практическим опытом примерные области применения рекомендуемых посадок.

Посадки группы H/h характерны тем, что минимальный зазор в них равен нулю. Они применяются для пар с высокими требованиями к центрированию отверстия и вала, если взаимное перемещение вала и отверстия предусматривается при регулировании, а также при малых скоростях и нагрузках.

Посадку H5/h4 назначают для соединений с высокими требованиями к точности центрирования и направлению, в которых допускается проворачивание и продольное перемещение деталей при регулировании. Эти посадки используют вместо переходных (в том числе для сменных частей). Для вращающихся деталей их применяют только при малых нагрузках и частотах вращения.

Посадку H6/h5 назначают при высоких требованиях к точности центрирования (например, пиноли задней бабки токарного станка, измерительных зубчатых колес при их установке на шпиндели зубоизмерительных приборов).

Посадка H7/h6 (предпочтительная) используется при менее жестких требованиях к точности центрирования (например, сменных зубчатых колес в станках, корпусов под подшипники качения в станках, автомобилях и других машинах).

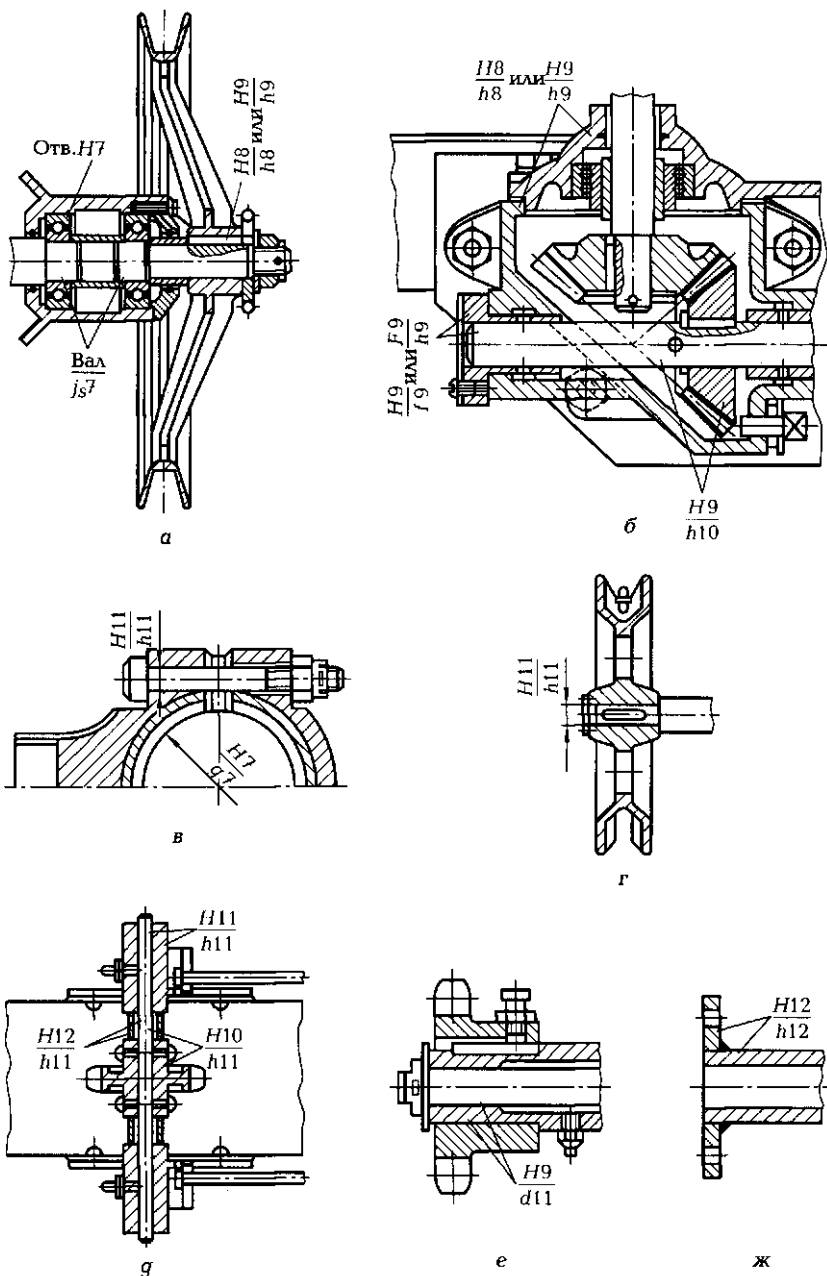


Рис. 3.19. Примеры обозначения разных отклонений на одной детали:
 а — шкив насоса; б — редуктор; в — шатун; г — шкив; д — звездочка
 цепи; е — вкладыш звездочки; ж — фланец

Посадку $H8/h7$ (предпочтительную) назначают для центрирующих поверхностей, если можно расширить допуски на изготовление при несколько пониженных требованиях к соосности.

ЕСДП допускает применение посадок группы H/h , образованных из полей допусков квалитетов 9—12, для соединений с низкими требованиями к точности центрирования (например, для посадки шкивов зубчатых колес, муфт и других деталей на вал с креплением шпонкой для передачи крутящего момента, при невысоких требованиях к точности механизма в целом и небольших нагрузках).

Посадки группы H/g ($H5/g4$; $H6/g5$ и $H7/g6$ — предпочтительная) имеют наименьший гарантированный зазор из всех посадок с зазорами. Их применяют для точных подвижных соединений, требующих гарантированного, но небольшого зазора для обеспечения точного центрирования, например золотника в пневматических устройствах, шпинделя в опорах делительной головки, в плунжерных парах и т. п.

Из всех подвижных посадок наиболее распространены **посадки группы H/f** ($H7/f7$ — предпочтительная, $H8/f8$ и т. п., образованные из полей допусков квалитетов 6, 8 и 9). Например, посадку $H7/f7$ применяют в подшипниках скольжения электродвигателей малой и средней мощности, поршневых компрессорах, в коробках скоростей станков, центробежных насосах, в двигателях внутреннего сгорания и т. п.

Посадки группы H/e ($H7/e8$, $H8/e8$ — предпочтительная, $H7/e7$ и посадки, подобные им, образованные из полей допусков квалитетов 8 и 9) обеспечивают легкоподвижное соединение при жидкостном трении. Их применяют для быстровращающихся валов больших машин. Например, первые две посадки — для валов турбогенераторов и электродвигателей, работающих с большими нагрузками. Посадки $H9/e9$ и $H8/e8$ используют для крупных подшипников в тяжелом машиностроении, свободно вращающихся на валах зубчатых колес, и для других деталей, включаемых муфтами сцепления, для центрирования крышек цилиндров.

Таблица 3.10. Соотношение зазоров и натягов в переходных посадках

| Вид соединения | Соотношение зазоров и натягов при посадке, % | | | |
|----------------|--|-----------------|-----------------|------------------|
| | $\frac{H7}{h6}$ | $\frac{H7}{m6}$ | $\frac{H7}{k6}$ | $\frac{H7}{js6}$ |
| С натягом | 99 | 80 | 37 | 1 |
| С зазором | 1 | 20 | 63 | 99 |

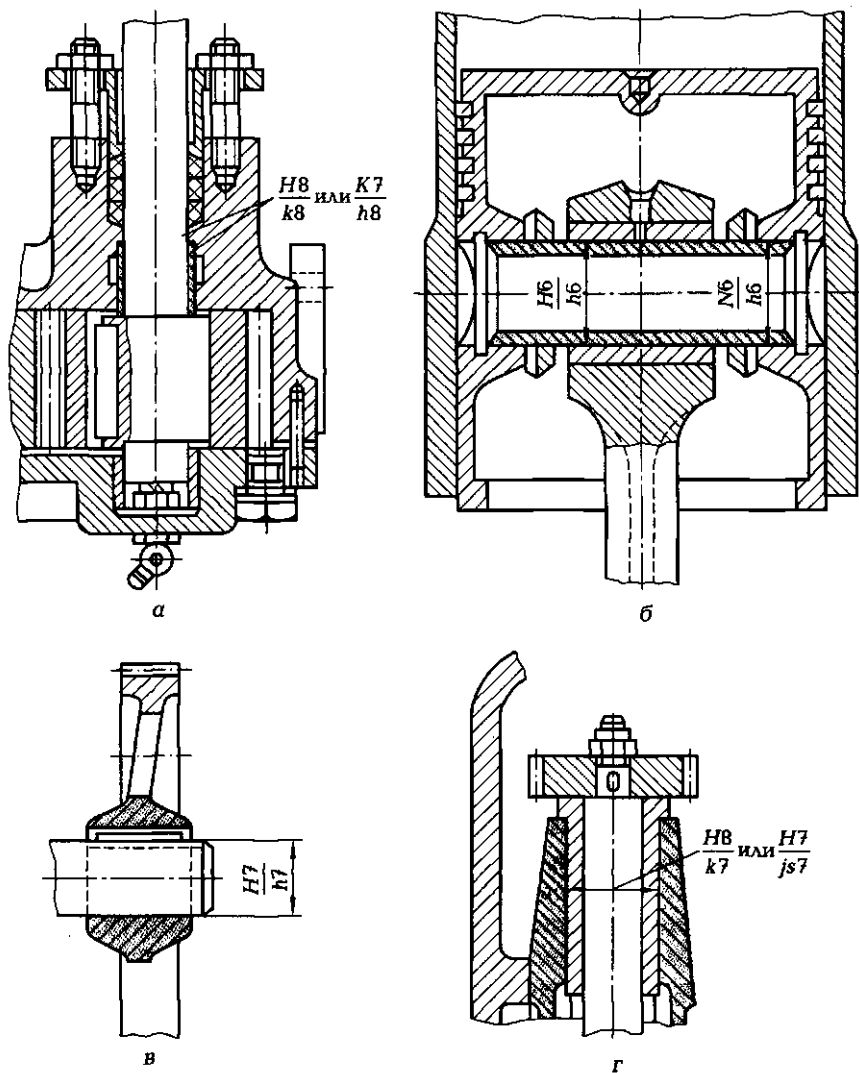


Рис. 3.20. Примеры использования переходных посадок:

а — соединение вал—шестерня; б — соединение поршень—поршневой палец—головка шатуна; в — соединение вал—маховик; г — соединение втулка—корпус

Посадки группы H/d ($H8/d9$, $H9/d9$ — предпочтительная и подобные им посадки, образованные из полей допусков квалитетов 7, 10 и 11) применяют сравнительно редко. Например, посадка $H7/d8$ используется при высокой частоте вращения и относительно малом давлении в крупных подшипниках, а также в сопряжении поршень — цилиндр в компрессорах, а посадка $H9/d9$ — при невысокой точности механизмов.

Посадки группы H/c ($H7/c8$ и $H8/c9$) характеризуются значительными гарантированными зазорами, и их применяют для соединений с невысокими требованиями к точности центрирования. Наиболее часто эти посадки назначают для подшипников скольжения (с различными температурными коэффициентами линейного расширения вала и втулки), работающих при повышенных температурах (в паровых турбинах, двигателях, турбокомпрессорах, других машинах, в которых при работе зазоры значительно уменьшаются вследствие того, что вал нагревается и расширяется больше, чем вкладыш подшипника).

Переходные посадки. Переходные посадки групп H/js , H/k , H/m , H/n применяют для неподвижных разъемных соединений, в которых требуется обеспечить центрирование сменных деталей или (при необходимости) перемещение их друг относительно друга. Посадки характеризуются возможностью появления в сопряжении как зазоров, так и натягов. Неподвижность соединения достигается дополнительно с помощью шпонок, штифтов и других видов креплений.

Переходные посадки предусмотрены только в квалитетах 4—8, причем точность вала в них должна быть на один квалитет выше точности отверстия.

В переходных посадках наибольший натяг получается при сочетании наибольшего предельного размера вала (d_{max}) и наименьшего предельного размера отверстия (D_{min}), а наибольший зазор — при сочетании наибольшего предельного размера отверстия (D_{max}) и наименьшего предельного размера вала (d_{min}).

Примерное соотношение натягов и зазоров в различных переходных посадках представлено в табл. 3.10.

Из табл. 3.10 видно, что при посадке $H7/k6$ большая часть сопряжений будет иметь натяги и зазоры, близкие к нулю. Поэтому для центрирования деталей наибольшее распространение получила именно эта посадка. Посадку $H7/n6$ рекомендуется применять в тех случаях, когда кроме центрирования натяг необходим для предотвращения осевых перемещений. При частой разборке и сборке соединения чаще всего используют посадку $H7/js6$.

Примеры назначения переходных посадок показаны на рис. 3.20.

Посадки с гарантированным натягом. Посадки с гарантированным натягом применяют для получения неподвижных неразъемных соединений, причем относительная неподвижность сопрягаемых деталей обеспечивается благодаря упругим деформациям, возникающим при соединении вала с отверстием. При этом предельные размеры вала больше предельных размеров отверстия. В некоторых случаях для повышения надежности соединения дополнительно используют штифты или другие средства крепления, при этом крутящий момент передается штифтом, а натяг удерживает деталь от осевых перемещений.

Благодаря надежности и простоте конструкции и сборки узлов, включающих в себя соединения с натягом, применяются во всех отраслях машиностроения (например, при сборке оси с колесом для железнодорожного транспорта, втулок с валами, ступицы червячного колеса с венцом и т. д.).

Выбор способа получения соединения (под прессом, с нагревом охватывающей или с охлаждением охватываемой детали и т. д.) определяется конструкцией деталей, их размерами, требуемым натягом и другими факторами.

Надежность посадок с натягом зависит от многих факторов: механических свойств материалов соединяемых поверхностей, шероховатости и геометрии поверхностей, конструктивных особенностей, величины натяга, метода сборки и т. д. Одна часть этих факторов учитывается при расчете посадки с натягом, а другую часть учесть в расчетах трудно или невозможно, поэтому в ответственных случаях выбранную в соответствии с расчетом посадку рекомендуется проверять экспериментально.

Примеры применения посадок с натягом. Частота применения предпочтительных посадок с натягом соответствует порядку увеличения гарантированного натяга.

Для соединений тонкостенных деталей, а также деталей со стенками большей толщины, испытывающих небольшие нагрузки, предпочтительной будет посадка $H7/p6$. Для соединений кондукторных втулок с корпусом кондуктора, запорных втулок с дополнительным креплением предпочтительными будут посадки $H7/r6$, $H7/s6$. Посадка $H7/u7$ применяется для таких соединений, как втулки подшипников скольжения в тяжелом машиностроении, венцы червячных колес, маховики. Посадки, характеризующиеся самыми большими величинами гарантированного натяга — $H8/x8$, $H8/z8$, применяются для тяжело нагруженных соединений, воспринимающих большие крутящие моменты и осевые силы.

3.6. ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ ДЕТАЛЕЙ ПО ФОРМЕ, ОРИЕНТАЦИИ, МЕСТОРАСПОЛОЖЕНИЮ И БИЕНИЮ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Точность деталей по форме, ориентации, месторасположению и биению поверхностей характеризуется отклонением реальных значений от номинальных, заданных чертежом.

3.6.1. Виды геометрических допусков

Обеспечение взаимозаменяемости деталей и соединений по форме, ориентации, месторасположению и биению поверхностей должно осуществляться в соответствии с ГОСТ Р 53442—2015 «Основные нормы взаимозаменяемости. Характеристики изделий геометрические. Установление геометрических допусков. Допуски формы, ориентации, месторасположения и биения». Стандарт распространяется на нормирование геометрических характеристик изделий и устанавливает правила указания и определения на чертежах допусков формы, ориентации, месторасположения и биения. Данный стандарт соответствует требованиям международного стандарта ИСО 1101:2012 «Размерные и геометрические требования к изделиям и их проверка», который содержит способы указания геометрических допусков на 3D-изображениях.

Геометрические допуски следует устанавливать в соответствии с функциональными требованиями, предъявляемыми к изделию. При этом необходимо также принимать во внимание требования к изготовлению и контролю изделия.

Геометрический допуск, установленный для элемента, определяет поле допуска, внутри которого должен целиком располагаться этот элемент.

Геометрический элемент представляет собой отдельную часть детали, такую как точка, линия или поверхность. Он может быть полным элементом (поверхность, линия на поверхности) или производным элементом (центральная точка, средняя линия и средняя поверхность).

Поле допуска — область на плоскости или в пространстве, ограниченная одной или несколькими идеальными линиями или

поверхностями и характеризуемая линейным размером, называемым допуском.

В зависимости от нормируемой геометрической характеристики элемента и способа указания допуска на чертеже поле допуска может представлять собой:

- область внутри окружности;
- область между двумя концентрическими окружностями;
- область между двумя равноотстоящими (эквидистантными) линиями или двумя параллельными прямыми линиями;
- область внутри цилиндра;
- область между двумя соосными цилиндрами;
- область между двумя равноотстоящими (эквидистантными) поверхностями или двумя параллельными плоскостями;
- область внутри сферы.

Не стандартизованы понятия прилегающего профиля или прилегающей поверхности, а определение видов полей допусков основаны на геометрически идеальных элементах. При определении видов полей допусков термины «ось» и «средняя плоскость» соответствуют производным элементам (прямая и плоскость) идеальной формы, а термины «средняя линия» и «средняя поверхность» — производным элементам (кривая линия и криволинейная поверхность) неидеальной формы.

Подразделение допусков на допуски формы, ориентации, месторасположения и биения, нормируемые ими геометрические характеристики элементов, знаки (условные обозначения), соответствующие характеристикам, необходимость указания базы при установлении того или иного геометрического допуска приведены в табл. 3.11.

Наименование геометрического допуска состоит из слова «допуск» и геометрической характеристики элемента, нормируемой им, например «допуск прямолинейности». Исключение составляет допуск позиционирования, который в сложившейся практике имеет наименование «позиционный допуск».

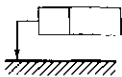
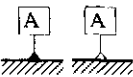











Дополнительные условные знаки, используемые при указании геометрических допусков на чертежах, должны соответствовать приведенным знакам в табл. 3.12.

Определение различных видов геометрических допусков приведено в табл. 3.13.

Таблица 3.11. Знаки геометрических характеристик

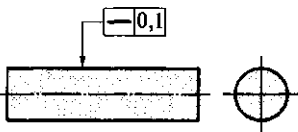
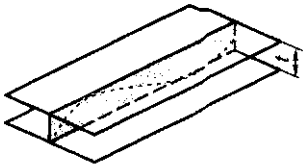
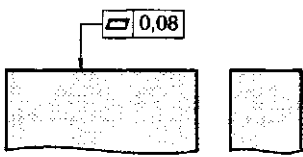
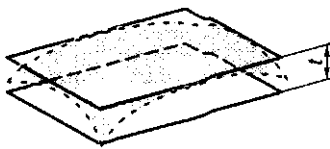
| Группа допусков | Геометрическая характеристика | Обозначение геометрической характеристики | Необходимость указания базы |
|---------------------------|-------------------------------|---|-----------------------------|
| Допуски формы | Прямолинейность | — | Нет |
| | Плоскостность | | Нет |
| | Круглость | ○ | Нет |
| | Цилиндричность | | Нет |
| | Форма заданного профиля | | Нет |
| | Форма заданной поверхности | | Нет |
| Допуски ориентации | Параллельность | // | Да |
| | Перпендикулярность | | Да |
| | Наклон | | Да |
| | Форма заданного профиля | | Да |
| | Форма заданной поверхности | | Да |
| Допуски месторасположения | Позиционирование | ⊕ | Да или нет |
| | Концентричность (для точек) | ⊙ | Да |
| | Соосность (для осей) | ⊗ | Да |
| | Симметричность | ≡ | Да |
| | Форма заданного профиля | | Да |
| | Форма заданной поверхности | | Да |
| Допуски биеения | Биеение | | Да |
| | Полное биеение | | Да |

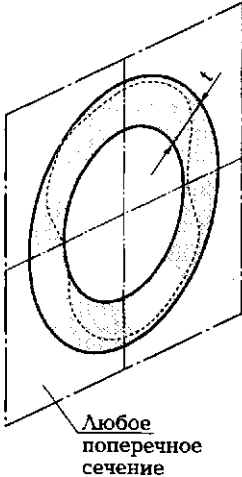
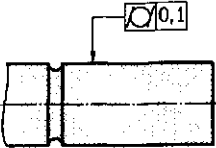
Таблица 3.12. Дополнительные условные знаки, используемые при указании геометрических допусков на чертежах

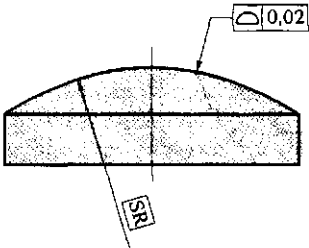
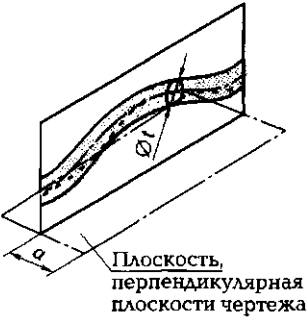
| Описание | Знак |
|--|---|
| Указание нормируемого элемента |  |
| Указание базового элемента |  |
| Указание базового участка |  |
| Теоретически точный размер |  |
| Средний элемент |  |
| Смещенное поле допуска | UZ |
| Между |  |
| От ... до |  |
| Выступающее поле допуска |  |
| Требование максимума материала |  |
| Требование минимума материала |  |
| Условие свободного состояния (для нежестких деталей) |  |
| Со всех сторон (профиль) |  |
| Требование прилегания |  |
| Общее поле допуска | CZ |
| Внутренний диаметр | LD |
| Наружный диаметр | MD |
| Делительный или средний диаметр | PD |
| Элемент-линия | LE |
| Невыпуклый | NC |
| Любое поперечное сечение | ACS |

| Описание | Знак |
|-------------------------|------|
| Направляющий элемент | |
| Плоскость набора | |
| Пересекающая плоскость | |
| Ориентирующая плоскость | |

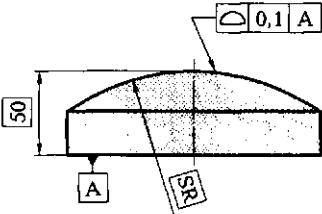
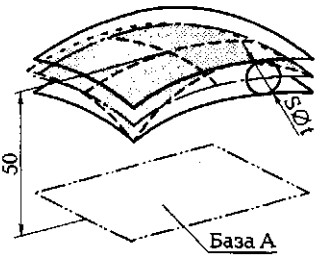
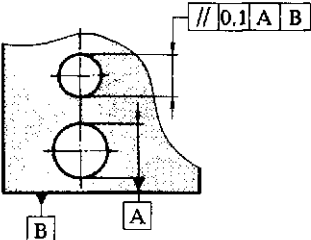
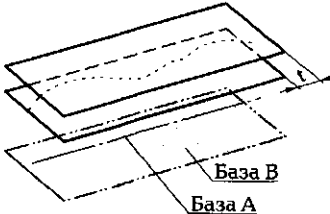
Таблица 3.13. Виды геометрических допусков

| Указание на чертеже и пояснения | Определение поля допуска |
|---|---|
| Допуск прямолинейности | |
| <p>Любая выявленная образующая цилиндрической поверхности должна быть расположена между двумя параллельными плоскостями, расстояние между которыми равно $t = 0,1$ мм</p>  | <p>Поле допуска ограничено двумя параллельными плоскостями, находящимися друг от друга на расстоянии, равном числовому значению допуска t</p>  |
| Допуск плоскостности | |
| <p>Выявленная нормируемая поверхность должна быть расположена между двумя параллельными плоскостями, расстояние между которыми равно $t = 0,08$ мм</p>  | <p>Поле допуска ограничено двумя параллельными плоскостями, расстояние между которыми равно числовому значению допуска t</p>  |

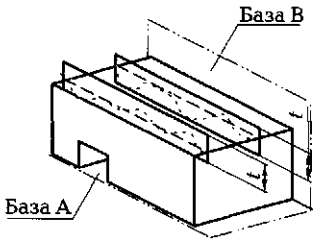
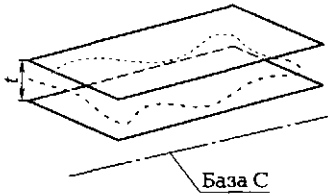
| Указание на чертеже и пояснения | Определение поля допуска |
|--|--|
| Допуск круглости | |
| <p>Выявленная в любом перпендикулярном оси конической поверхности поперечном сечении круговая линия должна быть расположена между двумя компланарными концентрическими окружностями, разность радиусов которых равна $t = 0,1$ мм</p>  | <p>Поле допуска в рассматриваемом поперечном сечении ограничено двумя концентрическими окружностями, разность радиусов которых равна числовому значению допуска t</p>  <p>Любое поперечное сечение</p> |
| Допуск цилиндричности | |
| <p>Выявленная нормируемая цилиндрическая поверхность должна располагаться между двумя соосными цилиндрами, разность радиусов которых равна $t = 0,1$ мм</p>  | <p>Поле допуска ограничено двумя соосными цилиндрами, разность радиусов которых равна числовому значению допуска t</p>  |

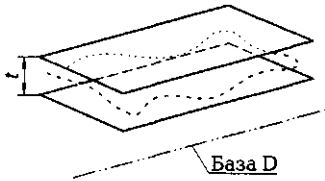
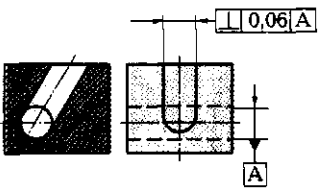
| Указание на чертеже и пояснения | Определение поля допуска |
|--|--|
| Допуск формы заданного профиля безотносительно базы | |
| <p>Выявленная линия на нормируемой поверхности в любой плоскости, параллельной плоскости проекции, на которой указан допуск, должна располагаться между двумя эквидистантными линиями, являющимися огибающими семейства окружностей диаметром $t = 0,04$ мм, центры которых расположены на заданном номинальном профиле</p>  | <p>Поле допуска ограничено двумя эквидистантными линиями, огибающими семейство окружностей, диаметр которых равен числовому значению допуска t и центры которых расположены на линии, имеющей теоретически точную геометрическую форму</p>  <p>Плоскость, перпендикулярная плоскости чертежа</p> |

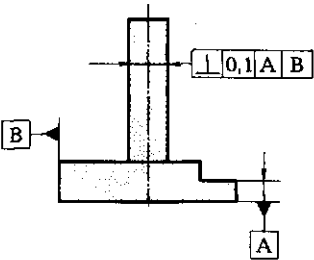
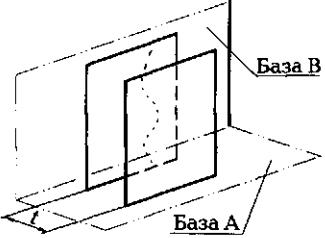
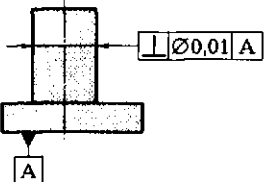
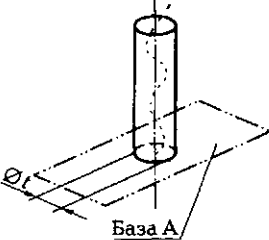
| Указание на чертеже и пояснения | Определение поля допуска |
|--|--|
| Допуск формы заданного профиля относительно комплекта баз | |
| <p>Выявленная линия на нормируемой поверхности в любой плоскости, параллельной плоскости проекции, на которой указан допуск, должна располагаться между двумя эквидистантными линиями, являющимися огибающими семейства окружностей диаметром $t = 0,04$ мм, центры которых расположены на заданном относительно базовых плоскостей А и В номинальном профиле</p>  | <p>Поле допуска ограничено двумя эквидистантными линиями, огибающими семейство окружностей, диаметр которых равен числовому значению допуска t и центры которых расположены на линии, имеющей теоретически точную геометрическую форму относительно базовой плоскости А и базовой плоскости В</p>  |
| Допуск формы заданной поверхности безотносительно базы | |
| <p>Выявленная нормируемая поверхность должна располагаться между двумя эквидистантными поверхностями, являющимися огибающими семейства сфер диаметром 0,02 мм</p>  | <p>Поле допуска ограничено двумя эквидистантными поверхностями, огибающими семейство сфер, диаметр которых равен числовому значению допуска t и центры которых расположены на поверхности, имеющей теоретически точную геометрическую форму</p>  |

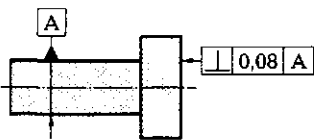
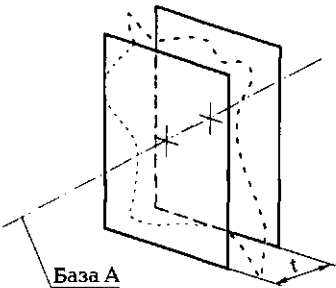
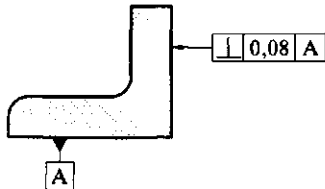
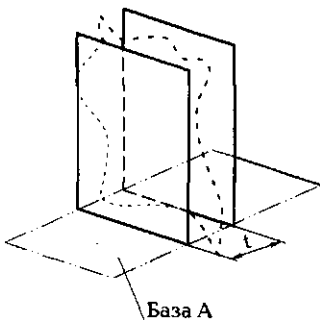
| Указание на чертеже и пояснения | Определение поля допуска |
|--|---|
| Допуск формы заданной поверхности относительно базы | |
| <p>Выявленная нормируемая поверхность должна располагаться между двумя эквидистантными поверхностями, являющимися огибающими семейства сфер диаметром 0,1 мм, центры которых расположены на заданной относительно базовой плоскости А номинальной поверхности</p>  | <p>Поле допуска ограничено двумя эквидистантными поверхностями, огибающими семейство сфер, диаметр которых равен числовому значению допуска t и центры которых расположены на поверхности, имеющей теоретически точную геометрическую форму относительно базовой плоскости А</p>  |
| Допуск параллельности относительно комплекта баз | |
| <p>Выявленная средняя линия нормируемого отверстия должна быть расположена между параллельными плоскостями, которые находятся друг от друга на расстоянии $t = 0,1$ мм и параллельны базовой оси А и ориентированы относительно базовой плоскости В в указанном направлении</p>  | <p>Поле допуска ограничено двумя параллельными плоскостями, расстояние между которыми равно числовому значению допуска t. Плоскости параллельны базе А и ориентированы относительно базы В в указанном на чертеже направлении</p>  |

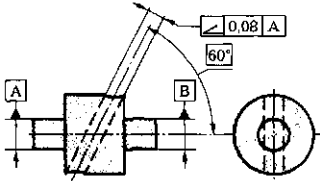
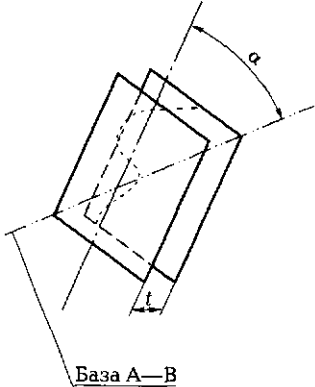
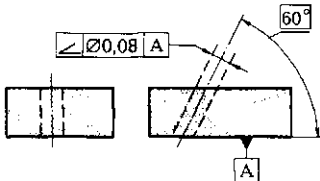
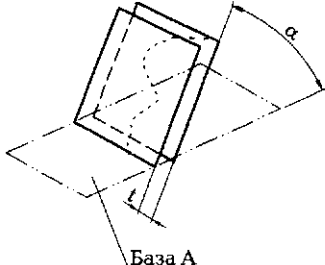
| Указание на чертеже и пояснения | Определение поля допуска |
|--|---|
| Допуск параллельности линии относительно базовой оси | |
| <p>Выявленная средняя линия нормируемого отверстия должна быть расположена внутри цилиндрической области, диаметр которой равен 0,03 мм, а ось — параллельна базовой оси А</p>  | <p>Поле допуска ограничено цилиндром, диаметр которого равен числовому значению допуска t, если перед числовым значением стоит знак диаметра \varnothing, и ось которого параллельна базе А</p>  |
| Допуск параллельности линии относительно базовой плоскости | |
| <p>Выявленная средняя линия нормируемого отверстия должна быть расположена между двумя параллельными плоскостями, которые находятся друг от друга на расстоянии $t = 0,01$ мм и параллельны базовой плоскости В</p>  | <p>Поле допуска ограничено двумя параллельными плоскостями, находящимися друг от друга на расстоянии, равном числовому значению допуска t, и параллельными базе В</p>  |

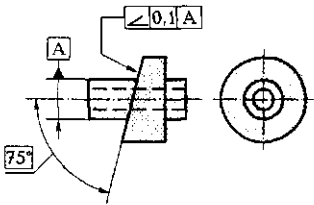
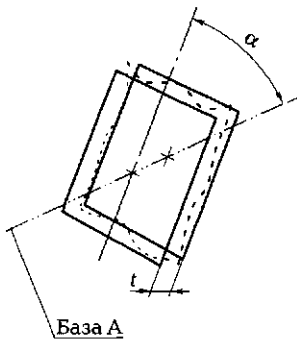
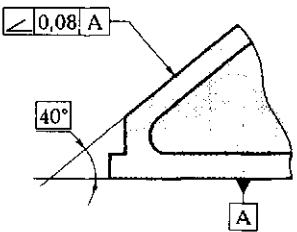
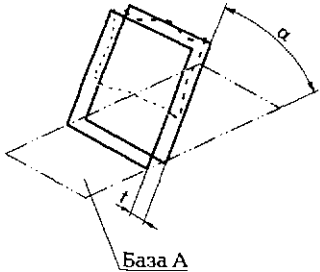
| Указание на чертеже и пояснения | Определение поля допуска |
|---|---|
| Допуск параллельности поверхности относительно базовой плоскости | |
| <p>Выявленная линия на нормируемой поверхности в любой плоскости, параллельной базовой плоскости В, должна быть расположена между двумя параллельными линиями, которые находятся друг от друга на расстоянии $t = 0,02$ мм и параллельны базовой плоскости А</p>  | <p>Поле допуска ограничено двумя параллельными линиями, находящимися друг от друга на расстоянии, равном числовому значению допуска t, ориентированными параллельно базовой плоскости А и лежащими в плоскости, параллельной базовой плоскости В</p>  |
| Допуск параллельности поверхности относительно базовой оси | |
| <p>Выявленная нормируемая поверхность должна быть расположена между двумя параллельными плоскостями, которые находятся друг от друга на расстоянии $t = 0,1$ мм и параллельны базовой оси С</p>  | <p>Поле допуска ограничено двумя параллельными плоскостями, находящимися друг от друга на расстоянии, равном числовому значению допуска t, и параллельными базе</p>  |

| Указание на чертеже и пояснения | Определение поля допуска |
|--|---|
| Допуск параллельности поверхности относительно базовой плоскости | |
| <p>Выявленная нормируемая поверхность должна быть расположена между двумя параллельными плоскостями, которые находятся друг от друга на расстоянии $t = 0,01$ мм и параллельны базовой плоскости D</p>  | <p>Поле допуска ограничено двумя параллельными плоскостями, находящимися друг от друга на расстоянии, равном числовому значению допуска t, и параллельными базовой плоскости</p>  |
| Допуск перпендикулярности линии относительно базовой оси | |
| <p>Выявленная средняя линия нормируемого отверстия должна быть расположена между двумя параллельными плоскостями, которые находятся друг от друга на расстоянии $t = 0,06$ мм и перпендикулярны базовой оси A</p>  | <p>Поле допуска ограничено двумя параллельными плоскостями, находящимися друг от друга на расстоянии, равном числовому значению допуска t, и перпендикулярными базе A</p>  |

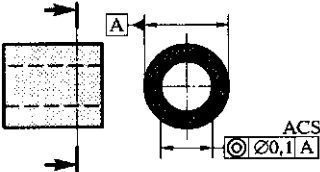
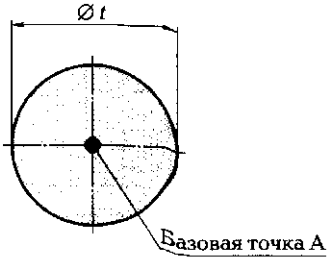
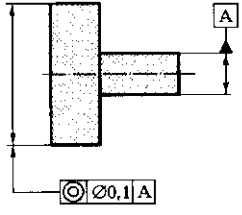
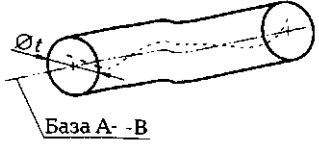
| Указание на чертеже и пояснения | Определение поля допуска |
|---|---|
| Допуск перпендикулярности линии относительно комплекта баз | |
| <p>Выявленная средняя линия нормируемого цилиндра должна быть расположена между двумя параллельными плоскостями, которые находятся друг от друга на расстоянии $t = 0,1$ мм, перпендикулярны базовой плоскости A и параллельны базовой плоскости B</p>  | <p>Поле допуска ограничено двумя параллельными плоскостями, расстояние между которыми равно числовому значению допуска t. Плоскости перпендикулярны базе A и параллельны базе B</p>  |
| Допуск перпендикулярности линии относительно базовой плоскости | |
| <p>Выявленная средняя линия нормируемого цилиндра должна быть расположена внутри цилиндрической области, диаметр которой равен $0,01$ мм, а ось — перпендикулярна базовой плоскости A</p>  | <p>Поле допуска ограничено цилиндром, диаметр которого равен числовому значению допуска t, если перед числовым значением стоит знак диаметра \varnothing, и ось которого перпендикулярна базе A</p>  |

| Указание на чертеже и пояснения | Определение поля допуска |
|---|---|
| Допуск перпендикулярности поверхности относительно базовой оси | |
| <p>Выявленная нормируемая поверхность должна быть расположена между двумя перпендикулярными к базовой оси А параллельными плоскостями, расстояние между которыми равно $t = 0,08$ мм</p>  | <p>Поле допуска ограничено двумя параллельными плоскостями, расстояние между которыми равно числовому значению допуска t, и перпендикулярными базе А</p>  |
| Допуск перпендикулярности поверхности относительно базовой плоскости | |
| <p>Выявленная нормируемая поверхность должна быть расположена между двумя перпендикулярными к базовой оси А параллельными плоскостями, расстояние между которыми равно $t = 0,08$ мм</p>  | <p>Поле допуска ограничено двумя параллельными плоскостями, расстояние между которыми равно числовому значению допуска t, и перпендикулярными базе А</p>  |

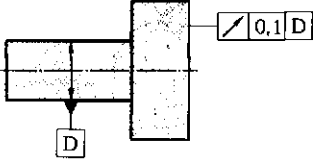
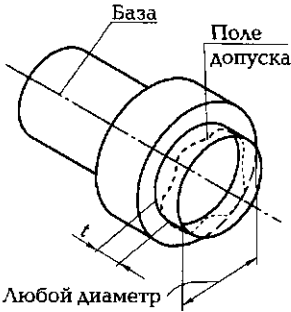
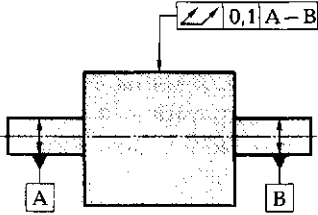
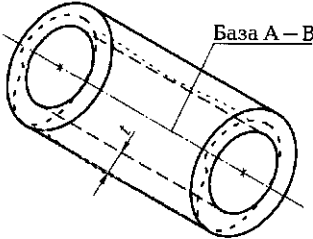
| Указание на чертеже и пояснения | Определение поля допуска |
|---|---|
| Допуск наклона линии относительно базовой оси | |
| <p>Выявленная средняя линия нормируемого отверстия должна быть расположена между параллельными плоскостями, которые находятся друг от друга на расстоянии $t = 0,08$ мм и составляют теоретически точный угол 60° с общей базовой осью А—В, образованной базовыми элементами А и В</p>  | <p>Поле допуска ограничено двумя параллельными плоскостями, расстояние между которыми равно числовому значению допуска t. Плоскости расположены под указанным на чертеже углом относительно базы А—В</p>  <p style="text-align: center;">База А—В</p> |
| Допуск наклона линии относительно базовой плоскости | |
| <p>Выявленная средняя линия нормируемого отверстия должна быть расположена между параллельными плоскостями, которые находятся друг от друга на расстоянии $t = 0,08$ мм и составляют теоретически точный угол 60° с базовой плоскостью А</p>  | <p>Поле допуска ограничено двумя параллельными плоскостями, расстояние между которыми равно числовому значению допуска t. Плоскости расположены под указанным на чертеже углом относительно базы А</p>  <p style="text-align: center;">База А</p> |

| Указание на чертеже и пояснения | Определение поля допуска |
|--|---|
| Допуск наклона поверхности относительно базовой оси | |
| <p>Выявленная нормируемая поверхность должна быть расположена между двумя параллельными плоскостями, которые находятся друг от друга на расстоянии $t = 0,1$ мм и составляют теоретически точный угол 75° с базовой осью А</p>  | <p>Поле допуска ограничено двумя параллельными плоскостями, расстояние между которыми равно числовому значению допуска t. Плоскости расположены под указанным на чертеже углом относительно базы А</p>  |
| Допуск наклона поверхности относительно базовой плоскости | |
| <p>Выявленная нормируемая поверхность должна быть расположена между двумя параллельными плоскостями, которые находятся друг от друга на расстоянии $t = 0,08$ мм и составляют теоретически точный угол 40° с базовой плоскостью А</p>  | <p>Поле допуска ограничивается двумя параллельными плоскостями, расстояние между которыми равно числовому значению допуска t. Плоскости расположены под указанным на чертеже углом относительно базы А</p>  |

| Указание на чертеже и пояснения | Определение поля допуска |
|--|--|
| Позиционный допуск точки | |
| <p>Выявленный центр сферы должен располагаться внутри сферы диаметром 0,3 мм, центр которой совпадает с указанным относительно базовых плоскостей А и В и базовой средней плоскостью С теоретически точным положением центра сферы</p>  | <p>Поле допуска ограничено сферой, диаметр которой равен числовому значению допуска t, если перед числовым значением стоит знак сферы $S\varnothing$. Положение центра сферы относительно баз А, В и С определяется теоретически точными размерами</p>  |
| Позиционный допуск линии | |
| <p>Выявленная средняя линия должна быть расположена в пределах цилиндра диаметром 0,08 мм, ось которого совпадает с теоретически точным положением оси рассматриваемого отверстия относительно базовых плоскостей С, А и В</p>  | <p>Поле допуска ограничено цилиндром, диаметр которого равен числовому значению допуска t, если перед числовым значением стоит знак диаметра \varnothing. Положение оси цилиндра относительно баз С, А и В определяется теоретически точными размерами</p>  |

| Указание на чертеже и пояснения | Определение поля допуска |
|---|--|
| Допуск concentricности точки | |
| <p>Выявленный центр круговой линии, полученной в любом поперечном сечении отверстия, должен располагаться внутри окружности диаметром 0,1 мм, центр которой совпадает с определенной в этом же сечении базовой точкой А</p>  | <p>Поле допуска ограничено окружностью, диаметр которой равен числовому значению допуска t. Перед числовым значением должен быть указан знак диаметра \varnothing. Центр окружности совпадает с базовой точкой А</p>  |
| Допуск соосности оси | |
| <p>Выявленная средняя линия нормируемого цилиндра должна располагаться внутри цилиндрической зоны диаметром 0,1 мм, ось которой совпадает с базовой осью А</p>  | <p>Поле допуска ограничено цилиндром, диаметр которого равен числовому значению допуска t. Перед числовым значением должен стоять знак диаметра \varnothing. Ось цилиндра совпадает с базой</p>  |

| Указание на чертеже и пояснения | Определение поля допуска |
|--|--|
| Допуск симметричности | |
| <p>Выявленная средняя поверхность должна находиться между двумя параллельными плоскостями, расстояние между которыми равно $t = 0,08$ мм, расположенными симметрично относительно базовой плоскости А</p>  | <p>Поле допуска ограничено двумя параллельными плоскостями, расстояние между которыми равно числовому значению допуска t. Плоскость симметрии поля допуска совпадает с базовой плоскостью симметрии</p>  |
| Допуск радиального биения | |
| <p>Выявленная линия в любой плоскости поперечного сечения, перпендикулярной базовой оси А, должна располагаться между двумя лежащими в этой же плоскости концентрическими окружностями, разность радиусов которых равна $t = 0,1$ мм, а их общий центр лежит на базовой оси А</p>  | <p>Поле допуска ограничено двумя концентрическими окружностями, разность радиусов которых равна числовому значению допуска t. Окружности лежат в плоскости поперечного сечения, перпендикулярной к базовой оси, а их центры совпадают с базой</p>  |

| Указание на чертеже и пояснения | Определение поля допуска |
|--|---|
| Допуск торцового биения | |
| <p>Выявленная линия на боковой поверхности любого пересекающего нормируемую поверхность цилиндра, коаксиального с базовой осью D, должна быть расположена между двумя окружностями на этом цилиндре, находящимися на расстоянии $t = 0,1$ мм друг от друга</p>  | <p>Поле допуска представляет собой боковую поверхность любого цилиндра, пересекающего торцовую поверхность и коаксиального базовой оси, ограниченную двумя окружностями на цилиндре, находящимися друг от друга на расстоянии, равном числовому значению допуска t</p>  |
| Допуск полного радиального биения | |
| <p>Выявленная нормируемая поверхность должна быть расположена между двумя соосными цилиндрами, разность радиусов которых равна $t = 0,1$ мм, а их общая ось совпадает с общей базовой осью $A-B$</p>  | <p>Поле допуска ограничено двумя соосными цилиндрами, разность радиусов которых равна числовому значению допуска t и оси которых совпадают с базой $A-B$</p>  |

| Указание на чертеже и пояснения | Определение поля допуска |
|---|--|
| Допуск полного торцового биения | |
| <p>Выявленная нормируемая поверхность должна быть расположена между двумя параллельными плоскостями, расстояние между которыми $t = 0,1$ мм, перпендикулярными базовой оси D</p>  | <p>Поле допуска ограничено двумя параллельными плоскостями, находящимися друг от друга на расстоянии, равном допуску t, и перпендикулярными базовой оси D</p>  |

3.6.2. Отклонения формы цилиндрических поверхностей

Рассмотрим наиболее часто встречающиеся отклонения формы цилиндрических и плоских поверхностей.

Отклонение от круглости — комплексный показатель отклонений в плоскости поперечного сечения цилиндрической детали. Отклонением от круглости называется наибольшее расстояние Δ между двумя концентрическими окружностями, характеризующими реальный профиль (рис. 3.21, а). Допуск круглости T — наибольшее допустимое значение отклонения от круглости.

Частными видами отклонения от круглости являются овальность (рис. 3.21, б) и огранка (рис. 3.21, в).

Овальность — это отклонение от круглости, при котором реальный профиль поперечного сечения представляет собой овало-

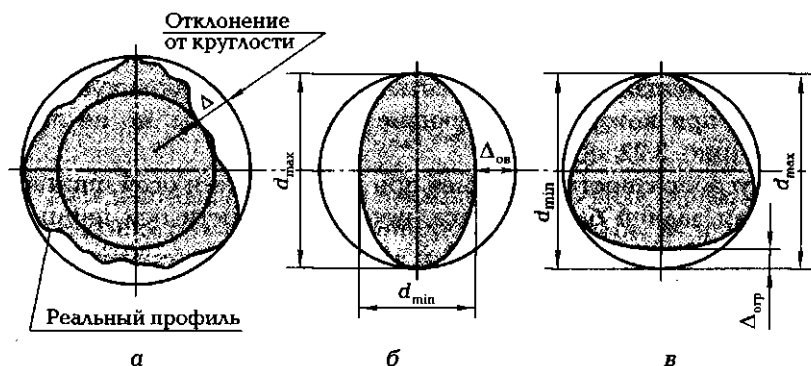


Рис. 3.21. Отклонения формы цилиндрической детали в поперечном сечении:

а — определение отклонения от круглости; б — овалность; в — огранка

образную фигуру, наибольший и наименьший диаметры которой находятся во взаимно-перпендикулярных направлениях (см. рис. 3.21, б).

Численно овалность можно выразить в виде полуразности между наибольшим и наименьшим диаметрами сечения:

$$\Delta = (d_{max} - d_{min}) / 2.$$

Овалность возникает в результате биения шпинделя токарного или шлифовального станка, из-за неправильной формы поперечного сечения заготовки, дисбаланса детали и т. д.

Огранка — это отклонение от круглости, при котором реальный профиль поперечного сечения представляет собой многогранную фигуру (см. рис. 3.21, в), очерченную отрезками дуг с центрами кривизны в различных точках. Огранка количественно определяется так же, как и отклонение от круглости, — наибольшим отклонением Δ реального профиля от прилегающей окружности.

Причиной появления огранки является изменение положения мгновенного центра вращения детали при обработке. Она появляется, как правило, при бесцентровом шлифовании и при резании, когда система станок—приспособление—инструмент—деталь недостаточно жесткая.

Конусообразность, бочкообразность, седлообразность, отклонение от прямолинейности оси — частные показатели от-

клонений профиля цилиндрических поверхностей в продольном сечении.

Конусообразность — это отклонение профиля продольного сечения, при котором образующие прямолинейны, но не параллельны (рис. 3.22, а).

Конусообразность возникает при несовпадении осей шпинделя и пиноли задней бабки станка, непараллельности оси шпинделя направляющим станины и т. п.

Бочкообразность — это отклонение профиля продольного сечения, при котором образующие непрямолинейны и диаметры увеличиваются от краев к середине сечения (рис. 3.22, б). Чаще всего причиной бочкообразности является прогиб вала при малой его жесткости в процессе обточки в центрах.

Седлообразность — это отклонение профиля продольного сечения, при котором образующие непрямолинейны и диаметры уменьшаются от краев к середине сечения (рис. 3.22, в). Причины возникновения седлообразности — несовпадение центров токарного станка в вертикальной плоскости или обработка толстых коротких валов в нежестких центрах.

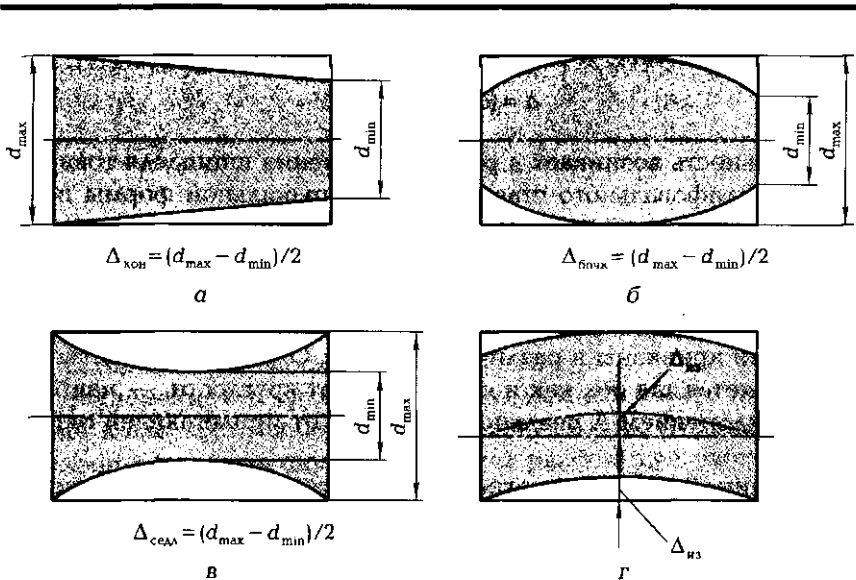


Рис. 3.22. Отклонения профиля в продольном сечении:

а — конусообразность; б — бочкообразность; в — седлообразность; г — отклонение от прямолинейности оси

Количественно конусообразность, бочкообразность и седлообразность равны полуразности между наибольшим и наименьшим диаметрами в одном и том же продольном сечении:

$$\Delta = (d_{\max} - d_{\min}) / 2.$$

Зная частные показатели отклонений профиля, можно вносить коррективы в технологический процесс и устранять причины, вызывающие эти отклонения, так как любое из них снижает ресурс подвижных соединений и надежность неподвижных.

Отклонение от прямолинейности оси (рис. 3.22, г) появляется, как правило, из-за действия неравномерно распределенных остаточных напряжений, возникающих после термообработки, наклепа и др.

3.6.3. Отклонения формы плоских поверхностей

Отклонение от плоскостности — комплексный показатель отклонений формы плоских поверхностей. Оно характеризуется совокупностью всех отклонений формы поверхности и численно равно наибольшему расстоянию Δ между двумя параллельными плоскостями, характеризующими реальный профиль (рис. 3.23, а).

Вогнутость (рис. 3.23, б) и **выпуклость** (рис. 3.23, в) — частные виды отклонений формы плоских поверхностей. Всякая поверхность, за исключением плоскости, имеет вогнутости и выпуклости, например сфера выпукла с наружной стороны и вогнута с внутренней. Выпуклости и вогнутости свойственны кривым линиям.



Рис. 3.23. Отклонения формы плоских поверхностей:

а — определение «отклонения от плоскостности»; б — вогнутость; в — выпуклость

3.6.4. Указание геометрических допусков на чертежах

Стандарт содержит правила указания геометрических допусков на чертежах 2D-изображения и 3D-изображения. Способы указания геометрических допусков на 3D-изображениях являются одним из дополнений прежней редакции стандарта. Размеры и допуски на 3D-изображениях дублируют размеры и допуски соответствующих 2D-изображений.

Рассмотрим далее правила указания геометрических допусков размеров на чертежах 2D-изображения.

При условном обозначении данные о геометрических допусках указывают в прямоугольной рамке, разделенной на две или более части, в которых (в порядке следования слева направо) помещают (рис. 3.24):

- в первой — знак геометрической характеристики элемента, нормируемой допуском, согласно табл. 3.8;
- во второй — числовое значение допуска в миллиметрах. Перед числовым значением допуска указывают символ «Ø» (в случае кругового или цилиндрического поля допуска) или символы «SØ» (в случае сферического поля допуска);
- в третьей и последующих — буквенное обозначение базы (общей базы, комплекта баз).

Если геометрический допуск установлен для нескольких элементов, то их число с последующим знаком умножения «×» должно быть указано над рамкой геометрического допуска (рис. 3.25).

При необходимости обозначения, накладывающие дополнительные ограничения на форму элемента в пределах поля допуска, должны записываться под рамкой допуска (рис. 3.26 и табл. 3.12).

Если необходимо нормировать несколько геометрических характеристик элемента, для удобства допускается объединять рамки и располагать их согласно рис. 3.27.

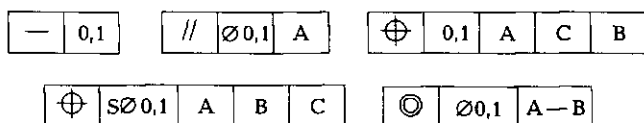


Рис. 3.24. Примеры условных обозначений геометрических допусков

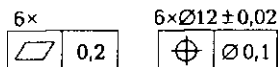


Рис. 3.25. Примеры условных обозначений геометрических допусков для нескольких элементов

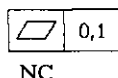


Рис. 3.26. Пример условного обозначения геометрического допуска при дополнительных ограничениях на форму документа

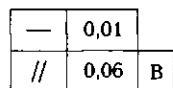


Рис. 3.27. Пример нормирования нескольких геометрических характеристик

Рамку рекомендуется выполнять в горизонтальном положении. В необходимых случаях допускается вертикальное расположение рамки. Пересекать рамку допуска какими-либо линиями не допускается.

Рамку соединяют с элементом, к которому относится допуск, сплошной линией, заканчивающейся стрелкой.

Если допуск относится к полному элементу (поверхности или линии на поверхности), рамку допуска связывают с нормируемым элементом сплошной тонкой соединительной линией, начинающейся на любой из двух торцевых сторон рамки и заканчивающейся (рис. 3.28):

- стрелкой, если соединительная линия заканчивается на контуре элемента, или на выносной линии контура (соединительная линия при этом не должна являться продолжением размерной линии), или для указания элемента используется выноска;
- точкой (зачерненной или светлой), если соединительная линия заканчивается внутри границ элемента.

Если допуск относится к производному элементу (средней линии, средней поверхности или средней точке), это указывают одним из следующих способов:

- стрелку соединительной линии располагают на продолжении размерной линии соответствующего размерного элемента (рис. 3.29);
- с помощью модификатора \textcircled{A} (средний элемент), который помещают в крайней позиции справа во второй части (в порядке следования слева направо) рамки допуска, рис. 3.30. В этом случае стрелка соединительной линии не обязательно должна являться продолжением размерной линии, а может располагаться на контуре элемента.



Рис. 3.28. Пример нормирования геометрического допуска, который относится к полному элементу

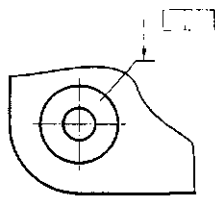


Рис. 3.29. Пример нормирования геометрического допуска, который относится к производному элементу

Числовое значение допуска действительно для всей поверхности или длины элемента, если не задан нормируемый участок.

Базу, относительно которой установлен допуск элемента, обозначают прописной буквой, которую заключают в рамку. Рамку базы соединяют с базой сплошной тонкой линией, заканчивающейся зачерненным или светлым треугольником базы (рис. 3.31). То же самое буквенное обозначение базы указывают в соответствующей части рамки допуска. Зачерненный и светлый треугольники несут одну и ту же смысловую нагрузку.

Если базой является полный элемент (поверхность или линия на поверхности), знак базы размещают (рис. 3.32):

- на контуре или на выносной линии контура элемента (соединительная линия при этом не должна являться продолжением размерной линии);
- на полке выноски (для указания базовой поверхности используют выноску, от зачерненной точки, расположенной внутри границ поверхности).

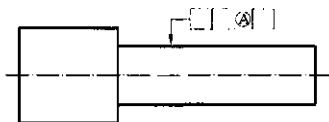


Рис. 3.30. Пример нормирования геометрического допуска, который относится к производному элементу с помощью модификатора

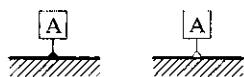


Рис. 3.31. Пример обозначения базы, относительно которой установлен геометрический допуск элемента

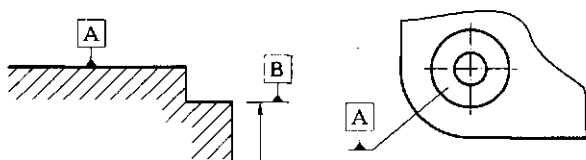


Рис. 3.32. Пример обозначения базы, относительно которой установлен геометрический допуск элемента, если базой является полный элемент

Если базой является производный элемент (ось, плоскость симметрии или точка), определяемый размерным элементом, знак базы размещают на продолжении соответствующей размерной линии (рис. 3.33). В случае недостатка места стрелку размерной линии допускаются заменять треугольником, обозначающим базу (см. рис. 3.33).

Образованную двумя элементами общую базу указывают в рамке допуска соответствующими прописными буквами, разделяя их дефисом (рис. 3.34).

Если необходимо установить геометрический допуск относительно образованного двумя или тремя элементами комплекта баз, соответствующие буквенные обозначения баз указывают в порядке приоритета в отдельных частях (третьей и далее) рамки допуска (см. рис. 3.34).

Геометрические допуски, установленные относительно базы, не ограничивают отклонения формы самого базового элемента. Если это необходимо, устанавливают допуски формы для базового элемента.

Стандарт устанавливает *дополнительные обозначения*, применяемые при установлении допусков (табл. 3.12). В частности, это

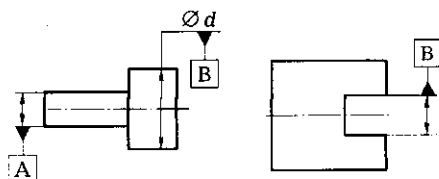


Рис. 3.33. Пример обозначения базы, относительно которой установлен геометрический допуск элемента, если базой является производный элемент

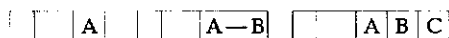


Рис. 3.34. Пример обозначения геометрического допуска относительно комплекта баз

касается негладких типовых поверхностей. Например, допуски и базы, устанавливаемые для резьбы, если нет иных указаний, относятся к оси цилиндра, диаметр которого равен среднему диаметру резьбы. Если же под рамкой указан знак «MD» или «LD», то допуски и базы относятся к оси цилиндра, диаметр которого равен наружному или внутреннему диаметру резьбы соответственно (рис. 3.35).

Допуски и базы, устанавливаемые для зубчатых колес и деталей шлицевых соединений, следует указывать с дополнительными знаками «PD», «MD» или «LD», которые означают, что допуски и базы относятся к оси цилиндра, диаметр которого равен делительному диаметру, наружному диаметру и внутреннему диаметру соответственно.

В ГОСТ Р 53442—2009 выделяется отдельная позиция, в которой рассматриваются вопросы *ориентации ширины поля допуска* по отношению к номинальному геометрическому размеру (ширина направлена по нормали к заданной геометрии, рис. 3.36), если нет иных указаний.

Для описания ориентации ширины поля позиционного допуска используется термин «шаблон теоретически точных размеров» (ГОСТ Р 53089—2008 (ИСО 5458:1998) «Основные нормы взаимозаменяемости. Характеристики изделий геометрические. Установление позиционных допусков»).

Шаблон теоретически точных размеров — совокупность теоретически точных размеров, установленных для нормируемого элемента или группы нормируемых элементов.

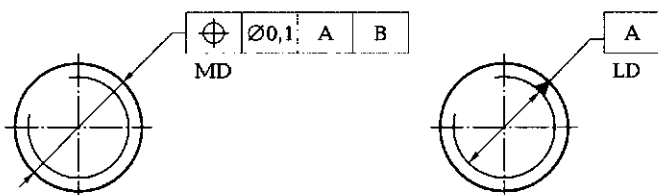


Рис. 3.35. Пример обозначения геометрического допуска резьбы

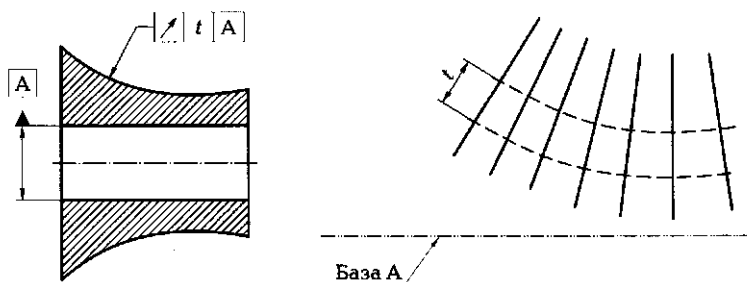


Рис. 3.36. Пример ориентации ширины поля допуска

Если для элемента (или группы элементов) устанавливаются допуски месторасположения, ориентации, формы заданного профиля или формы заданной поверхности, то размеры, определяющие теоретически точное (номинальное) месторасположение, ориентацию, форму заданного профиля или форму заданной поверхности, называют теоретически точными размерами (ГОСТ Р 53442—2009). Термин «теоретически точный размер» не используется в ГОСТ 2.308—2011 для обозначения размеров, определяющих номинальное расположение и номинальную форму элементов, хотя обозначаются такие размеры одинаково (без предельных отклонений и заключаются в прямоугольные рамки, рис. 3.37).

Если геометрический допуск относится к любому участку заданной длины в пределах нормируемого элемента, то заданную длину указывают рядом с числовым значением допуска и отделяют от него наклонной линией, рис. 3.38.

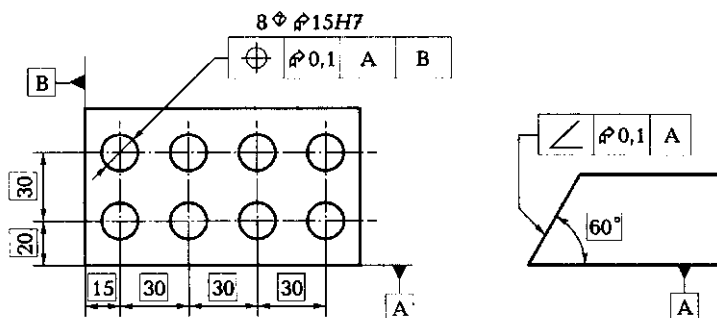


Рис. 3.37. Пример обозначения теоретически точных размеров

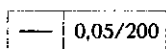


Рис. 3.38. Пример обозначения длины нормируемого участка

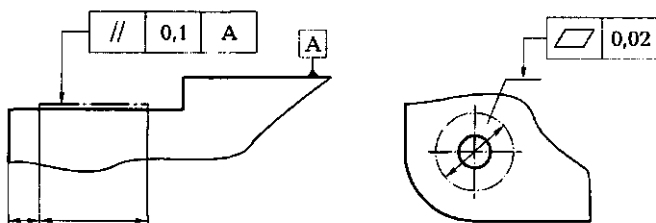


Рис. 3.39. Пример обозначения длины ограниченного нормируемого участка

Если допуск относится к участку, расположенному в определенном месте элемента, то этот участок обозначают толстой штрихпунктирной линией с длинными штрихами и ограничивают размерами в соответствии с рис. 3.39.

3.6.5. Требование максимума материала. Требование минимума материала. Требование взаимодействия

ГОСТ Р 53090—2008 «Основные нормы взаимозаменяемости. Характеристики изделий геометрические. Требования максимума материала, минимума материала и взаимодействия» устанавливает требования максимума материала и минимума материала при назначении геометрических допусков (вместо зависимых допусков расположения) и предназначен для применения при установлении геометрических допусков к таким размерным элементам деталей, как цилиндр или две параллельные друг другу плоскости, когда размерная и геометрическая точность элемента взаимозависимы. В качестве производных элементов в этом случае могут выступать только средняя линия и средняя поверхность.

Потребность установления требований обусловлена наличием часто встречающихся при проектировании и нормировании геометрических свойств деталей в случаях, когда функциональное назначение детали предполагает или ее соединение с гарантированным зазором с другой деталью, или ограничение образуемой материалом детали стенки минимальной допустимой толщиной.

В том случае, когда требуется обеспечить собираемость деталей — **требование максимума материала (MMR)**, а в случае не-

обходимости ограничения минимальной толщины стенки — **требование минимума материала (LMR)**, позволяют объединить ограничения, накладываемые допуском размера и геометрическим допуском, в одно комплексное требование, которое позволяет (без ущерба для выполнения деталию своих функций) увеличивать геометрический допуск нормируемого элемента детали, если действительный размер элемента не достигает предельного значения, определяемого установленным допуском размера.

Как одно (*MMR*), так и другое (*LMR*) требование могут быть дополнены **требованием взаимодействия (RPR)**, позволяющим увеличивать допуск размера элемента детали, если действительное геометрическое отклонение нормируемого элемента не использует полностью ограничений, накладываемых каждым из этих требований (*MMR* или *LMR*).

Требование максимума материала и требование минимума материала может предъявляться к нормируемым элементам, базовым элементам, одновременно к нормируемым и базовым элементам.

Требование взаимодействия является дополнительным к требованию максимума материала или к требованию минимума материала. Оно может быть установлено только по отношению к нормируемому элементу.

Требование максимума материала обозначают символом \textcircled{M} , который помещают либо после числового значения допуска, либо после буквенного обозначения базы, либо после того и другого в зависимости от предъявляемых требований (рис. 3.40).

Требование минимума материала обозначают символом \textcircled{L} , который помещают либо после числового значения допуска, либо после буквенного обозначения базы, либо после того и другого в зависимости от предъявляемых требований (рис. 3.41).

В случае установления требования взаимодействия дополнительно к требованию максимума материала или требованию минимума материала, требование указывают на чертеже знаком \textcircled{R} ,

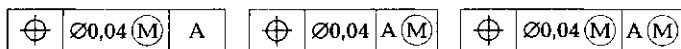


Рис. 3.40. Примеры обозначения требования максимума материала

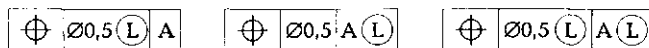


Рис. 3.41. Примеры обозначения требования минимума материала

который помещают в рамку допуска после знака (M) или (L) соответственно.

Рассмотрим следующие термины и определения.

Нормируемый элемент — элемент, для которого установлен геометрический допуск.

База — производный элемент, относительно которого устанавливается геометрический допуск ориентации или месторасположения рассматриваемого нормируемого элемента.

Базовый элемент — реальный полный элемент, от которого произведена база.

Предельные размеры — два определяемых допуском предельно допустимых размера, между которыми должен находиться (или которым может быть равен) любой местный размер выявленного полного элемента.

Размер максимума материала (MMS) — термин, относящийся к тому из предельных размеров, которому соответствует больший объем материала детали, т.е. наибольшему предельному размеру наружного (охватываемого) элемента (вала) или наименьшему предельному размеру внутреннего (охватывающего) элемента (отверстия).

Размер минимума материала (LMS) — термин, относящийся к тому из предельных размеров, которому соответствует меньший объем материала детали, т.е. наименьшему предельному размеру наружного (охватываемого) элемента (вала) или наибольшему предельному размеру внутреннего (охватывающего) элемента (отверстия).

Действующий размер максимума материала (MMVS) — размер, определяемый суммарным действием размера максимума материала (MMS) рассматриваемого размерного элемента и геометрического допуска (формы, ориентации или месторасположения), установленного для производного элемента от того же самого размерного элемента.

Действующий размер максимума материала (MMVS) является числовой характеристикой действующей границы максимума материала (MMVC). MMVC для внешних (охватываемых) элементов — сумма, а для внутренних (охватывающих) — разность MMS и геометрического допуска. Значения MMVS для наружного MMVS_e и внутреннего MMVS_i размерного элемента вычисляют по формулам:

$$MMVS_e = MMS + \delta;$$

$$MMVS_i = MMS - \delta,$$

где MMS — размер максимума материала; δ — значение геометрического допуска.

Действующая граница максимума материала (MMVC) — геометрическая форма того же типа, что и рассматриваемый размерный элемент, определяемая размером, равным действующему размеру максимума материала ($MMVS$). Действующая граница максимума материала имеет правильную форму и теоретически точную ориентацию или месторасположение относительно указанной базы (баз), если геометрический допуск является допуском ориентации или месторасположения соответственно.

Действующий размер минимума материала (LMVS) — размер, определяемый суммарным действием размера минимума материала (LMS) рассматриваемого размерного элемента и геометрического допуска (формы, ориентации или месторасположения), установленного для производного элемента от того же самого размерного элемента.

Действующий размер минимума материала ($LMVS$) является числовой характеристикой действующей границы минимума материала ($LMVC$). $LMVS$ для внешних элементов — разность, а для внутренних — сумма LMS и геометрического допуска. Значения $LMVS$ для наружного $LMVS_e$ и внутреннего $LMVS_i$ размерного элемента вычисляют по формулам:

$$LMVS_e = LMS - \delta;$$

$$LMVS_i = LMS + \delta,$$

где LMS — размер минимума материала; δ — значение геометрического допуска.

Действующая граница минимума материала (LMVC) — геометрическая форма того же типа, что и рассматриваемый размерный элемент, определяемая размером, равным действующему размеру минимума материала ($LMVCS$).

Действующая граница минимума материала имеет правильную форму и теоретически точную ориентацию или месторасположение относительно указанной базы (баз), если геометрический допуск является допуском ориентации или месторасположения соответственно.

Требование максимума материала (MMR) — требование к реальному размерному элементу, ограничивающее его материал снаружи действующей границей максимума материала ($MMVC$).

Требование максимума материала применяют в целях обеспечения собираемости изделия.

Требование минимума материала (LMR) — требование к реальному размерному элементу, ограничивающее его материал изнутри действующей границей минимума материала (LMVC).

Требования минимума материала устанавливают одновременно к двум элементам, например, с целью ограничения минимальной толщины стенки между двумя симметрично или соосно расположенными подобными элементами.

Требование взаимодействия (RPR) — дополнительное требование к реальному размерному элементу, увеличивающее допуск его размера на разность между установленным геометрическим допуском и действительным геометрическим отклонением и применяемое исключительно совместно с требованием максимума материала (MMR) или с требованием минимума материала (LMR).

Пример 3.6. Требуется обеспечить собираемость детали, показанной на рис. 3.42, а, с деталью, показанной на рис. 3.43, а. При сборке плоские поверхности А этих деталей должны соприкасаться друг с другом, а обе плоские поверхности В — контактировать с одной и той же плоскостью третьей детали.

Деталь должна соответствовать следующим требованиям (рис. 3.42, б):

- выявленная поверхность нормируемого пальца не должна выходить за действующую границу максимума материала — цилиндр, диаметр которого равен действующему размеру максимума материала $MMVS = 35,1$ мм;
- любой местный диаметр выявленной поверхности пальца должен находиться между размером минимума материала ($LMS = 34,9$ мм) и размером максимума материала ($MMS = 35,0$ мм);
- ось действующей границы максимума материала ориентирована перпендикулярно относительно базы А, а ее месторасположение относительно базы В определяют теоретически точным размером 35 мм.

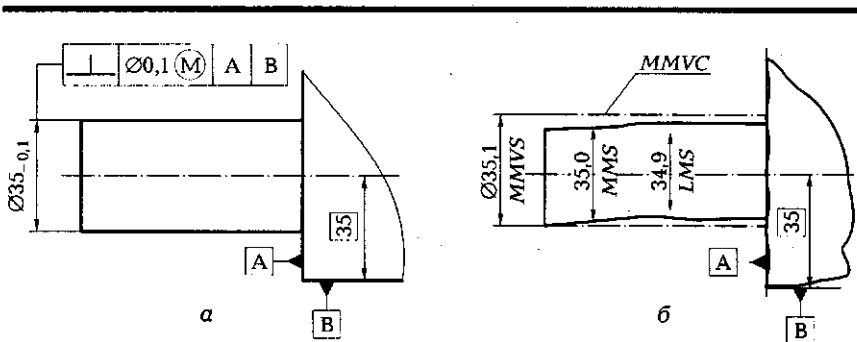


Рис. 3.42. Требование максимума материала для вала

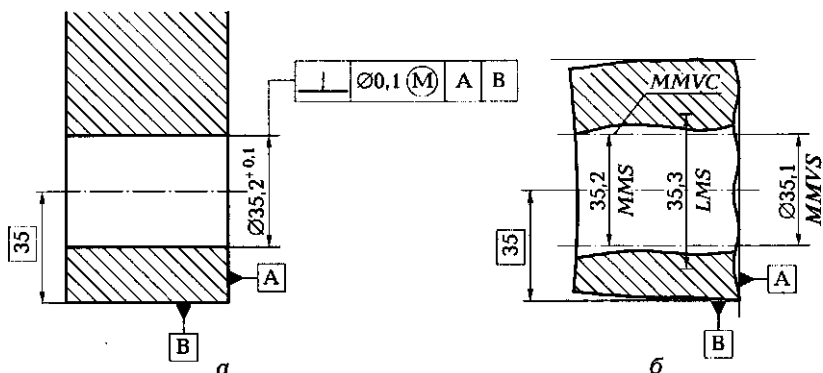


Рис. 3.43. Требование максимума материала для отверстия

Пример 3.7. Деталь, показанная на рис. 3.44, а, должна соответствовать следующим требованиям:

- действующая граница минимума материала — цилиндр, диаметр которого равен действующему размеру минимума материала ($LMVS = 69,8$ мм), должна полностью находиться внутри материала детали;
- любой местный диаметр выявленной поверхности вала должен находиться между размером минимума материала ($LMS = 69,9$ мм) и размером максимума материала ($MMS = 70,0$ мм);

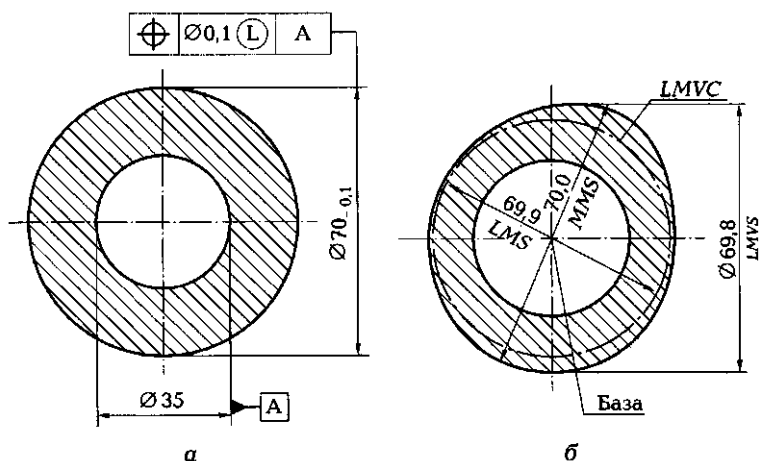


Рис. 3.44. Требование минимума материала для вала

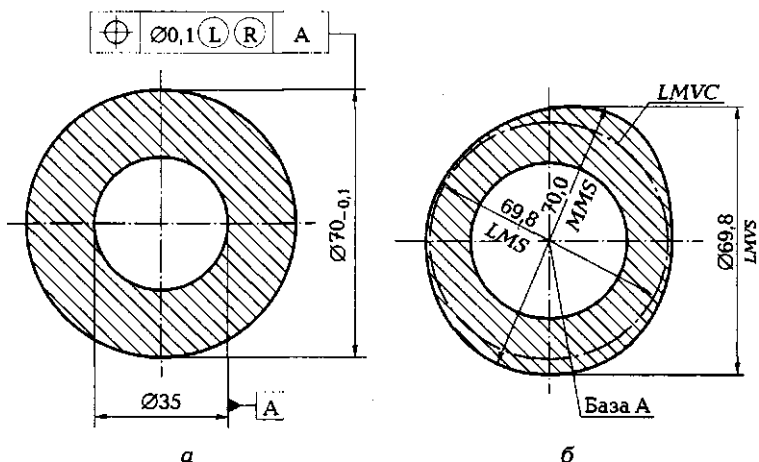


Рис. 3.45. Требование минимума материала и взаимодействия

- ось действующей границы минимума материала ориентирована параллельно относительно базы А, а ее месторасположение соосно теоретически точному положению базы А.

Пример 3.8. Деталь, показанная на рис. 3.45, а, должна соответствовать следующим требованиям:

- действующая граница минимума материала — цилиндр, диаметр которого равен действующему размеру минимума материала ($LMVS = 69,8$ мм), должна полностью находиться внутри материала детали;
- любой местный диаметр выявленной поверхности вала должен быть не больше размера максимума материала ($MMS = 70,0$ мм);
- ось действующей границы минимума материала параллельна относительно базы А, а ее месторасположение соосно теоретически точному положению базы А.

3.7. ВОЛНИСТОСТЬ И ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ

3.7.1. Основные термины и определения

Поверхности деталей, обработанных на любых металлорежущих станках, имеют неровности в продольном и поперечном на-

правлениях. Продольные неровности определяются в направлении главного рабочего движения при резании, а поперечные — в направлении, перпендикулярном ему.

Форма, размеры, частота повторяемости этих неровностей зависят от вида режущего инструмента, метода и режимов обработки, материала детали, жесткости оборудования и, как следствие, от частоты колебаний в системе станок—приспособление—инструмент—деталь.

При изучении неровностей поверхности выделяют волнистость и шероховатость.

Волнистость — это такая совокупность периодически чередующихся возвышенностей и впадин, у которой расстояние между смежными возвышенностями или впадинами превышает базовую длину l .

Нормируемыми параметрами волнистости являются ее высота и средний шаг.

Высота волнистости W_z (рис. 3.46) — среднее арифметическое из пяти значений, определенных на участке измерения длиной L_w , равной не менее пяти действительным наибольшим шагам волнистости:

$$W_z = \frac{1}{5}(W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5).$$

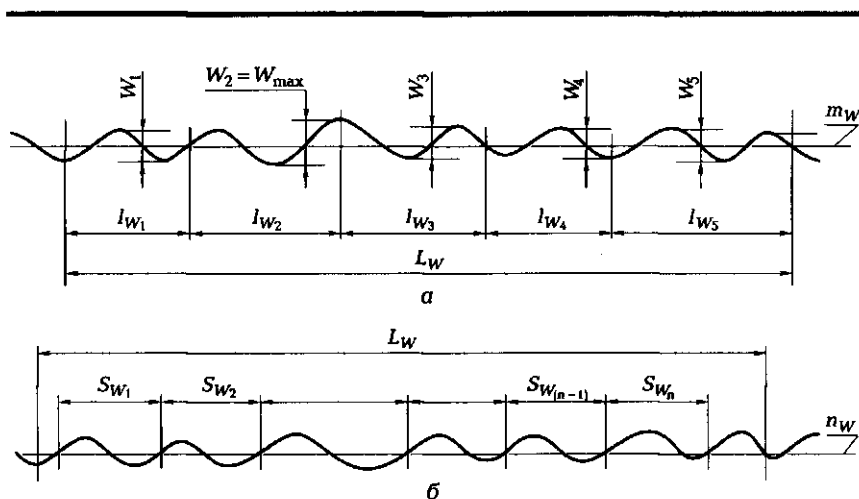


Рис. 3.46. Определение высоты (а) и шага (б) волнистости поверхности

Предельные числовые значения высоты волнистости W_z необходимо выбирать из ряда, мкм: 0,1; 0,2; 0,4; 0,8; 1,6; 3,2; 6,3; 12,5; 25; 50; 100; 200.

Средний шаг волнистости S_W — среднее арифметическое расстояний S_W между одноименными сторонами соседних волн, измеренных по средней линии профиля:

$$S_W = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{W_i}.$$

Способы измерения величины волнистости:

- профилографами с применением ошупывающей иглы большего радиуса, чем при измерении шероховатости, и увеличением длины измерения;
- приборами для измерения отклонения от круглости (кругломерами);
- индикаторами;
- специальными приборами.

Форма волны зависит от причин, которые вызывают волнистость поверхности:

- вибрации технологической системы с относительно малой частотой колебаний и большой амплитудой;
- неточности установки режущего инструмента (биение шлифовальных кругов и фрез);
- погрешности в передачах станков (например, зубчатых колес);
- обработка широкими резцами;
- копирование неровностей заготовки;
- действие остаточных напряжений в нежестких заготовках и др.

Допуски на волнистость пока не стандартизованы. На чертеже волнистость нормируется в исключительных случаях, если известно ее влияние на качество изделия. Допуск волнистости на чертежах указывается только записью в технических требованиях по одной, двум или трем характеристикам волнистости.

Шероховатость поверхности — это совокупность неровностей профиля поверхности с относительно малыми шагами в пределах базовой длины l .

Базовая длина — длина базовой линии, используемой для выделения неровностей, характеризующих шероховатость поверхности.

Граница между волнистостью и шероховатостью условна, так как при изменении базовой длины l , которую назначают из экс-

платационных соображений, числовые значения параметров волнистости и шероховатости тоже будут изменяться.

В качестве критерия различия между волнистостью, шероховатостью и отклонением формы чаще всего используют отношение среднего шага к высоте:

$$\frac{S_w}{W_z} < 40 \text{ — шероховатость;}$$

$$40 < \frac{S_w}{W_z} < 1000 \text{ — волнистость;}$$

$$\frac{S_w}{W_z} > 1000 \text{ — отклонение формы.}$$

Стандартом ГОСТ 25142—82 «Шероховатость поверхности. Термины и определения» предусмотрен ряд параметров для количественной оценки шероховатости, причем отсчет значений ведется от единой базы, за которую принята средняя линия профиля m .

Средней линией профиля m называется базовая линия, имеющая форму номинального профиля поверхности и делящая действительный профиль так, что в пределах базовой длины среднее квадратичное отклонение профиля от этой линии минимально.

Систему отсчета значений шероховатости от средней линии профиля называют **системой средней линии**.

На профилограмме (рис. 3.47) в пределах базовой длины l площади, расположенные по обеим сторонам от этой линии до контура профиля, должны быть равны между собой.

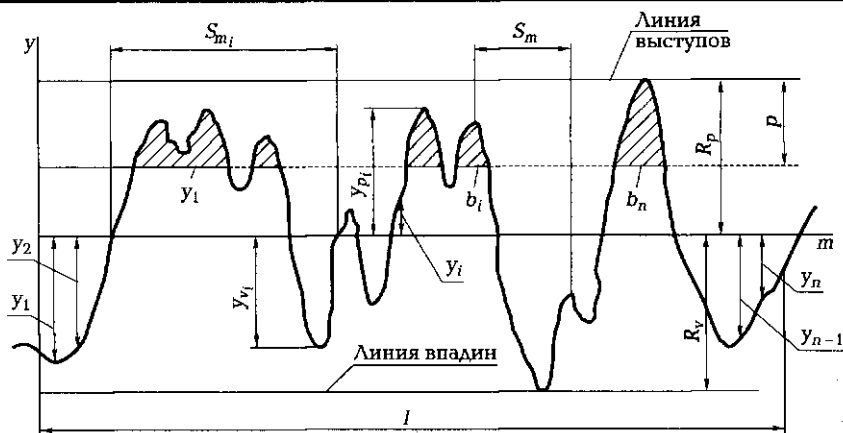


Рис. 3.47. Профилограмма к определению основных параметров шероховатости поверхности

Базовая длина при измерении шероховатости поверхности выбирается из ряда, мм: 0,01; 0,03; 0,08; 0,25; 0,80; 2,5; 8; 25.

Чем больше размеры неровностей, тем больше должна быть базовая длина.

Количественную оценку шероховатости проводят по следующим основным параметрам:

R_a — среднее арифметическое отклонение профиля;

R_z — высота неровностей профиля по десяти точкам;

R_{\max} — наибольшая высота неровности профиля;

S_m — средний шаг неровностей;

S — средний шаг неровностей по вершинам;

t_p — относительная опорная длина профиля (p — уровень сечения профиля).

Параметр R_a характеризует среднюю высоту всех неровностей профиля, R_z — среднюю высоту наибольших неровностей, R_{\max} — наибольшую высоту профиля.

Шаговые параметры S_m , S и t введены для учета формы и расположения характерных точек неровностей. Параметр R_a является предпочтительным.

Средним арифметическим отклонением профиля R_a называется среднее значение расстояний y_1, y_2, \dots, y_n от точек измерения профиля до средней линии, взятых по абсолютному значению:

$$R_a = \frac{l}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|,$$

где l — базовая длина; n — число выбранных точек профиля на базовой длине.

Высота неровностей профиля по десяти точкам R_z — сумма средних абсолютных значений высот пяти наибольших выступов профиля и пяти наибольших впадин профиля в пределах базовой длины:

$$R_z = \frac{1}{5} \left(\sum_{i=1}^5 y_{pi} + \sum_{i=1}^5 y_{vi} \right),$$

где y_{pi} — высота i -го наибольшего выступа профиля; y_{vi} — глубина i -й наибольшей впадины.

Наибольшая высота неровностей профиля R_{\max} — это расстояние между линией выступов профиля и линией впадин в пределах базовой длины l :

$$R_{\max} = R_p + R_v.$$

Средний шаг неровностей S_m — среднее значение шага неровностей по средней линии m в пределах базовой длины, определяемое как расстояние между одноименными сторонами соседних неровностей:

$$S_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{mi},$$

где n — число шагов в пределах базовой длины l ; S_{mi} — шаг неровностей профиля, равный длине отрезка средней линии, пересекающей профиль в трех соседних точках и ограниченной двумя крайними точками.

Средний шаг неровностей по вершинам S — среднее значение расстояний между вершинами характерных неровностей в пределах базовой длины:

$$S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i,$$

где n — число шагов неровностей по вершинам в пределах базовой длины l ; S_i — шаг неровностей профиля по вершинам, равный длине отрезка средней линии между проекциями на нее двух высших точек соседних выступов профиля.

Числовые значения параметров шероховатости Ra , Rz , R_{\max} , S_m и S нормализованы и приведены в ГОСТ 2789—73 «Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики». Рекомендуется использовать предпочтительные значения параметров шероховатости, указанные в этом стандарте.

Относительная опорная длина профиля t_p — отношение опорной длины профиля к базовой длине, %:

$$t_p = (\eta_p / l) 100,$$

где η_p — сумма длин отрезков b_i , отсекаемых на выступах профиля заданной линией, эквидистантной средней линии в пределах базовой длины:

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

где n — число отсекаемых отрезков в пределах базовой длины (см. рис. 3.47); l — базовая длина.

Относительная опорная длина профиля t_p характеризует фактическую опорную площадь, от которой в значительной степени зависят износостойкость подвижных соединений, прочность посадок с натягом и пластическая деформация поверхностей при их контакте.

Опорная длина профиля η_p определяется на уровне сечения p , т.е. на заданном расстоянии между линией выступов и линией, пересекающей профиль эквидистантно линии выступов.

Уровень сечения профиля p отсчитывают по линии выступов и выбирают из приведенных далее рядов:

| | |
|----------------|---|
| t_p , %..... | 10; 15; 20; 25; 30; 40; 50; 60; 70; 80; 90 |
| p , % | 5; 10; 15; 20; 25; 30; 40; 50; 60; 70; 80; 90 |

Шероховатость поверхности, как правило, измеряют:

- профилометрами методом ощупывания поверхности алмазной иглой с определением только величины Ra по шкале прибора;
- профилографами путем записи микропрофиля на профилограмме с определением всех основных параметров (применяется для лабораторных исследований);
- с помощью двойных микроскопов по измерению параметров проекции светового сечения исследуемой поверхности с помощью наклонно направленного к ней светового луча;
- микроинтерферометрами в лабораторных условиях и при контроле прецизионных деталей. Используется явление интерференции света, отраженного от образцовой и исследуемой поверхностей;
- методом сравнения с аттестованными эталонами. Применяется в цеховых условиях. Эталоны должны быть изготовлены из одинакового с измеряемой деталью материала и обработаны одинаковыми методами;
- с помощью интегральных методов: по расходу воздуха, проходящего по соплу через впадины микропрофиля детали; по количеству отражаемого света; по износу графитовой палочки, прижимаемой к поверхности с определенной силой; по электропроводности и теплопроводности и другими методами.

3.7.2. Обозначение шероховатости поверхности на чертежах

На чертежах шероховатость поверхности обозначают по ГОСТ 2.309—73 для всех получаемых по данному чертежу поверхностей детали независимо от метода их образования.

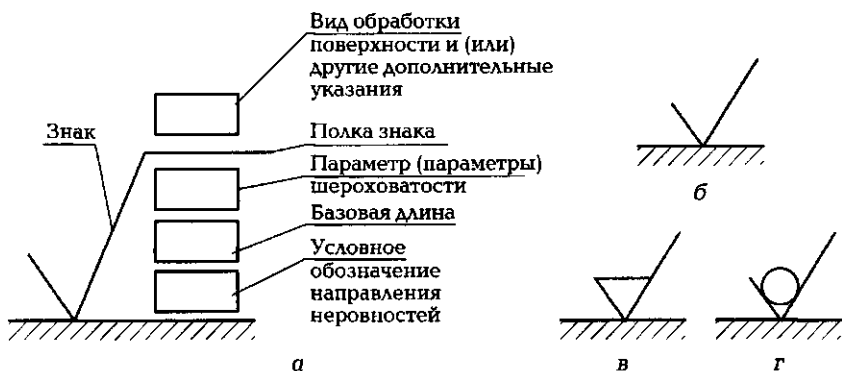


Рис. 3.48. Структура обозначения шероховатости поверхности на чертежах:

а — структура знака; *б* — знак, применяемый в обозначении шероховатости поверхности без указания вида обработки; *в* — знак, применяемый в обозначении шероховатости поверхности, образуемой путем удаления слоя материала при обработке; *г* — знак, применяемый в обозначении шероховатости поверхности, образуемой без удаления слоя материала при обработке

Структура условного обозначения шероховатости поверхности приведена на рис. 3.48, *а*. В обозначении шероховатости поверхности, вид обработки которой не указывают, применяют знак, показанный на рис. 3.48, *б*, причем этот знак является предпочтительным.

В обозначении шероховатости поверхности, образуемой путем удаления слоя материала, например точением, шлифованием, хонингованием, фрезерованием, сверлением и т. п., применяют знак, показанный на рис. 3.48, *в*. В обозначении шероховатости поверхности, образуемой без снятия слоя материала, например в литье, ковкой, штамповкой, или поверхности, сохраняемой в состоянии поставки, применяют знак, показанный на рис. 3.48, *г*.

Значения параметров шероховатости указывают под знаком — буквенным обозначением и числовым значением (рис. 3.49, *а*).

При указании нескольких параметров сверху ставят обозначение параметра шероховатости, ниже — высоты профиля, ниже — шага и еще ниже — относительной опорной длины профиля. Вид обработки указывают над полкой знака шероховатости (рис. 3.49, *б*).

В некоторых случаях устанавливаются требования к направлению неровностей и виду обработки (если он является единственным или предпочтительным для обеспечения требуемого качества

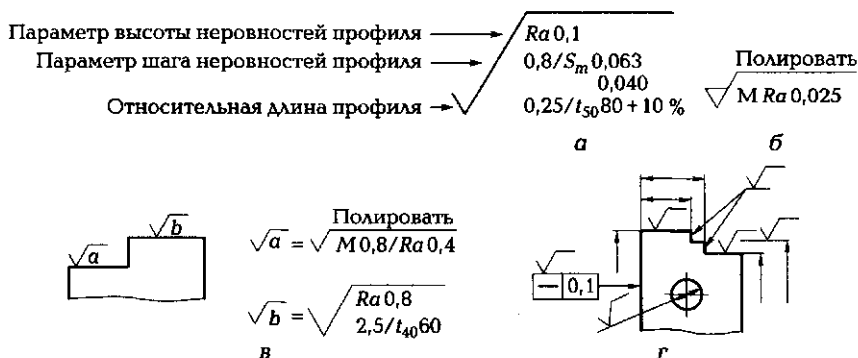


Рис. 3.49. Обозначение шероховатости поверхности:

а — примеры нанесения параметра Ra , Rz ; **б** — простановка параметров шероховатости в зоне знака; **в** — простановка вида обработки; **г** — упрощенное обозначение

поверхности). Эти параметры обозначаются в соответствующем поле условного обозначения (см. рис. 3.48, б): вид обработки — надписью, направление неровностей — условным знаком.

Условные обозначения направления неровностей указывают на чертежах, используя один из знаков, приведенных в табл. 3.14.

Значение базовой длины l размещают над обозначением направления шероховатости, но под полкой знака в соответствующем поле.

Если необходимо ограничить не только максимальное, но и минимальное значение параметра, предельные значения располагают одно над другим: выше — максимальное, ниже — минимальное, например:

$$Ra_{0,63}^{1,00}, Rz_{0,032}^{0,080}, R_{\max 0,32}^{0,80}, t_{50\ 70}^{50}$$

Кроме номинального значения параметра могут быть указаны предельные отклонения (в процентах), например: $1 \pm 30\ %$; $t_{50\ 70} \pm 10\ %$ и т. п. Допускается упрощенное обозначение шероховатости поверхности строчными буквами русского алфавита с разъяснением его в технических условиях (рис. 3.49, в).

На изображении изделия обозначение шероховатости поверхности располагают на линиях контура, выносных линиях (ближе к размерной линии) или на полках линий-выносок, а при недостатке места — на размерных линиях или на их продолжении (рис. 3.49, г).

Таблица 3.14. Обозначение направления неровностей

| Направление неровностей | Схема расположения | Условное обозначение |
|-------------------------|--------------------|----------------------|
| Параллельное | | |
| Перпендикулярное | | |
| Перекрещивающееся | | |
| Произвольное | | |
| Кругообразное | | |
| Радиальное | | |

Преобладающее значение шероховатости поверхности указывают в правом верхнем углу чертежа, а если есть поверхности с другой обозначенной на них шероховатостью, то ставят еще знак шероховатости в скобках. Знак перед скобкой должен быть в 1,5 раза больше знака на детали, а в скобках — одинакового размера со знаками на детали.

3.7.3. Влияние волнистости и шероховатости поверхности на эксплуатационные свойства узлов и механизмов

Волнистость и шероховатость поверхностей оказывают значительное влияние на ресурс подвижных и надежность неподвижных соединений.

В подвижных соединениях из-за волнистости и шероховатости фактическая (реальная) площадь контакта в 3—5 раз меньше номинальной, определяемой номинальными размерами сопрягаемых поверхностей отверстия и вала. Это приводит к увеличению давления в точках контакта и разрыву масляного слоя. Давление при этих условиях становится таким, что упругие деформации неров-

ностей переходят в пластические, и это сглаживает неровности. Кроме того, при разрыве масляного слоя и большом давлении происходит схватывание отдельных неровностей и вырывание частиц металла. Данные процессы сопровождаются значительным повышением температуры, что в таких соединениях, как коленчатый вал — вкладыши, приводит к выплавлению антифрикционного слоя. Даже если при этом разрушение сопрягаемых поверхностей не происходит, то все равно наблюдаются ускоренный износ поверхностей и значительное увеличение зазора. Эти процессы продолжаются до тех пор, пока высота и форма неровностей не достигнут определенного стабильного значения. Получающуюся при этом шероховатость называют *оптимальной*. Она характеризуется определенными высотой, шагом и формой неровностей.

Важно отметить, что если неровности поверхности первоначально меньше оптимального значения, то через определенный промежуток времени, равный периоду приработки, высота неровностей увеличится и также будет близка к оптимальной. Чем больше первоначальная шероховатость отличается от оптимальной, тем больший износ имеет поверхность в период приработки и тем на большее значение сократится технический ресурс соединения.

Шероховатость поверхности влияет также на усталостную прочность деталей, так как неровности являются концентраторами напряжений. Поэтому детали, работающие в условиях знакопеременных нагрузок, не должны иметь грубо обработанных поверхностей с большими неровностями.

Впадины неровностей являются резервуарами, в которых скапливаются вода и другие жидкости, поэтому поверхности с большими неровностями особенно подвержены коррозии. В местах уплотнений, где требуется герметичность, большая высота неровностей также вредна. Как правило, чем меньше допуск на обработку, тем меньшей получается высота неровностей. В то же время прямой зависимости между допуском и высотой неровностей нет.

Иногда при большом допуске на обработку назначают шероховатость с минимальной высотой неровностей для придания декоративного вида поверхности или для обеспечения надежной защиты ее от коррозии. Порой при минимальных допусках на обработку получают поверхности со сравнительно большими неровностями, надежно удерживающие смазку (например, поверхности поршней, направляющих станков, различных салазок).

Шероховатость поверхности — фактор управляемый, зависящий от режимов резания, вида режущего инструмента и охлаждающей жидкости и, наконец, от вида обработки.

При изготовлении и восстановлении деталей подвижных соединений в большинстве случаев следует стремиться к получению шероховатости, близкой к оптимальной.

В неподвижных соединениях шероховатость поверхностей деталей значительно влияет на их надежность. При напрессовке деталей соединений с натягом происходит частичное сглаживание неровностей, при этом изменяется натяг, который в собранном соединении будет меньше расчетного. Это приведет к уменьшению прочности соединения. С уменьшением высоты неровностей влияние шероховатости становится меньшим.

Из сказанного следует, что обоснованное назначение шероховатости поверхности с определенными параметрами — важный фактор повышения надежности и долговечности соединений и машины в целом.

При назначении параметра шероховатости можно ориентироваться на наибольшие допустимые значения параметра Ra в зависимости от допусков на размер и форму, определяемые для следующих условий:

- при допуске 60 % от допуска на размер — $Ra \leq 0,05T$;
- при допуске 40 % от допуска на размер — $Ra \leq 0,025T$;
- при допуске 25 % от допуска на размер — $Ra \leq 0,012T$.

В России долгое время основополагающим стандартом был ГОСТ 2789—73. В нем определено, какие параметры шероховатости поверхности должны применяться в нашей стране при установлении требований в технической документации на чертежах и при контроле шероховатости поверхности.

С развитием техники и технологии появилась необходимость более полной и разносторонней оценки и описания микрогеометрии поверхности. Шесть показателей качества, нормируемые ГОСТ 2789—73, уже не могут описать всю микрогеометрию поверхности и, следовательно, ее функциональные свойства. С сокращением выпуска отечественных профилометров на рынок стран СНГ поступают приборы зарубежного производства, осуществляющие измерения параметров шероховатости, нормированные стандартами Международной организации по стандартизации (ISO) и разработанными на базе их региональными (EN) и национальными стандартами. Некоторые из этих параметров существенно отличаются от установленных ГОСТ 2789—73. Как следствие невозможность корректного сопоставления результатов, полученных разными исследователями.

Поэтому были приняты национальные стандарты, регламентирующие новые показатели, описывающие микрогеометрию. В ка-

честве основы взят опыт зарубежных государств. В последнее время в нашей стране введены в действие следующие стандарты, регламентирующие показатели оценки микрогеометрии поверхности:

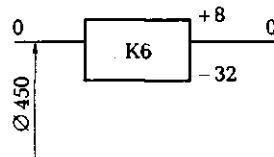
ГОСТ Р ИСО 4287—2014 «Геометрические характеристики изделий (GPS). Структура поверхности. Профильный метод. Термины, определения и параметры структуры поверхности»;

ГОСТ Р ИСО 25178-2—2014 «Геометрические характеристики изделий (GPS). Структура поверхности. Ареал. Часть 2. Термины, определения и параметры структуры поверхности»;

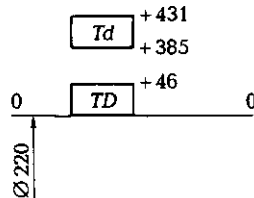
ГОСТ Р ИСО 16610-21—2015 «Государственная система обеспечения единства измерений. Геометрические характеристики изделий (ГХИ). Фильтрация. Часть 21. Линейные профильные фильтры. Фильтры Гаусса».

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

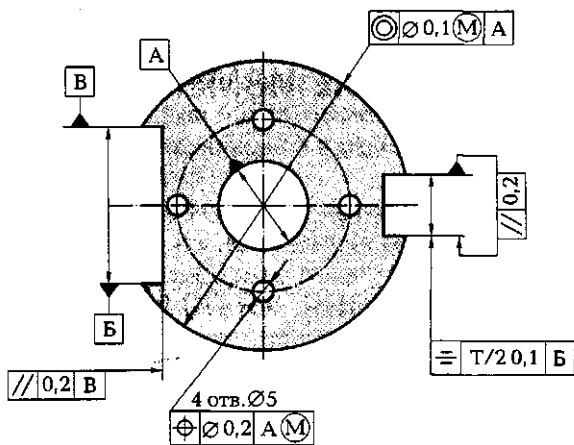
1. Диаметр отверстия по чертежу $\varnothing 100^{+0,08}_{+0,02}$. Какие из действительных размеров могут быть забракованы?
2. Диаметр вала по чертежу $\varnothing 60^{+0,01}_{-0,04}$. Какие из действительных размеров могут быть забракованы?
3. Определите допуск детали, интервал допуска которой изображен на рисунке.



4. Определите верхнее отклонение вала e_i , если нижнее отклонение $e_i = 9$ мкм, а допуск вала $T_d = 25$ мкм.
5. Чему равен гарантированный натяг и диапазон посадки, приведенной на рисунке.



6. Расшифруйте, не прибегая к справочной литературе, указанное на чертеже обозначение геометрического допуска.



ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

4.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ПО МЕТРОЛОГИИ

Метрология — учение о мерах. В дословном переводе с древнегреческого *metron* — мера, а *logos* — речь, слово, учение. Принято считать, что **метрология** — это наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности.

Единицы величин. Если в незапамятные времена люди могли обходиться только счетом однородных объектов (например, домов в деревне, жителей в городе, мужчин, женщин и т.п.), то с развитием человеческого общества возникла потребность в определении длины, времени, массы и т.д. Для этого сначала употреблялись природные единицы оценки, а затем специальные условные единицы. Так, в древности время измерялось числом сезонов (числом лет, зим, весен), позднее — месяцами, неделями, сутками. С появлением специальных устройств для более точного определения времени — солнечных, песочных, водяных, маятниковых часов — **единицами измерения** стали час, минута, секунда. Сегодня и эта точность уже недостаточна. Время стали определять с точностью до 10^{-13} с. И это не предел.

Аналогичное явление в развитии количественной оценки измерения можно увидеть и для других величин — длины, массы, температуры и т.д.

Величина — свойство материального объекта или явления, общее в качественном отношении для многих объектов или явлений (систем, их состояний и происходящих в них процессов), но в количественном отношении индивидуальное для каждого из них (например, длина, масса, время, сила тока и др.). Термин «величина» обычно применяется в отношении тех свойств или характеристик, которые могут быть оценены количественно, т.е. могут быть измерены. Существуют такие свойства или характеристики, которые

в настоящее время наука и техника еще не позволяют оценивать количественно, например запах, вкус или цвет, поэтому их обычно избегают называть «величинами», а называют «свойствами».

Например, масса любого тела может быть выражена в килограммах, но каждого в отдельности тела — определенным значением (5; 15; 20,5 кг). Длина объектов машиностроения обычно выражается в миллиметрах, каждого в отдельности — в конкретных значениях (5; 25; 48 мм).

Основным свойством величины является ее **размерность**.

Размер величины — количественная определенность величины, присущая конкретному материальному объекту или явлению в данном объекте свойства, соответствующего понятию «величина»:

- длина и диаметр детали — однородные (одноименные) величины;
- длина и масса детали — неоднородные (неодноименные) величины.

Размер величины характеризуется его значением.

Значение величины — выражение размера величины в виде некоторого числа принятых для нее единиц или чисел баллов по соответствующей шкале измерений. Причем числовое значение величины (отвлеченное число, входящее в значение величины) служит основой для сравнения с другими одноименными величинами.

Для хранения и/или воспроизведения (повторения) одного или нескольких заданных размеров, значения которых выражены в установленных единицах и известны с необходимой точностью, с давних времен используют средство измерения, называемое **мерой** (например, мера длины, мера массы, мера температуры и т. д.).

На Руси первым свидетельством, относящимся к мерам и весам (конец X в.), является «Устав о церковных десятинах и прочем» князя Владимира Святославовича, где дано поручение епископам наблюдать за весами и мерами. В Грамоте новгородского князя Всеволода (1135 г.) за неправильное пользование мерами и весами предусматривалось суровое наказание — казнь.

В Киевской Руси применялись такие меры длины, как вершок — длина фаланги указательного пальца, пядь — расстояние между концами вытянутых большого и указательного пальцев, локоть, сажень и др. (рис. 4.1).

Системы единиц физических величин. Единицы величин начали появляться с того момента, когда у человека возникла необходимость выражать что-либо количественно. Первоначально единицы величин выбирались произвольно, без какой-либо связи друг с другом, что создавало значительные трудности. По мере


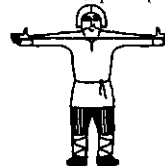















| Основные первичные меры | | | | | |
|-------------------------|---|--|---|--|-----|
| Сажень | 152 см Простая  | 176 см Мерная (маховая)  | | 216 см Косая (казенная)  | 1 |
| | 76 см  | 76 см  | 88 см  | 108 см  | |
| Локоть | 38 см  | 44 см  | 46 см  | 54 см  | 1/4 |
| | 19 см Малая  | 22 — 23 см Великая  | | 27 см «С кувырком»  | 1/8 |
| Дополнительные меры | | | | | |
| Сажень | 148 см  | Косая (великая) | 197 см  | «Без чети» | |
| | 62 см  | | | | |

Рис. 4.1. Русские народные меры (по Б. А. Рыбакову)

развития техники и международных связей трудности использования результатов измерений, выраженных в различных единицах, возрастали и тормозили дальнейший научно-технический прогресс. Возникла необходимость в создании единой системы единиц величин.

Система единиц величин — совокупность основных и производных единиц вместе с их кратными и дольными единицами, определенными в соответствии с установленными правилами для данной системы единиц.

Наиболее распространенной во всем мире и принятой у нас в стране является Международная система единиц (СИ), содержащая семь основных единиц, две дополнительные и ряд производных. Основные единицы величин этой системы приведены в табл. 4.1.

Ранее в международную систему единиц СИ в качестве дополнительных единиц входили единица плоского угла — радиан (рад) и единица телесного угла — стерadian (ср). В настоящий период они относятся к классу производных единиц, имеющих специальные наименования и обозначения.

Дадим для справки определения некоторых основных единиц СИ.

Метр — длина пути, проходимого светом в вакууме за $1/299\,792\,458$ с.

Килограмм — единица массы, равная массе международного прототипа килограмма.

Секунда — время, равное $9\,192\,631\,770$ периодам излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133.

Таблица 4.1. Основные единицы величин системы СИ

| Величина | Размерность | Наименование | Русское обозначение |
|-------------------------------|-------------|--------------|---------------------|
| Длина | L | метр | м |
| Масса | M | килограмм | кг |
| Время | T | секунда | с |
| Сила электрического тока | I | ампер | А |
| Термодинамическая температура | Θ | кельвин | К |
| Количество вещества | N | моль | моль |
| Сила света | J | кандела | кд |

Кельвин — единица термодинамической температуры, равная $1/273,16$ части термодинамической температуры тройной точки воды. (Последняя — это температура точки равновесия воды в твердой (лед), жидкой и газообразной (пар) фазах на $0,01$ К или $0,01$ °С выше точки таяния льда.)

Допускается применение шкалы Цельсия. Температура в градусах Цельсия (°С) обозначается символом t :

$$t = T - T_0,$$

где $T_0 = 273,15$ К.

Согласно этой зависимости 0° по шкале Цельсия соответствует $273,15$ по шкале Кельвина.

Кроме системных единиц СИ у нас в стране до сих пор применяются некоторые **внесистемные единицы**, удобные для практики и традиционно использующиеся для измерения:

давления — атмосфера, бар, миллиметр ртутного столба;

длины — ангстрем (10^{-10} м), дюйм (25,4 мм);

мощности — киловатт-час;

времени — час, минута и др.

Единицы той или иной величины, как правило, связаны с мерами. Размер единицы измеряемой величины принимается равным размеру величины, воспроизводимому мерой.

Но на практике одна единица оказывается неудобной для измерения больших и малых размеров данной величины. Поэтому применяется несколько единиц, находящихся в кратных и дольных соотношениях между собой.

Кратная единица — единица величины, в целое число раз большая системной или внесистемной единицы.

Дольная единица — единица величины, в целое число раз меньшая системной или внесистемной единицы.

Кратные и дольные единицы величин образуются благодаря соответствующим приставкам к основным единицам. Эти приставки приведены в табл. 4.2.

Например: основная единица длины — метр (м), дольные единицы длины — дециметр (дм), сантиметр (см), миллиметр (мм), микрометр (мкм) и т. д., кратные единицы длины — декаметр (дам), гектометр (гм), километр (км) и т. д.

Аналогичные приставки даются и другим единицам величин.

Существуют определенные правила написания обозначений единиц. При наименовании, соответствующем произведению единиц с кратными или дольными приставками, рекомендуется приставку присоединять к наименованию первой единицы, входящей

Таблица 4.2. Множители и приставки для образования десятичных кратных и дольных единиц и их наименования

| Множитель | Приставка | Обозначение приставки | |
|------------|-----------|-----------------------|---------------|
| | | русское | международное |
| 10^{15} | пета | П | P |
| 10^{12} | тера | Т | T |
| 10^9 | гига | Г | G |
| 10^6 | мега | М | M |
| 10^3 | кило | к | k |
| 10^2 | гекто | г | h |
| 10^1 | дека | да | da |
| 10^{-1} | деци | д | d |
| 10^{-2} | санти | с | c |
| 10^{-3} | мили | м | m |
| 10^{-6} | микро | мк | μ |
| 10^{-9} | нано | н | n |
| 10^{-12} | пико | п | p |
| 10^{-15} | фемто | ф | f |

в произведение. Например, 10^3 единиц момента силы — ньютон-метров следует именовать «килоньютон-метр», а не «ньютон-километр». Записывается это кН · м, а не Н · км.

Все рассмотренные положения о метрологии, системе единиц величин не имели бы смысла, если бы нельзя было воспроизводить и передавать размеры. Например, длина некоторого объекта 1,5 м должна быть одинаковой и в Европе, и в Азии, и в Америке с заранее оговоренной погрешностью.

Единство измерений — состояние измерений, при котором их результаты выражены в узаконенных единицах, размеры которых равны размерам единиц, воспроизводимых первичными эталонами, а погрешности результатов измерений известны с заданной вероятностью.

Для обеспечения единства измерений необходима тождественность единиц, в которых проградуированы все средства измерений. Тождественность обеспечивается путем точного воспроизведе-

дения и хранения установленных единиц величин и передачи их размеров применяемым средствам измерений.

Воспроизведение, хранение и передача размеров единиц величин осуществляется с помощью **эталонов** и **рабочих эталонов**. Высшим звеном в цепи передачи размеров единиц величин являются эталоны.

Эталон единицы — средство измерений (или комплекс средств измерений), обеспечивающее воспроизведение и (или) хранение единицы в целях передачи ее размера нижестоящим по поверочной схеме средствам измерений, выполненное по особой спецификации и официально утвержденное в установленном порядке в качестве эталона.

Основное назначение эталонов — обеспечение материально-технической базы воспроизведения и хранения единиц величин.

Основные единицы величин СИ воспроизводятся централизованно с помощью государственных эталонов.

Государственные эталоны хранятся в метрологических институтах Российской Федерации. Допускается их хранение и применение в органах ведомственных метрологических служб.

Кроме национальных эталонов единиц величин существуют международные эталоны, хранимые в Международном бюро мер и весов. Под эгидой Международного бюро мер и весов проводится систематическое международное сличение национальных эталонов крупнейших метрологических лабораторий с международными эталонами и между собой. Например, эталон метра и килограмма сличают 1 раз в 25 лет, эталоны электрического напряжения, сопротивления и световые — 1 раз в 3 года.

Большинство эталонов представляют собой сложные и весьма дорогостоящие установки, которые должны обслуживаться и использоваться учеными высочайшей квалификации, обеспечивающими их эксплуатацию, совершенствование и хранение.

Рассмотрим, например, **эталон глины**.

До 1960 г. действовал следующий эталон метра: метр определялся как расстояние, измеренное при температуре 0 °С между осями двух соседних штрихов, нанесенных на платиново-иридиевый брусок, хранящийся в Международном бюро мер и весов, при условии, что этот брусок находится при нормальном давлении и поддерживается двумя роликами диаметром не менее 1 см, расположенными симметрично в одной продольной плоскости на расстоянии 571 мм один от другого.

Требование к повышению точности (платиново-иридиевый брусок не позволял воспроизводить метр с погрешностью меньше

0,1 мкм), а также целесообразность установления *естественного* и *неразмерного* эталона привели к созданию в 1983 г. нового, действующего по настоящее время эталона метра, точность которого на порядок выше старого. В новом эталоне метр, как уже упоминалось, равен длине пути, проходимого светом в вакууме за $1/299\,792\,458$ с.

Погрешность воспроизведения единицы метра не превышает $5 \cdot 10^{-11}$ м. Несмотря на это эталон постоянно совершенствуется в целях повышения точности, стабильности, надежности.

Передача размеров единиц от эталона единицы величины к первичному эталону и к рабочим средствам измерений осуществляется с помощью рабочих эталонов.

Рабочий эталон — это эталон, предназначенный для передачи размера единицы рабочим средствам измерений.

Термин «рабочий эталон» заменил собой термин «образцовое средство измерений» (ОСИ), что сделано в целях упорядочения терминологии и приближения ее к международной.

При необходимости рабочие эталоны подразделяют на разряды (1, 2, 3, ..., *n*-й), как это принято для ОСИ. Передачу размера единицы осуществляют через цепочку соподчиненных по разрядам рабочих эталонов. От последнего рабочего эталона в этой цепочке размер единицы передают рабочему средству измерений.

Схема передачи размеров (метрологическая цепь) от эталонов к рабочим средствам измерений (первичный эталон → рабочий эталон → разрядные эталоны → рабочие средства измерений) представлена на рис. 4.2.

Между разрядными эталонами существует следующая соподчиненность: эталоны 1-го разряда поверяются непосредственно по эталонам; эталоны 2-го разряда — по эталонам 1-го разряда и т.д.

Отдельные рабочие средства измерений наивысшей точности могут поверяться по рабочим эталонам, рабочие средства измерений высшей точности — по эталонам 1-го разряда.

Разрядные эталоны располагаются в метрологических институтах государственной метрологической службы, а также в поверочных лабораториях отраслевых метрологических служб, которым в установленном порядке предоставлено право поверки средств измерений.

Для обеспечения правильности передачи размеров величин во всех звеньях метрологической цепи должен быть установлен определенный порядок. Этот порядок приводится в поверочных схемах.

Поверочная схема — это нормативный документ, устанавливающий соподчинение средств измерений, участвующих в передаче

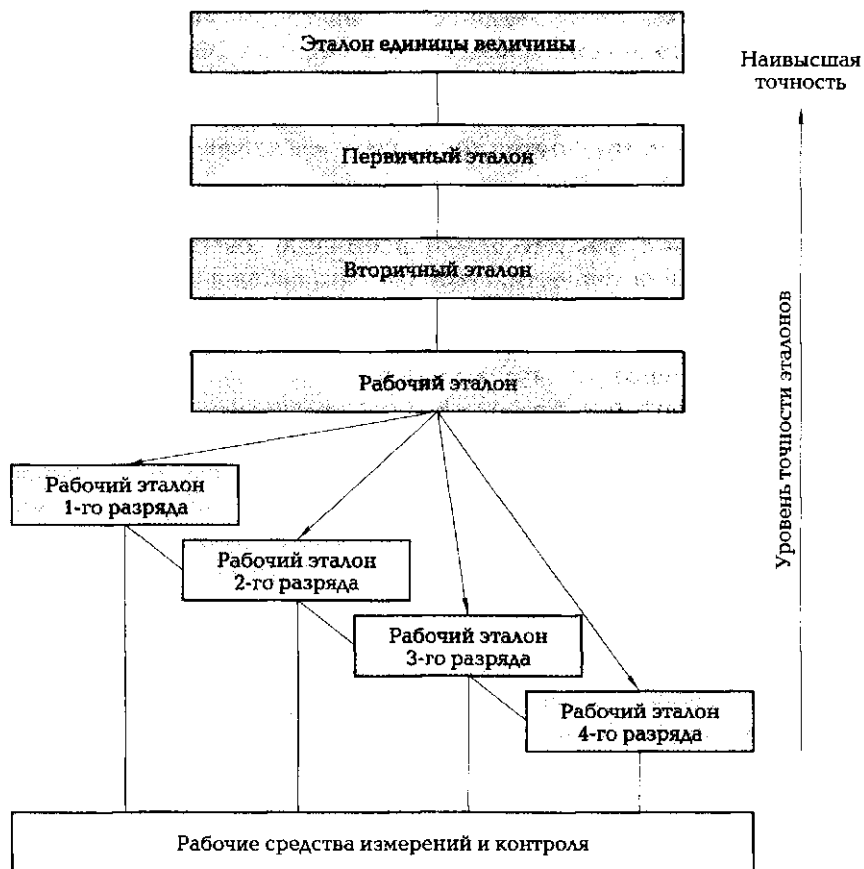


Рис. 4.2. Схема передачи размеров от эталонов к рабочим средствам измерений

размера единицы от эталона рабочим средствам измерений. Различают государственные и локальные поверочные схемы.

Государственная поверочная схема разрабатывается государственным научным метрологическим центром — держателем соответствующего государственного эталона и распространяется на все средства измерений данной физической величины, имеющиеся в стране. Она оформляется согласно требованиям ГОСТ 8.061—80 «Государственная система обеспечения единства измерений. Поверочные схемы. Содержание и построение» и утверждается Федеральным агентством по техническому регулированию

и метрологии. Государственная поверочная схема возглавляется государственным эталоном.

Локальная поверочная схема распространяется на средства измерений данной физической величины, применяемые в регионе (на предприятии). Она должна соответствовать требованиям соподчиненности средств измерений, определяемым государственной поверочной схемой, вписываться в нее и оформляться по аналогичной структуре. Локальная поверочная схема возглавляется эталоном, обладающим наивысшими метрологическими свойствами в данном регионе, организации или на предприятии. Локальная поверочная схема утверждается руководителем предприятия или организации, в которой используется данная поверочная схема, по согласованию с органами государственной метрологической службы, осуществляющие для них поверку рабочих эталонов, включенных в поверочную схему.

Поверочные схемы состоят из текстовой части и чертежа. В локальные поверочные схемы допускается не включать текстовую часть. На чертеже поверочной схемы указывают в прямоугольниках наименование эталонов, рабочих средств измерений (с указанием диапазона измерений) и метрологические характеристики СИ. Наименование метода передачи размера единицы и допускаемая погрешность метода заключается в овалах.

Важным показателем достоверности передачи размера единицы является соотношение погрешностей средств измерений, находящихся на соседних ступенях поверочной схемы. Установление этого соотношения определяется техническими возможностями и экономической целесообразностью.

Желательно, чтобы это соотношение было достаточно высоким (например, 1:10). Практически приемлемым считается соотношение не хуже 1:3. Методы поверки СИ, указываемые на поверочной схеме, должны отражать специфику поверки данного вида средств измерений и соответствовать одному из следующих общих методов:

- метод непосредственного сличения (без средств сравнения);
- метод сличения при помощи компаратора;
- метод прямых измерений;
- метод косвенных измерений.

Строгое соблюдение поверочных схем и своевременная поверка рабочих эталонов — необходимые условия для передачи достоверных размеров единиц величин рабочим средствам измерений.

Точность результатов измерений. Измерение — процесс экспериментального получения одного или более значений величины, которые могут быть обоснованно приписаны величине.

Измерение подразумевает сравнение величин или включает счет объектов, оно предусматривает описание:

- величины в соответствии с предполагаемым использованием результата измерения;
- методику измерений;
- средство измерений, функционирующее в соответствии с регламентированной методикой измерений и с учетом условий измерения.

Поскольку применяемые при измерениях методы и технические средства не являются идеальными, а органы восприятия экспериментатора (например, глаза) не могут идеально воспринимать показания приборов, после завершения процесса измерения остается некоторая неопределенность в знаниях об объекте измерения, что свидетельствует о невозможности получения истинного значения любой величины.

В метрологической практике неточность знания о размере измеряемой величины характеризуется на основании концепции неопределенности измерений (ГОСТ Р 54500—2011 «Неопределенность измерения») или концепции погрешности результатов измерений.

Концепции погрешности и неопределенности измерений преследуют единую цель — количественно охарактеризовать результат измерения с точки зрения его точности. В обеих концепциях прослеживается *единая схема* оценки характеристик погрешности и неопределенности измерения:

- анализ измерительной задачи и уравнение измерения;
- выявление всех источников погрешности (неопределенности) результата измерения;
- введение поправок на все известные систематические эффекты (погрешности);
- оценивание характеристик составляющих погрешности (стандартных неопределенностей);
- вычисление характеристики погрешности (неопределенности) результата измерения.

Оценку точности получаемых результатов измерений на основании концепции неопределенности следует применять:

- при проведении совместных работ с зарубежными странами, проводимых под эгидой МКМВ и его Консультативных комитетов;

- подготовке публикаций в зарубежной печати, работ по определению физических констант и в других случаях, связанных с выполнением международных метрологических работ;
- неприменимости понятия «истинное значение величины»;
- отсутствии соответствующего эталона или схемы передачи размеров от него рабочим средствам измерений.

Соответственно в других случаях следует проводить оценку точности результатов измерений на основании концепции погрешности измерений.

В соответствии с этой концепцией мерой неопределенности результата измерения является погрешность результата наблюдений.

Под **погрешностью результата измерения (погрешностью измерений)** понимается отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины.

Погрешность измерения определяется следующим образом:

$$\Delta = x_{\text{изм}} - x,$$

где $x_{\text{изм}}$ — результат измерения; x — истинное значение величины.

Но так как истинное значение величины неизвестно, то неизвестна и погрешность измерения. Поэтому на практике имеют дело с приближенными значениями погрешности или с так называемыми их оценками. В формулу для оценки погрешности подставляют вместо истинного значения величины ее действительное значение. Под **действительным значением величины** понимается ее значение, полученное экспериментальным путем и настолько близкое к истинному значению, что в поставленной измерительной задаче может быть использовано вместо него.

Таким образом, формула для оценки погрешности имеет вид

$$\Delta x = x_{\text{изм}} - x_{\text{д}},$$

где $x_{\text{д}}$ — действительное значение величины.

Выделяют четыре основные группы погрешностей измерений:

- погрешности, обусловленные методиками выполнения измерений (погрешности метода измерений);
- погрешности средства измерений;
- погрешности органов чувств наблюдателей (личные погрешности);
- погрешности, обусловленные влиянием условий измерений.

Появление первой группы погрешностей объясняется не полным знанием математической модели процесса измерения, пренебрежением некоторых величин или условий информативного или неинформативного характера.

Погрешность средства измерения — отклонение его показания (выходного сигнала) от воздействующей на его вход измеряемой величины.

Появление второй группы погрешностей может объясняться, с одной стороны, неточностью его изготовления, а с другой — неточностью математической модели метода, на котором основано данное средство измерения.

Погрешности органов чувств наблюдателей зависят от многих причин, главная из которых — опыт наблюдателя.

Четвертая группа погрешностей зависит как от внешних воздействующих факторов (условия измерений), так и от внутренних (взаимные деформации объекта измерений и чувствительного элемента средства измерения и др.).

На практике эти погрешности проявляются одновременно, и они образуют **суммарную погрешность** измерения. В общем случае суммарная погрешность измерений может содержать три различные по своей физической сущности составляющие:

- случайную;
- систематическую;
- грубую погрешность измерений (промах).

Поскольку точность измерений характеризуется случайной составляющей суммарной погрешности измерений, а правильность — систематической, то случайная погрешность характеризует такое качество измерений, как их точность, а систематическая — их правильность.

Случайная погрешность измерения — составляющая погрешности результата измерения, изменяющаяся случайным образом (по знаку и значению) при повторных измерениях одной и той же величины, проведенных с такой же тщательностью, что и предыдущие измерения.

Например, при измерениях, проводимых с помощью линейки или рулетки, как правило, превалирует случайная составляющая погрешности, а систематическая мала, и ею пренебрегают. Появление случайной составляющей при этих измерениях можно объяснить следующими основными причинами:

- неточностью (перекосом) установки рулетки (линейки);
- неточностью установки начала отсчета;
- изменением угла наблюдения;

- усталостью глаз;
- изменением освещенности.

Случайная погрешность не может быть устранена до начала проведения измерений, поскольку ее возникновение обуславливается воздействием различных случайных факторов. Она может быть только уменьшена за счет увеличения числа повторных измерений.

Поскольку случайные погрешности результатов измерений являются случайными величинами, в основе их обработки лежат методы теории вероятностей и математической статистики.

Систематическая погрешность измерения — составляющая погрешности результата измерений, остающаяся постоянной или закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же величины. Это, например, погрешность, связанная с износом инструмента при обработке детали, погрешность показаний электрического счетчика индукционного типа, если эти показания снимать сразу же после его включения в электрическую сеть (погрешность электрического счетчика в первые часы работы непрерывно уменьшается благодаря прогреву механизма счетчика до температуры, установленной техническими условиями его эксплуатации).

Систематическая погрешность возникает из-за несовершенства метода выполнения измерений, погрешности средства измерений, неточного знания математической модели измерений, из-за влияния внешних условий (температуры, влажности и др.), погрешностей градуировки и поверки средства измерений, личных причин.

По характеру проявления систематические погрешности подразделяются на постоянные, прогрессирующие и периодические.

Постоянные систематические погрешности — погрешности, которые не изменяются в течение всего времени выполнения измерений. Например, не горизонтальная установка рычажных весов, погрешность градуировки средства измерения (включая неточность установки нулевого деления), погрешность изготовления концевых мер длины, массы и др.

Прогрессирующие погрешности — погрешности, которые монотонно убывают или монотонно возрастают. К таким погрешностям можно отнести погрешности из-за монотонного изменения длины за счет монотонного изменения температуры, из-за износа контактирующих в процессе измерений поверхностей, монотонного падения или роста напряжения электропитания и др.

Периодические погрешности — погрешности, значения которых являются периодической функцией времени или функцией перемещения указателя средства измерения. Например, погрешность показания индикатора, у которого ось стрелки смещена относительно центра шкалы.

Периодические погрешности могут изменяться по различным, иногда достаточно сложным зависимостям благодаря одновременному воздействию нескольких факторов, каждый из которых изменяется по своей зависимости.

Систематические погрешности могут обуславливаться инструментальными погрешностями средств измерений.

Инструментальные погрешности — погрешности, причина которых заключается в свойствах, присущих применяемым средствам измерения. Инструментальные погрешности возникают из-за сил трения, наличия износа и люфтов в сочленениях подвижных деталей средств измерений, неточности изготовления элементов средств измерений. Так, например, равноплечие весы не могут быть идеально равноплечими, поэтому заведомо имеет место инструментальная погрешность.

Инструментальная погрешность может возникнуть, если между измеряемой физической величиной или процессом и принципом действия средства измерения отсутствует теоретически доказанная зависимость. Это может явиться причиной возникновения систематической **погрешности метода** измерения (теоретическая погрешность). Погрешности метода измерения проявляются также вследствие упрощений или допущений применения эмпирических формул и зависимостей.

Для получения достоверной измерительной информации систематические погрешности должны быть либо исключены из результатов измерений, либо в результате измерений должна быть введена соответствующая поправка.

Существует несколько способов исключения систематических погрешностей, которые могут быть условно разделены на четыре основные группы:

1) устранение самих источников погрешностей до начала проведения измерений;

2) исключение погрешностей в процессе выполнения измерений способами замещения, компенсации погрешности по знаку, противопоставления и симметричными наблюдениями;

3) внесение известных поправок в результат измерения;

4) оценка границ доверительного интервала неисключенных систематических погрешностей (НСП).

Результаты измерений, содержащие систематическую погрешность, называют неисправленными и обозначаются верхним индексом « ' », например, $X'_{\text{изм}}$.

Грубая погрешность измерения (промах) — погрешность, значение которой значительно превышает ожидаемые значения систематической или случайной погрешности при данных условиях измерений.

Основными причинами появления этих погрешностей могут быть:

- грубые ошибки экспериментатора;
- резкое и неожиданное изменение условий измерений;
- внезапное возникновение неисправности средства измерения и др.

В зависимости от измерительной задачи погрешности могут выражаться в абсолютных и относительных величинах.

Абсолютная погрешность — погрешность, выраженная в единицах измеряемой величины. Например, погрешность измерения массы 5 кг равна 0,005 кг. Результат измерения массы выражен в килограммах, поэтому абсолютная погрешность также выражается в этих же единицах — килограммах.

Кроме обычной погрешности измерения различают так называемую грубую погрешность измерения — промах.

Промах — погрешность результата отдельного измерения, входящего в ряд измерений, которое для данных условий резко отличается от остальных результатов этого ряда.

Например, значение взвешиваемой массы гири 10 кг определяется с погрешностью 0,010 кг. В результате воздействия какого-нибудь фактора (допустим, толчка весов) получилась погрешность, равная 0,1 кг. Эта погрешность и будет промахом — грубой погрешностью.

Как правило, для уменьшения случайной погрешности и исключения промахов проводят многократные измерения. Обработка результатов осуществляется методами математической статистики по правилам, действующим в отношении случайных величин.

Относительная погрешность — это погрешность, выраженная отношением абсолютной погрешности к действительному или измеренному значению измеряемой величины. Она может выражаться в долях измеряемой величины или в процентах. Например, если абсолютная погрешность измерения длины 10 м равна 0,01 м, то относительная погрешность будет равна $0,01/10 = 0,001$, или 0,1 %.

Виды и методы измерений. Для обоснованного выбора или назначения средства измерений необходимо знать о возможных видах и методах измерений.

Виды измерений обычно классифицируются по следующим признакам:

- сущности измеряемых величин;
- характеристике точности (измерения равноточные, неравноточные);
- числу измерений случайной величины (измерения однократные, многократные);
- изменению определяемой величины во времени (измерения статические, динамические);
- метрологическому назначению (измерения технические, метрологические);
- выражению результатов измерений (результаты абсолютные, относительные);
- способу получения числового значения величины (способы прямые, косвенные, совместные, совокупные).

Равноточные измерения — ряд измерений какой-либо величины, выполненных одинаковыми по точности средствами измерений и в одних и тех же условиях с одинаковой тщательностью. Например, измерение одной и той же величины детали разными микрометрами одинаковой точности при одинаковых температуре и влажности помещения, в котором производятся измерения.

Неравноточные измерения — ряд измерений какой-либо величины, выполненных различающимися по точности средствами измерений и/или в разных условиях. В этом случае размер одной и той же детали определяется в разных условиях (например, в разных цехах), разными средствами измерения (например, в одном цехе штангенциркулем, а в другом — микрометром), разными операторами.

Однократное измерение — измерение, выполненное один раз. Этот вид измерений широко распространен в торговле, быту благодаря своей простоте и достаточной точности. Однако в условиях производства такая точность часто не является достаточной. В этом случае применяются многократные измерения.

Многократное измерение — измерение одной и той же величины, результат которого получен из нескольких следующих друг за другом измерений, т. е. состоящее из ряда однократных измерений. В этом случае измерение одной и той же величины повторяется оператором неоднократно, но в одних и тех же условиях и

одним и тем же средством. Так, средняя температура воздуха за день определяется по показаниям одного и того же термометра, снимаемым несколько раз в день.

Прямое измерение — измерение, при котором искомое значение величины получают непосредственно (например, измерение массы с помощью циферблатных или равноплечих весов, измерение температуры с помощью термометра, длины с помощью линейки и т. д.).

Прямое измерение производится путем экспериментального сравнения измеряемой величины с мерой этой величины или путем отсчета показаний средства измерений по шкале или цифровому прибору (например, измерения с помощью линейки, вольтметра, весов).

Косвенное измерение — определение искомого значения величины на основании результатов прямых измерений других величин, функционально связанных с искомой величиной. Например, определение площади или объема по значениям длины, ширины и высоты объекта, измеренных с помощью некоторого средства измерений, или определение плотности тела заданной формы — например, куба — по результатам прямых измерений массы, размера сторон куба и плотности материала, из которого изготовлен куб.

Совокупные измерения — это проводимые одновременно измерения нескольких одноименных величин, при которых искомые величины определяют путем решения системы уравнений, получаемых при измерениях этих величин в различных сочетаниях. Например, измерения, при которых массу отдельных гирь набора определяют по известному значению массы одной из гирь и по результатам измерений масс различных сочетаний гирь.

Часто именно этим путем добиваются повышения точности результатов измерений.

Совместные измерения — это проводимые одновременно измерения двух или нескольких неоднородных величин для определения зависимости между ними. Например, определение времени t движения автомобиля и расстояния L , пройденного им, для последующего расчета скорости автомобиля по формуле $v = L/t$.

Значение величины определяется с помощью средств измерений определенным методом. Под **методом измерений** понимается прием или совокупность приемов сравнения измеряемой величины с ее единицей в соответствии с реализованным принципом измерений. Метод измерений обычно обусловлен устройством средства измерений. Различают методы непосредственной оценки и методы сравнения с мерой.

Метод непосредственной оценки (часто применяют термин «прямой метод измерений») — это метод измерений, при котором величину определяют непосредственно по показывающему средству измерений (измерение длины с помощью линейки, массы с помощью пружинных весов, давления с помощью манометра и др.).

Метод сравнения с мерой — это метод измерений, в котором измеряемую величину сравнивают с величиной, воспроизводимой мерой. Например, измерение зазора между деталями с помощью щупа, массы на рычажных весах с помощью гирь, длины с помощью концевых мер и др. Метод сравнения с мерой может иметь несколько разновидностей: **метод измерений дополнением, дифференциальный метод, нулевой метод измерений и метод измерений замещением.**

Кроме перечисленных различают контактный и бесконтактный методы измерений.

Контактный метод измерений — метод измерений, основанный на том, что чувствительный элемент прибора приводится в контакт с объектом измерения (например, определение диаметра отверстия штангенциркулем или индикаторным нутромером).

Бесконтактный метод измерений — это метод измерений, основанный на том, что чувствительный элемент средства измерений не приводится в контакт с объектом измерения. Например, измерение расстояния до объекта с помощью радиолокатора или параметров резьбы с помощью инструментального микроскопа.

Обработка результатов измерений. От того, какой метод измерений избрать, чем и как измерять, зависит результат измерений и его погрешность. Но без обработки этих результатов невозможно определить числовое значение измеряемой величины.

Обработка результатов измерений — ответственный и порой сложный этап подготовки ответа на вопрос об истинном значении измеряемого параметра (величины). Это и определение среднего значения измеряемой величины и его дисперсии, и определение доверительных интервалов погрешностей, нахождение и исключение грубых погрешностей, оценка и анализ систематических погрешностей и т.д. Подробно с этими вопросами можно ознакомиться в других книгах. Здесь же мы рассмотрим лишь первые шаги, выполняемые при обработке результатов равноточных измерений, которые подчиняются нормальному закону распределения.

Как уже указывалось ранее, определить истинное значение величины по результатам ее измерения невозможно в принципе. На

основании результатов измерений можно получить **оценку** этого истинного значения. В связи с наличием большого числа случайных погрешностей даже при измерении одной и той же величины проявляется рассеяние результатов в ряду измерений. Оценить воздействие этих погрешностей в определенном ряду измерений можно следующими критериями:

- размахом результатов измерений

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

где x_{\max} и x_{\min} — наибольшее и наименьшее значения величины в данном ряду измерений;

- средним арифметическим значением измеряемой величины из n единичных результатов

$$\bar{x} = 1/n \sum_{i=1}^n x_i,$$

где x_i — результаты измерений; n — число единичных измерений в ряду;

- средней квадратичной погрешностью результатов единичных измерений в ряду измерений (СКП)

$$S = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 / (n-1)}.$$

Вместо термина СКП на практике широко распространен термин «среднее квадратичное отклонение» (СКО). При обработке ряда результатов измерений, свободных от систематических погрешностей, СКП и СКО применяются в качестве одинаковой оценки рассеяния результатов единичных измерений.

Для оценки наличия грубых погрешностей — промахов — пользуются определением **доверительных границ погрешности результата измерений**. В случае нормального закона распределения эти границы определяются как $\pm tS$, где t — коэффициент, зависящий от доверительной вероятности P и числа измерений (выбирается по таблицам).

Если среди результатов измерений найдутся результаты, значения которых выходят из доверительных границ, т. е. большие или меньшие среднего значения x на величину tS , то они будут грубыми погрешностями и из дальнейшего рассмотрения исключатся.

Дальнейший анализ и обработка полученных результатов выполняется по ГОСТ 8.736—2011 «Государственная система обеспе-

Таблица 4.3. Результаты измерений

| Номер измерений | Диаметр шейки, мм | Номер измерений | Диаметр шейки, мм |
|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|
| 1 | 10,08 | 6 | 10,13 |
| 2 | 10,09 | 7 | 10,05 |
| 3 | 10,03 | 8 | 10,30 |
| 4 | 10,10 | 9 | 10,07 |
| 5 | 10,16 | 10 | 10,12 |

чения единства измерений. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения».

Рассмотрим пример начальной обработки результатов единичных измерений диаметра шейки вала (табл. 4.3), выполненных микрометром в одних и тех же условиях.

1. Расположим полученные результаты в монотонно увеличивающийся ряд:

$$x_i \dots\dots\dots 10,03; 10,05; 10,07; 10,08; 10,09; 10,10; 10,12; 10,13; 10,16; 10,30$$

2. Определим среднее арифметическое значение результатов измерений, мм:

$$\bar{x} = 1/n \sum_{i=1}^n x_i = 101,13/10 = 10,113.$$

3. Определим среднюю квадратичную погрешность результатов измерений в полученном ряду:

$$S = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 / (n-1)} \approx 0,076.$$

4. Определим интервал, в котором будут находиться результаты измерений без грубых ошибок:

$$\bar{x} + 3S = 10,113 + 0,228 = 10,341;$$

$$\bar{x} - 3S = 10,113 - 0,228 = 9,885.$$

5. Проверим, есть ли грубые ошибки. В нашем примере результаты измерений не имеют грубых ошибок и, следовательно, все

они принимаются для дальнейшей обработки. Если бы в результатах измерений были значения больше 10,341 мм и меньше 9,885 мм, то пришлось бы их исключить и снова определить величины \bar{x} и S .

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Чем занимается метрология?
2. Что такое единство измерений?
3. Что понимают под термином «величина»?
4. Почему величины называют физическими?
5. Что такое система единиц величин?
6. Какие основные и дополнительные единицы величин входят в СИ?
7. Что такое эталон единицы величины?
8. В чем заключается основное назначение эталонов?
9. На каких принципах основан эталон единицы длины?
10. Что такое поверочная схема?
11. Какие методы измерений находят применение в промышленности?
12. С какой целью выполняется обработка результатов измерений?
13. Как определяется среднее арифметическое значение измеряемой величины?
14. Как определяется средняя квадратичная погрешность результатов единичных измерений?

4.2.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ О МЕТРОЛОГИЧЕСКОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ ИЗДЕЛИЙ

Повысить эффективность производства и качество продукции можно путем достижения необходимой достоверности количественной информации о значениях параметров, характеризующих выпускаемую продукцию. Источниками информации являются измерения. Причем результаты измерений будут объективными только при правильной организации получения измерительной информации. Этого невозможно достичь без надлежащего метрологического обеспечения.

Метрологическое обеспечение — широкое понятие, требующее обязательного уточнения в зависимости от стоящих задач.

Допускается применение терминов «метрологическое обеспечение измерений», «метрологическое обеспечение производства», «метрологическое обеспечение систем качества», «метрологическое обеспечение стандартизации» и ряда других.

Под *метрологическим обеспечением* принято понимать комплекс мероприятий по установлению и применению научных и организационных основ, технических средств, правил и норм, необходимых для достижения единства, а также точности, полноты, своевременности, оперативности измерений, достоверности контроля параметров и характеристик объектов.

Целями метрологического обеспечения являются:

- достижение и поддержание высоких эксплуатационных свойств, эффективности, надежности, увеличение срока службы, сохраняемости изделий;
- повышение эффективности работ по созданию новых образцов, сокращение сроков их разработки, производства и испытаний, уменьшение стоимости и повышение качества;
- упрощение эксплуатации и ремонта изделий;
- обеспечение постоянной готовности к применению и эффективности эксплуатации средств измерений.

Достигаются эти цели требуемой точностью, достоверным и правильным измерением параметров и характеристик продукции при разработке, производстве и эксплуатации, а также параметров технологических процессов, постоянной готовностью и высокой эффективностью применения средств измерений и контроля.

Основные задачи метрологического обеспечения:

- установление допускаемых к применению единиц величин и допусков на них;
- стандартизация правил и положений в области метрологического обеспечения разработки, производства и эксплуатации продукции;
- установление единых методов передачи размеров единиц величин от эталонов к рабочим средствам измерений;
- определение номенклатуры технических средств метрологического обеспечения (эталонов, средств измерений и измерительного контроля, стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов), их создание, хранение и применение;
- установление требований и нормирование метрологических характеристик средств измерений и измерительно-

го контроля, применяемых при создании, эксплуатации и утилизации продукции;

- проведение метрологической экспертизы документации и опытных образцов продукции.

Метрологическое обеспечение сопровождает изделие на всех стадиях ее жизненного цикла, включающего в себя:

- исследование и обоснование разработки (разработка технического предложения, разработка, согласование и утверждение тактико-технического задания);
- разработку (разработка эскизного и технического проекта, разработка конструкторской документации, изготовление опытного образца изделия (составной части) и проведение предварительных испытаний, подготовка и проведение государственных испытаний);
- производство;
- эксплуатацию;
- капитальный ремонт;
- утилизацию.

Основные цели метрологического обеспечения, решаемые на каждой стадии жизненного цикла продукции. На 1-й стадии жизненного цикла *«Исследование и обоснование разработки»* основными целями метрологического обеспечения являются достижение требуемых характеристик разрабатываемых изделий путем научно обоснованного выбора методов измерений, определение выбора совокупности подлежащих измерениям параметров и характеристик, установление значений допустимых отклонений на каждый из параметров с учетом условий проведения измерений, использования необходимых средств, обеспечивающих надежное и достоверное измерение и контроль выбранных параметров изделий, а также обработки их результатов стандартными или вновь разработанными методиками.

Основные цели 2-й стадии метрологического обеспечения продукции — *«Разработка»*:

- установление (выбор) параметров продукции, подлежащих измерениям и измерительному контролю при испытаниях, производстве и эксплуатации, а также параметров технологических процессов, контролируемых в процессе производства;
- выбор средств, обеспечивающих измерения, контроль выбранных параметров и характеристик разрабатываемых

мой продукции, а также технологических процессов с заданной точностью;

- разработка методов и изготовление недостающих средств измерений и испытаний.

Необходимо подчеркнуть, что главная цель метрологического обеспечения — достижение требуемого качества и надежности изделия.

Принятие правильных решений по метрологическому обеспечению на ранних этапах разработки образца позволяет своевременно и с наименьшими экономическими затратами установить оптимальное число измеряемых параметров, определить необходимость создания новых методик выполнения измерений и средств измерений, а также гарантировать их высокую эффективность, что в конечном итоге позволяет сократить время на создание продукции и снизить затраты.

В ходе метрологического обеспечения на 3-й стадии — **«Производство продукции»** — требуемые показатели качества достигаются с помощью измерительного контроля каждой операции технологического процесса. На этом этапе выполняются работы по автоматизации процессов измерений и измерительного контроля, проводится анализ и определяются методы и средства измерений в технологических процессах, разрабатываются методики выполнения измерений и проводится их аттестация, если это предусмотрено соответствующими нормативными документами, технологические процессы и техническая документация подвергаются метрологической экспертизе.

В связи с появлением автоматизированных производств в настоящее время получил новое развитие контроль качества. В таких производствах особое внимание уделяется получению достоверной, точной и своевременной измерительной информации. Это связано с тем, что при автоматизации производства во все большей степени исключается возможность контроля человеком за ходом технологической операции и состоянием оборудования. В то же время резкое повышение производительности в условиях автоматизации приводит к тому, что нарушение технологического процесса может вызвать массовый брак и поломку оборудования.

Для предотвращения этих нарушений необходимо оснастить промышленное оборудование измерительными средствами, которые следили бы за его состоянием и состоянием обрабатываемого инструмента.

Также в автоматизированных производствах широкое применение находят роботы, возможности которых в значительной сте-

пени определяются способностью ориентироваться в окружающей обстановке, приспосабливаться к ней и реагировать на ее изменения. Для этого они должны иметь в своем составе измерительные устройства.

Поэтому при управлении качеством производства все большее внимание уделяется контролируемости (наблюдаемости) технологического процесса.

Основными целями метрологического обеспечения продукции в процессе производства являются выпуск предприятием продукции, соответствующей требованиям конструкторской, технологической и нормативной документации, а также предупреждение производственного брака и получение информации о качестве готовой продукции и состоянии технологического процесса.

Основная масса средств измерений и контроля используется в процессе эксплуатации изделия для контроля и прогнозирования их технического состояния, отыскания отказов и неисправностей, измерения характеристик, настройки, калибровки, юстировки и регулировки.

Метрологическое обеспечение на 4-й стадии — **«Эксплуатация продукции»** — это комплекс научных и организационно-технических мероприятий, направленных на выполнение точных и своевременных измерений, соблюдение единства, требуемой точности измерений и повышение достоверности измерительного контроля параметров в процессе эксплуатации изделия.

Основная цель 5-й стадии жизненного цикла продукции — **«Капитальный ремонт»** — достижение соответствия метрологического обеспечения прогрессивным методикам выполнения измерений.

От уровня метрологического обеспечения на этом этапе зависят эффективность и качество капитального ремонта отремонтированной продукции.

Последний, 6-й этап жизненного цикла продукции — **«Утилизация»** — одна из больших проблем современного производства. Утилизация приобрела по своим масштабам государственное значение.

Основная цель метрологического обеспечения этой стадии — переход от процессов простого уничтожения продукции (ликвидации) к промышленной утилизации, в результате которой могут получить вторую жизнь не только комплектующие детали, агрегаты, системы, но и все изделие в целом.

Метрологическое обеспечение в этом случае дает возможность использования изделий, соответствующих требованиям надежно-

сти и качества при их дальнейшей эксплуатации. При этом должны проводиться надежные и качественные измерения, соответствующие аналитические исследования состава утилизируемых материалов. По своей сути утилизация является таким же технологическим процессом, как и производство изделий.

Основной задачей метрологического обеспечения на этом этапе является создание таких условий, при которых создается возможность использования только тех изделий или материалов, которые соответствуют требованиям надежности, качества и безопасности для жизни людей и окружающей среды при дальнейшей эксплуатации.

Правильное понимание необходимости и важности целей и задач метрологического обеспечения продукции на всех стадиях ее жизненного цикла позволяет организовать надлежащее метрологическое сопровождение создаваемой, выпускаемой и эксплуатирующейся продукции, без чего нельзя добиться высокого качества этой продукции, ее надежности и конкурентоспособности как на внутреннем, так и на внешнем рынке.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое метрологическое обеспечение изделий и почему ему уделяется большое внимание на практике?
2. Назовите основные цели и задачи метрологического обеспечения изделий.
3. Какие цели поставлены перед метрологическим обеспечением на стадии «Производство продукции»?

4.3. СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

4.3.1. Термины и определения

Рассмотрим основные термины и определения, относящиеся к средствам измерений в соответствии с Рекомендациям по межгосударственной стандартизации РМГ 29-2013 «Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения».

Средства измерений (СИ) — технические средства, предназначенные для измерений и имеющие нормированные (установленные) метрологические свойства (характеристики).

Термин «средства измерений» является обобщенным понятием, объединяющим самые разнообразные конструктивно законченные устройства, обладающие одним из двух признаков:

- 1) воспроизведение величины данного (известного) размера,
- 2) выработка сигнала (показания), несущего информацию о размере (значении) измеряемой величины.

К средствам измерений относятся:

- меры;
- измерительные приборы;
- измерительные преобразователи;
- измерительные установки;
- измерительные системы.

Мера (материальная) — средство измерений, которое воспроизводит в процессе использования или постоянно хранит величины одного или более данных родов, с предписанными им значениями. Например: эталонная гиря, мера вместимости (сохраняет одно или несколько значений величины, со шкалой значений величины или без нее), эталонный резистор, линейная шкала (линейка), концевая мера длины, эталонный генератор сигналов, меры твердости (минералы различной твердости по шкале Мооса) и аттестованный стандартный образец.

Меры бывают:

однозначные — воспроизводят одну единицу: концевые меры длины и конденсаторы постоянной емкости;

многозначные — воспроизводят несколько одноименных единиц: рулетки, разделенные на миллиметры, сантиметры и метры; конденсаторы переменной емкости; меры состава и свойств веществ и материалов, особенно для физико-механических измерений в металлургии, медицине, экологии, производстве продуктов и др.

Измерительные приборы — средства измерений, предназначенные для выработки сигнала измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателем.

Измерительные приборы подразделяют:

- по способу измерения информации:
 - ✓ *прямого действия* — амперметр и термометр;
 - ✓ *сравнения* — весы и потенциометр;
- по способу образования показаний:
 - ✓ *показывающие* — шкальные приборы: штангенциркуль и нутромеры;
 - ✓ *регистрирующие*.

Компаратор — средство измерений, предназначенное для сличения мер однородных величин, измерительных преобразователей и измерительных приборов. Например: рычажные весы и компаратор для сличения нормальных. Одним из наиболее распространенных видов средств измерений являются измерительные преобразователи.

Измерительный преобразователь — средство измерений или его часть, служащие для получения и преобразования информации об измеряемой величине в форму, удобную для обработки, хранения, дальнейших преобразований, индикации или передачи. Например: термопара, трансформатор электрического тока, тензодатчик, электрод для измерения рН и биметаллическая пластина.

Преобразователь, стоящий первым в измерительной цепи, обычно называется *первичным* (термопара). Существуют *промежуточные* (вторичные) преобразователи, которые, как правило, не меняют род физической величины.

Измерительная установка — совокупность функционально объединенных и расположенных в одном месте мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей и других устройств, предназначенная для измерений одной или нескольких величин. **Поверочная установка** — измерительная установка, применяемая для поверки. **Эталонная установка** — измерительная установка, входящая в состав эталона.

Измерительная система — совокупность средств измерений и других средств измерительной техники, размещенных в разных точках объекта измерения, функционально объединенных в целях измерений одной или нескольких величин, свойственных этому объекту. Например:

- измерительная система теплоэлектростанции, позволяющая получать измерительную информацию о ряде величин в разных энергоблоках, может содержать сотни измерительных каналов;
- радионавигационная система для определения местоположения различных объектов, состоящая из ряда измерительно-вычислительных комплексов, разнесенных в пространстве на значительное расстояние друг от друга.

В зависимости от решаемой измерительной задачи измерительная система может рассматриваться как единое средство измерений. В зависимости от назначения измерительные системы подразделяют:

- на измерительные информационные (ИИС);
- измерительные контролирующие;
- измерительно-управляющие и др.

В состав ИИС дополнительно входят такие устройства, как различные преобразователи аналогового, аналого-цифрового, цифрового типа, цифровые устройства вывода информации, стандартизованные интерфейсы (шины и узлы), устройство управления, дополнительное устройство и др.

4.3.2. Классификация средств измерений по определяющим признакам

Средства измерений и контроля, применяемые в машиностроении, классифицируются по различным определяющим признакам:

- типу и виду контролируемых величин;
- назначению;
- числу проверяемых параметров при одной установке объекта измерения;
- степени механизации и автоматизации процесса измерения.

Классификация средств измерений и контроля по типу контролируемых величин представлена на рис. 4.3, а по виду контролируемых величин (на примере геометрических величин) — на рис. 4.4.

Универсальные измерительные инструменты и приборы нашли широкое применение в условиях единичного и мелкосерийного производства:

- для определения численных величин и отклонений;
- отклонений от правильной геометрической формы и взаимного расположения поверхностей (при отсутствии специальных приспособлений);
- при наладке станков;
- при особо ответственных измерениях во всех видах производств (включая массовое и крупносерийное) (рис. 4.5).

В условиях все расширяющейся автоматизации технологических процессов обработки деталей и сборки узлов и агрегатов машин, повышения требований к производительности, точности и качеству обработки при массовом производстве машин, все большее значение приобретают *автоматические средства контроля*. Они классифицируются:

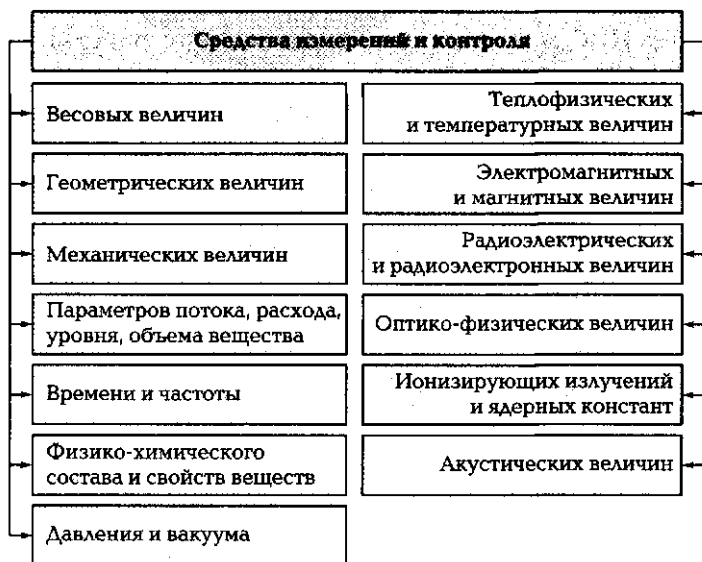


Рис. 4.3. Классификация средств измерений и контроля по типу физических величин

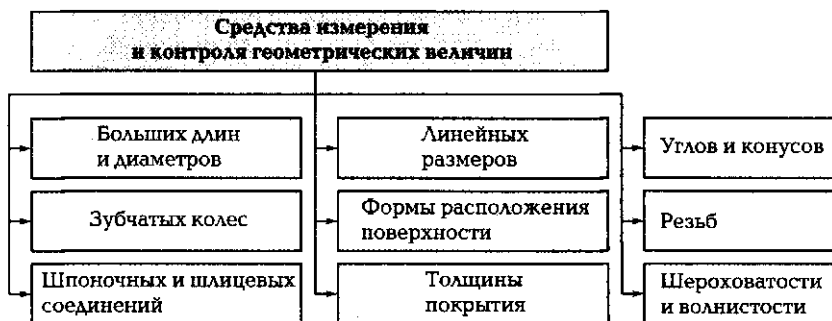


Рис. 4.4. Классификация средств измерений и контроля по виду измеряемых геометрических величин

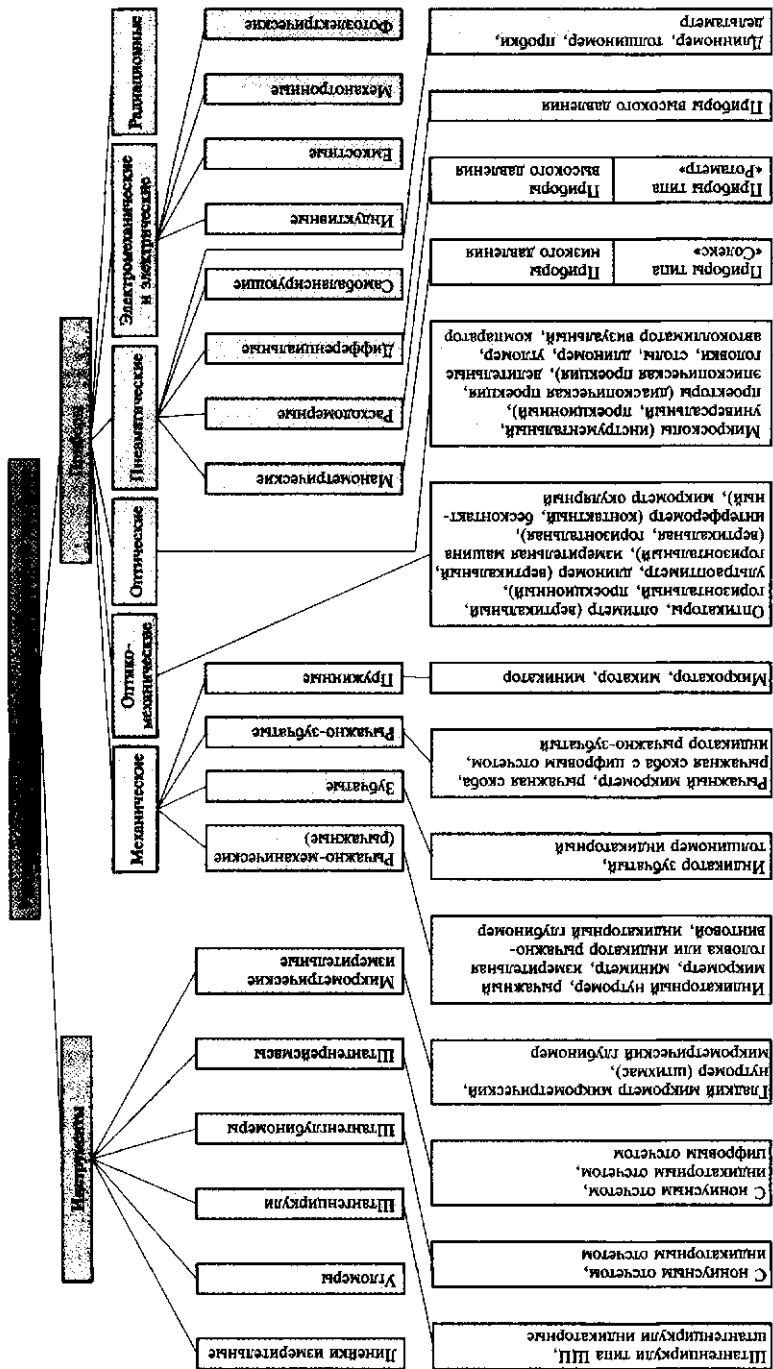


Рис. 4.5. Классификация универсальных измерительных инструментов и приборов

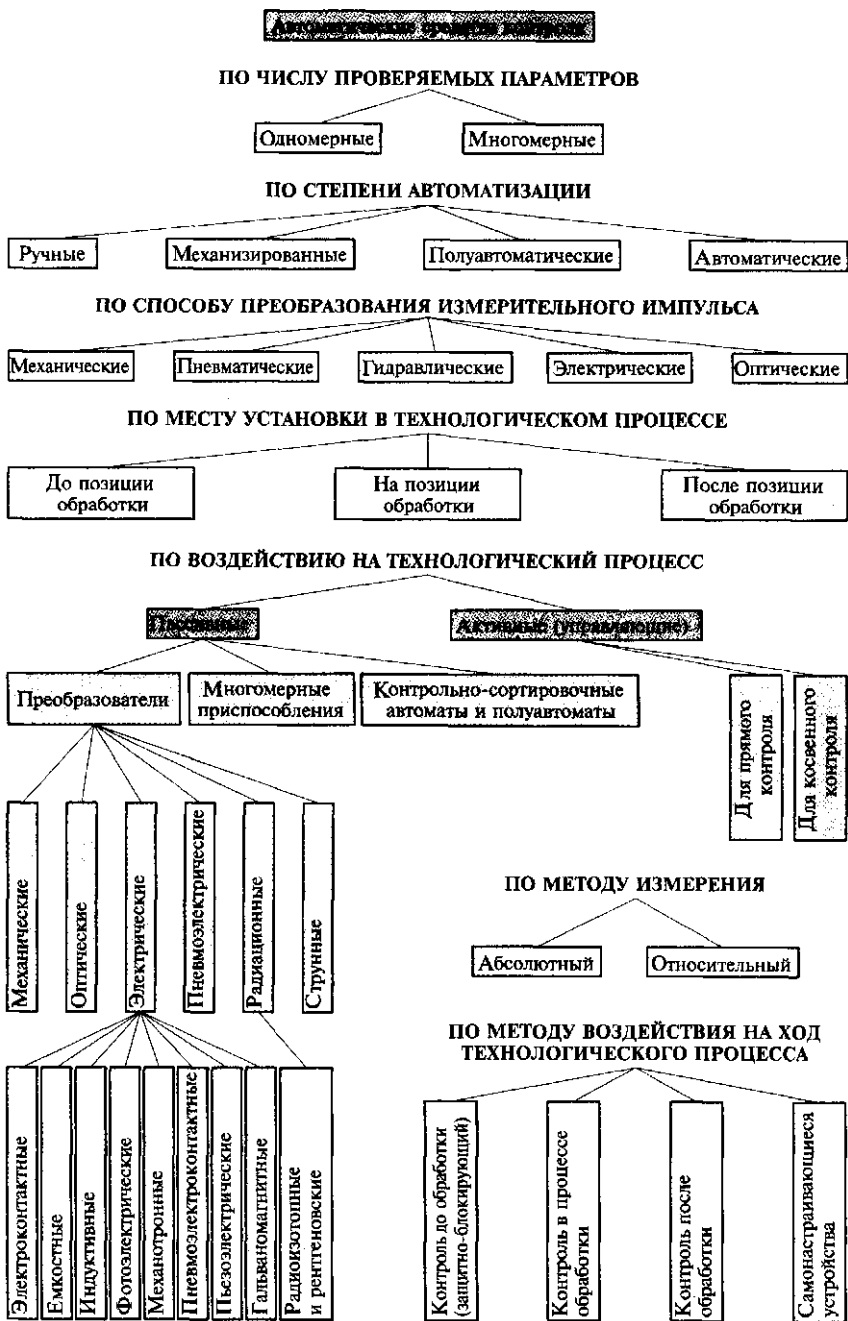


Рис. 4.6. Классификация автоматических средств контроля

- по степени автоматизации;
- воздействию на технологический процесс;
- способу преобразования измерительного импульса;
- месту их установки;
- числу проверяемых параметров (рис. 4.6).

4.3.3. Обобщенная структурная схема средств измерений

Для разработки и изучения измерительных систем и отдельных средств измерений часто применяют так называемые общие структурные схемы средств измерений. В этих схемах изображены отдельные элементы средства измерений в виде символических блоков, соединенных между собой сигналами, характеризующими физические величины.

РМГ 29-2013 определяет следующие общие структурные элементы средств измерений:

- чувствительный и преобразовательный элементы;
- измерительная цепь;
- измерительный механизм;
- отсчетное устройство;
- шкала;
- указатель;
- регистрирующее устройство.

Первичной задачей любого средства измерений является восприятие физической величины. Эту функцию выполняет чувствительный элемент.

Чувствительный элемент средства измерений — измерительный преобразователь, на который непосредственно воздействует материальный объект или явление, являющееся носителем величины, подлежащей измерению. Основной задачей этого элемента является выработка сигнала измерительной информации в форме, удобной для дальнейшей ее обработки. Этот сигнал может быть механическим (перемещение или поворот), пневматическим, электрическим и др.

Например: чувствительная катушка платинового термометра сопротивления, ротор турбинного расходомера, поплавков уровнемера, фотоэлемент спектрометра или термотропный жидкий кристалл, который изменяет цвет в зависимости от температуры.

Датчик — конструктивно обособленные первичный преобразователь или совокупность первичного и других измерительных преобразователей.

При использовании для измерений определенных физических явлений возникает необходимость преобразовывать сигнал, полученный чувствительным элементом, в другую величину. Например, давление — в электрическую величину, температуру — в давление и др. Эту функцию выполняет **преобразовательный элемент**, предназначенный для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для передачи, дальнейшего преобразования, обработки и (или) хранения. Например, преобразование незлектрической величины в электрическую. Как правило, эта информация не поддается непосредственному восприятию наблюдателем. Преобразовательный элемент может быть выделен в отдельную конструкцию, а может содержать два и более преобразователей.

Существует огромный класс промежуточных (вторичных) преобразователей, которые, как правило, не меняют род величины. Широкое распространение получили аналоговые, аналого-цифровые (АЦП) и цифроаналоговые (ЦАП) преобразователи.

Для дистанционной передачи сигнала измерительной информации предусматриваются передающие измерительные преобразователи, а для ее изменения в заданное число раз — масштабные измерительные преобразователи. Например, индуктивные и пневматические преобразователи относят к передающим преобразователям, а делители напряжений на входе вольтметров или электронных осциллографов и измерительные усилители — к масштабным измерительным преобразователям.

Измерительная цепь средства измерения — последовательность элементов средства измерений, которая образует единый путь сигнала от чувствительного элемента к выходному, формирующему показание.

Например, электроакустическая измерительная цепь, содержащая микрофон, аттенуатор, фильтр, усилитель и вольтметр.

Измерительный механизм — часть конструкции средства измерений, состоящая из элементов, взаимодействие которых вызывает их взаимное перемещение. Например, измерительный механизм индикатора часового типа (рис. 4.7, а) состоит из зубчатых колес 1, 2, 3, зубчатой рейки 4. Измерительный механизм милливольтметра (рис. 4.7, б) состоит из постоянного магнита 1 с деталями магнитопровода и подвижной рамки 3 с подводными к ней ток пружины 4.

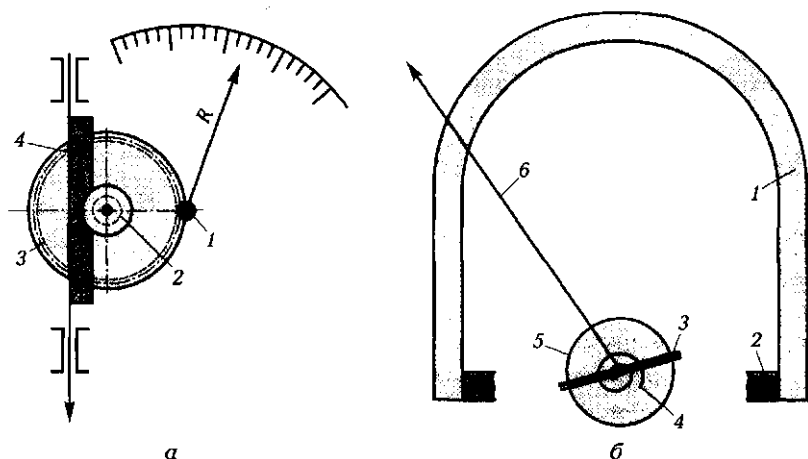


Рис. 4.7. Конструкции измерительных механизмов:

а — индикатор часового типа: 1, 2 и 3 — зубчатые колеса; 4 — зубчатая рейка; *б* — магнитоэлектрический измерительный прибор: 1 — постоянный магнит; 2 — полюсный наконечник; 3 — подвижная рамка; 4 — пружина; 5 — сердечник; 6 — стрелка

Отсчетное устройство СИ — часть конструкции средства измерений, предназначенная для отсчитывания значений измеряемой величины, оно часто включает в себя шкалу и указатель. В самопишущих приборах отсчетное устройство осуществляет запись в виде диаграммы, в интегрирующем приборе чаще всего применяется счетный механизм.

Шкала СИ — часть средства измерений, представляющая собой упорядоченный набор меток вместе со значениями соответствующей величины.

Шкалы бывают:

- односторонними (рис. 4.8, *а*) — один из пределов измерений средства измерений равен нулю;
- двухсторонними (рис. 4.8, *б*) — нулевое значение расположено на шкале;
- безнулевыми (рис. 4.8, *в*) — на шкале нет нулевого значения.

В соответствии с ГОСТом 8.401—80 «Государственная система обеспечения единства измерений. Классы точности средств измерений. Общие требования»: **практически равномерная шкала** — шкала, длина делений которой отличается друг от друга не

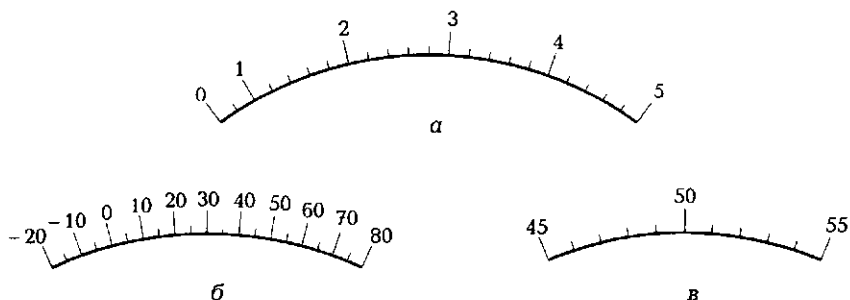


Рис. 4.8. Виды шкал:

а — односторонняя; б — двухсторонняя; в — безнулевая

более чем на 30 % и имеет постоянную цену делений. **Существенно неравномерная шкала** — шкала с сужающимися делениями, а **степенная шкала** — шкала с расширяющимися делениями, отличная от шкал, указанных ранее.

Указатель — часть отсчетного устройства, положение которой относительно отметок шкалы определяет показание СИ. Указатель может быть выполнен в виде материального стержня — стрелки (см. рис. 4.7) или в виде луча света — светового указателя.

В показывающих приборах при наличии шкалы и указателя возможны отсчетные устройства двух видов:

- 1) указатель перемещается относительно неподвижной шкалы (индикаторы часового типа, вольтметры, амперметры и др.);
- 2) шкала перемещается относительно неподвижного указателя (микрометры, оптиметры и др.).

Цифровые отсчетные устройства бывают механические или световые. **Механические** отсчетные устройства используют в тех цифровых приборах, у которых измеряемая величина преобразуется в соответствующие углы поворота валов. Например, отсчетные устройства у некоторых типов бензоколонок, у приборов с цифровой лентой, цифровым роликом и др.

Световые табло, состоящие, как правило, из системы индикаторных устройств, основанных на жидких кристаллах, используются в электронных цифровых средствах измерений, у которых измеряемые величины преобразуются в определенную последовательность импульсных сигналов. Например, табло электронных часов, штангенциркуль с электронным цифровым отсчетным устройством и др.

Используются также газоразрядные указатели (газонаполненные лампы с холодным катодом), указатели со светодиодами.

В цифровых приборах со светодиодами (из арсенида галлия) цифры образуются из точечных или штриховых сегментов полупроводника, к которым подводится электрическая энергия и в результате полупроводникового излучения появляется свечение в видимой области спектра. Высота цифр в этих приборах не может превышать 20 мм.

Регистрирующее устройство средства измерений — часть регистрирующего измерительного прибора, предназначенная для регистрации показаний. В качестве регистрирующих измерительных приборов широко применяются:

- самопишущие, в которых предусмотрена запись показаний в форме диаграммы (самопишущий вольтметр, профилограф, барограф, термограф и др.);
- печатающие, в которых предусмотрено печатание показаний в цифровой форме.

В современных печатающих устройствах часто применяют матричные устройства, причем либо с игольчатым печатающим механизмом, либо с посылкой струи чернил (краски).

Каждое отдельное средство измерений также может быть изображено соответствующей структурной схемой. Например, на рис. 4.9, а показана схема преобразователя давления. Мембрана 1 воспринимает измеряемую величину (давление воздуха) и через рычаг 2 перемещает движок реостата 3, изменяя его электрическое сопротивление, которое для этого устройства является выходной величиной. В соответствии с принятой терминологией

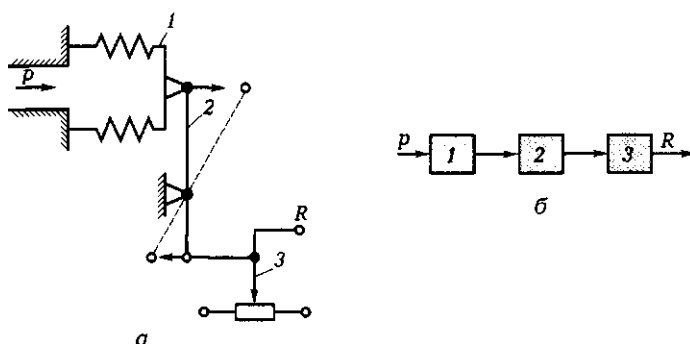


Рис. 4.9. Схемы преобразователя давления:

а: 1 — мембрана; 2 — рычаг; 3 — движок реостата; б: 1 — первичный преобразователь; 2 — промежуточный преобразователь; 3 — передающий преобразователь

элемент 1 структурной схемы (рис. 4.9, б) является первичным преобразователем, а элементы 2 и 3 — промежуточным и передающим преобразователями.

Объединение и сочетание в различных комбинациях СИ, их структурных элементов и вспомогательных устройств позволяет получить широкую гамму измерительных систем, предназначенных для автоматизации процесса измерений и использования результатов измерений для автоматического управления различными процессами производства.

В состав таких систем могут входить преобразователи одних величин в другие, схемы автоматического регулирования, меры и измерительные приборы. В случае, если различные элементы системы разнесены на значительные расстояния друг от друга, связь между ними осуществляется как по проводным, так и по беспроводным каналам.

Одним из важных элементов измерительной системы является **средство сравнения** — средство измерений, техническое средство или специально создаваемая среда, позволяющие сличать друг с другом меры однородных величин или показания измерительных приборов.

Широко распространенное средство сравнения — *компаратор* (например, потенциометр или рычажные весы), он не является хранителем единицы. Хранителем единицы служат меры (нормальный элемент — при электрических измерениях, гиря — при механических). К средствам сравнения относятся различные среды (например, градуировочная жидкость или температурное поле, создаваемое термостатом).

В качестве **вспомогательных элементов** (измерительных принадлежностей) измерительных систем применяют устройства, служащие для обеспечения необходимых внешних условий при выполнении измерений. К ним относятся, например, барокамера, термостат и устройства, экранирующие влияние магнитных полей, измерительные усилители, специальные противовибрационные фундаменты и даже обыкновенная лупа. Эти элементы позволяют повышать чувствительность измерительных устройств или предохранять измеряемую величину от искажающего действия влияющих величин.

Вспомогательные средства, служащие для обеспечения необходимых условий для выполнения измерений с требуемой точностью, передачи и обработки информации (источники питания, коммутаторы, усилители, термостаты и др.), составляют вид **измерительных принадлежностей**.

4.3.4. Требования, предъявляемые к средствам измерений

Средства измерений являются одной из групп большой разновидности продукции, изготавливаемой и эксплуатируемой в соответствии со своим назначением, поэтому требования, предъявляемые к ним с позиций качества, должны отвечать общим показателям качества, установленным для любых видов продукции, а именно:

- показателям назначения;
- показателям надежности;
- показателям экономного использования сырья, материалов, топлива, энергии и трудовых ресурсов;
- эргономическим показателям;
- эстетическим показателям;
- показателям технологичности;
- показателям стандартизации и унификации;
- патентно-правовым показателям;
- экологическим показателям;
- показателям безопасности;
- показателям транспортабельности.

Показатели назначения характеризуют свойства продукции, определяющие основные функции, для выполнения которых она предназначена. Эти показатели подразделяются на три подгруппы:

- 1) показатели функциональные и технической эффективности;
- 2) конструктивные показатели;
- 3) показатели состава и структуры.

К *показателям функциональным и технической эффективности* средств измерений относятся метрологические характеристики, их перечень определяется применительно к каждой группе средств измерений и они различаются весьма существенно.

К *показателям функциональным и технической эффективности* средств измерений относятся также показатели быстродействия, производительности, уровня автоматизации процесса измерений, максимальная продолжительность времени непрерывной работы, сервисные возможности и ряд других.

Конструктивные показатели средства измерений — это границы нормальных и рабочих областей изменения значений влияющих величин (температуры окружающей среды, относительной

влажности, атмосферного давления и др.), требования к электропитанию (напряжение, частота питающей сети и др.), характеристики прочности, весовые, габаритные и другие показатели.

Показатели состава и структуры применяют для оценки качества стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов (например, процентное содержание различных примесей), а также при применении газоаналитических приборов и устройств.

Показатели надежности включают в себя показатели безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости средств измерений.

Показатели безотказности оценивают время непрерывной работы средств до наступления отказа. К ним относят:

- интенсивность отказов;
- среднюю наработку до отказа;
- вероятность безотказной работы за заданное время и др.

Особое значение для средства измерений имеют показатели метрологической надежности.

Показатели долговечности характеризуют свойство средства измерений сохранять работоспособность до наступления предельного состояния (когда ремонт становится невозможным или нецелесообразным). К ним относят различные оценки срока службы или ресурса (например, средний срок службы, ресурс средства и др.).

Показатели ремонтпригодности характеризуют приспособленность средства измерений к предупреждению и обнаружению причин повреждения и проведения ремонтов.

Показатели сохраняемости характеризуют свойство средства измерений сохранять исправное состояние во время их хранения и транспортировки.

Выбор показателей надежности зависит от вида средств измерений.

Показатели экономного использования сырья, материалов, топлива, энергии и трудовых ресурсов характеризуют техническое состояние средства измерений по уровню потребления при эксплуатации топлива, энергии, трудовых ресурсов и др.

Необходимо иметь в виду, что по этим показателям можно сравнивать только взаимозаменяемые средства измерений, имеющие одинаковое назначение.

Эргономические показатели характеризуют взаимоотношения «человек — средство измерения», они учитывают комплекс гигиенических, физиологических, антропометрических и психо-

логических свойств человека, проявляющихся в процессе измерения. К этим показателям относятся:

- уровень шума, освещенности и температуры;
- соответствие конструкции средства измерений или контроля силовым возможностям человека и др.

Эстетические показатели характеризуют эстетические свойства средства измерений. К ним относят: показатели оригинальности, колорита, тщательности покрытия и отделки поверхности средства, четкости исполнения указателей, упаковки и др. Современные средства измерений позволяют уменьшить нервно-эмоциональное напряжение и утомляемость оператора, что повышает точность снятия показаний и производительность измерения.

Показатели технологичности характеризуют приспособленность конструкции средства измерений к достижению минимальных затрат при их производстве, эксплуатации и ремонте. Например, удельная трудоемкость изготовления, удельная трудоемкость, удельная энергоемкость и др.

Показатели стандартизации и унификации характеризуют насыщенность средства измерений стандартными, унифицированными и оригинальными составными частями. В настоящее время осуществляется унификация средств измерений в целях обеспечения информационной, метрологической, энергетической и эксплуатационной совместимости составных частей вновь разрабатываемых измерительных систем. Предусмотрено, в частности:

- использование единых методов нормирования метрологических характеристик средств измерений (метрологическая совместимость);
- унификация параметров их энергопитания, схем, конструкций и технических характеристик источников энергопитания (энергетическая совместимость);
- унификация форм, разновидностей и типоразмеров элементов конструкций, установочных и присоединительных размеров (конструктивная совместимость);
- нормирование внешних воздействующих факторов и применение единых методов их определения, унификация показателей эксплуатации средств измерений (эксплуатационная совместимость).

Патентно-правовые показатели — показатели патентной защиты и патентной чистоты, характеризуют степень обновления технических решений, использованных в средствах измерений, и их патентную защиту.

Экологические показатели — показатели уровня вредных воздействий на окружающую среду, возникающих при эксплуатации средства измерений. К ним относятся: допустимое содержание вредных примесей, газов и излучений, выбрасываемых в окружающую среду при эксплуатации средств измерения и контроля, вероятность выбросов и др.

Показатели безопасности — вероятность безопасной работы, среднее время безопасной работы защитных устройств, минимальная электрическая прочность изоляции токоведущих частей средства измерений и др. По этим показателям можно судить о возможности средства измерений обеспечивать надежную безопасность работы обслуживающего персонала.

Показатели транспортабельности характеризуют приспособленность средства измерений к транспортированию. Это такие показатели, как габаритные размеры, масса средства измерений или контроля с упаковкой, коэффициент использования объема тары, средняя продолжительность подготовки средства к транспортированию и др.

4.3.5. Метрологические характеристики средств измерений

Важнейшими свойствами средств измерений являются свойства, от которых зависит качество получаемой с помощью этих средств измерительной информации.

Метрологическая характеристика средства измерений — это характеристика одного из свойств средства измерений, влияющая на результат измерений. Для каждого типа средств измерений устанавливают свои метрологические характеристики. Метрологические характеристики, устанавливаемые нормативно-техническими документами, называют **нормируемыми**, а определяемые экспериментально — **действительными** метрологическими характеристиками.

ГОСТ 8.009—84 «Государственная система обеспечения единства измерений. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений» устанавливает комплекс нормируемых метрологических характеристик средств измерений.

Характеристики, предназначенные для определения результатов измерений (без введения поправки):

- функция преобразования измерительного преобразователя;

- значение однозначной или значения многозначной меры;
- цена деления шкалы измерительного прибора или многозначной меры;
- вид выходного кода, число разрядов кода.

Характеристики погрешностей средств измерений — характеристики систематической и случайной составляющих погрешностей, вариация выходного сигнала средства измерений, значение погрешности средств измерений.

Характеристики чувствительности средств измерений к влияющим на точность измерения величинам — функция влияния или изменение значений метрологических характеристик средств измерений, вызванные изменениями влияющих величин в установленных пределах.

Динамические характеристики средств измерений подразделяют на полные и частные. К первым относятся переходная, амплитудно-фазовая и импульсная характеристики, а также передаточная функция. К частным динамическим характеристикам отнесены время реакции, коэффициент демпфирования, постоянная времени, резонансная собственная круговая частота.

Неинформативные параметры выходного сигнала средства измерений — параметры выходного сигнала, не используемые для передачи или индикации значения информативного параметра входного сигнала измерительного преобразователя или не являющиеся выходной величиной меры.

Наиболее часто встречающиеся метрологические характеристики средств измерений. Обеспечиваются определенными конструктивными решениями средств измерений и их отдельных узлов.

Цена деления шкалы — это разность величин, соответствующих двум соседним отметкам шкалы средства измерений.

Например, если перемещение указателя шкалы из положения *I* (рис. 4.10, *a*) в положение *II* соответствует изменению величины на 0,001 мм, то цена деления этой шкалы равна 0,001 мм.

Значения цен делений выбирают из ряда 1; 2; 5; 10; 20; 50; 100; 200; 500 мкм, но чаще всего используют кратные и дольные значения от 1 до 2: 0,01; 0,02; 0,1; 0,2; 1; 2; 10 мкм и т.д. В угломерных средствах измерений применяются круговые шкалы с ценой деления 1°, а дополнительное отсчетное устройство позволяет отсчитывать доли этих делений в минутах и секундах. Цена деления шкалы всегда указывается на шкале средства измерений.

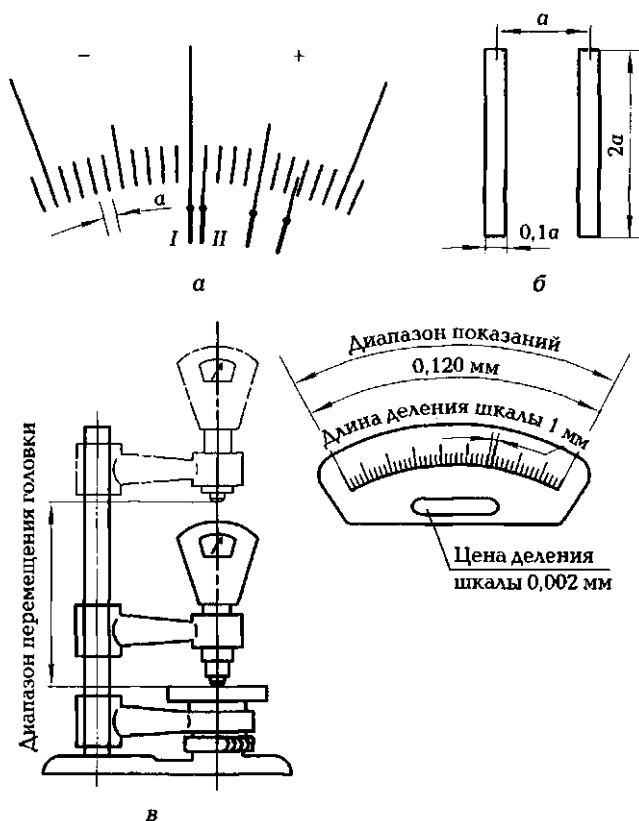


Рис. 4.10. Основные метрологические характеристики средств измерений:

a — определение понятия «цена деления»; *б* — длина деления шкалы; *в* — диапазон показаний и диапазон измерений

Длина деления шкалы — это расстояние между осями (или центрами) двух соседних отметок шкалы (рис. 4.10, б).

Исходя из разрешающей силы глаза оператора (остроты зрения) и учитывая ширину штрихов и указателя, на практике минимальный интервал деления шкалы принимают равным 1 мм, а максимальный — 2,5 мм. Наиболее распространенным интервалом является 1 мм. У пневматических приборов с водяным манометром интервал деления шкалы равен ≈ 5 мм.

Начальное и конечное значения шкалы — соответственно наименьшее и наибольшее значения измеряемой величины (рис. 4.10, в), которые могут быть отсчитаны по шкале средства измерений.

Диапазон показаний средства измерения — область значений шкалы прибора, ограниченная начальным и конечным значениями шкалы.

Эту характеристику часто называют пределами измерений по шкале. Для индикаторов часового типа диапазон может составлять 2; 5 или 10 мм, для гладких микрометров — 25 мм, для оптиметра — $\pm 0,1$ мм.

Диапазон измерений средства измерений, который часто называют пределами измерений средства измерений, — это область значений величины, в пределах которой нормированы допускаемые пределы погрешности средства измерений.

Например, для гладких микрометров этот параметр составляет 0...25; 25...50; 50...75 мм и т.д., для большого инструментального микроскопа (БМИ) — по оси X 0...150 мм, по оси Y 0...75 мм.

Одной из основных характеристик средств измерений линейных и угловых величин контактным методом является **измерительное усилие**, которое возникает в зоне контакта измерительного наконечника средства измерений с измеряемой поверхностью в направлении линии измерения. Это усилие необходимо для обеспечения устойчивого замыкания измерительной цепи и зависит от допуска контролируемого изделия. При допуске контролируемого изделия 2...10 мкм рекомендуемые величины измерительного усилия находятся в пределах 2,5...3,9 Н, а при допуске свыше 10 мкм оно должно быть равно 9,8 Н.

Важным показателем измерительного усилия является **перепад измерительного усилия** — разность измерительного усилия при двух положениях указателя в пределах диапазона показаний. Стандарт ограничивает эту величину в зависимости от типа средства измерений. Например, для микрометра с ценой деления 0,01 мм перепад измерительного усилия находится в пределах 0...2 Н, для индикаторов часового типа с той же величиной цены деления — 0...0,8 Н, для измерительных пружинных головок — 0,2...2 Н.

Способность средства измерений реагировать на изменения измеряемой величины называется **чувствительностью**. Она определяется отношением изменения выходного сигнала этого средства к вызывающему его изменению измеряемой величины.

Если измеряемой величиной является длина или угол и чувствительность выражается безразмерным числом, то это число называется **передаточным отношением**. Оно может быть выражено зависимостью

$$i = a/c, \quad (4.1)$$

где a — интервал деления шкалы; c — цена деления.

Например, при цене деления индикатора 0,01 мм и интервале деления шкалы 1,5 мм передаточное отношение равно 150.

Порог чувствительности средства измерений — характеристика средства измерений, выражаемая наименьшим значением изменения величины, начиная с которой может осуществляться ее измерение данным средством, т. е. наименьшим значением, обнаруживаемым при нормальном для данного средства способе отсчета. Эта характеристика важна при оценке малых перемещений.

Кроме рассмотренных ранее характеристик средств измерений на практике используются еще такие понятия, как стабильность меры (свойство меры сохранять свое значение неизменным), стабильность измерительного прибора (свойство сохранять неизменными поправки к его показаниям), вариация показаний, разрешение средства измерений, его градуировочная характеристика, смещение нуля, дрейф показаний, зона нечувствительности средства измерений и др.

Вариация показаний измерительного прибора — разность показаний прибора в одной и той же точке диапазона измерений при плавном подходе к этой точке показывающего элемента со стороны меньших и больших значений измеряемой величины. Другими словами, это разность между повторными показаниями средства измерений, соответствующими одному и тому же действительному значению измеряемой им величины при неизменных внешних условиях. Обычно вариация показаний у средств измерений составляет 10...50 % цены деления и она определяется путем многократного арретирования измерительного наконечника средства измерения.

Погрешности средств измерений и контроля. Особое место в метрологических характеристиках средств измерений и контроля занимают погрешности измерений, в частности погрешности самих средств измерений и контроля. В подразд. 4.1 были рассмотрены основные группы погрешностей измерений.

Погрешность средства измерений (инструментальная погрешность) $\Delta_{с.и}$ — это разность между показанием средства измерений $x_{п}$ и истинным (действительным) значением измеряемой величины $x_{д}$:

$$\Delta_{с.и} = x_{п} - x_{д}. \quad (4.2)$$

Поскольку истинное значение величины неизвестно, на практике пользуются ее действительным значением.

Погрешность средства измерений есть составляющая общей погрешности измерения, которая включает в себя в общем случае не только $\Delta_{с.и.}$ но и погрешности установочных мер, температурных колебаний, погрешности, вызванные нарушением первичной настройки средства измерений, упругими деформациями объекта измерения, обусловленные шероховатостью измеряемой поверхности, и др.

Вопросы, связанные с определением составляющих погрешности измерения, и методика выбора средств измерений в зависимости от допустимой величины погрешности будут рассмотрены далее.

Инструментальные погрешности возникают вследствие погрешностей элементов средств измерений и контроля. К этим погрешностям можно отнести погрешности изготовления и сборки средства измерений; погрешности из-за трения в механизмах средства измерений, недостаточной жесткости его деталей и т.п. Инструментальная погрешность индивидуальна для каждого средства измерений.

Причиной возникновения *методических погрешностей* служит несовершенство принятого метода измерений. В результате того, что мы сознательно преобразуем или используем на выходе средств измерений не ту величину, которая нам нужна, а другую, которая отражает нужную лишь приблизительно, но гораздо проще реализуется, появляется погрешность, которая иногда превышает остальные. Погрешность метода иногда называют теоретической погрешностью.

Различают *основную и дополнительную погрешности средства измерений*. За основную погрешность принимают погрешность средства измерений, применяемого в нормальных условиях. Известно, что наряду с чувствительностью к измеряемой величине средство измерений имеет некоторую чувствительность и к неизмеряемым, но влияющим величинам, например к температуре, атмосферному давлению, вибрации, ударам и т.д. Поэтому любое средство измерений имеет основную погрешность, которая отражается в нормативно-технических документах.

При эксплуатации средств измерений и контроля в производственных условиях, значительно отличающихся от нормальных, возникают дополнительные погрешности. *Дополнительными погрешностями* называются погрешности средства измерений, возникающие в дополнение к основной погрешности вследствие отклонения какой-либо из влияющих величин от нормального значения или вследствие ее выхода за пределы нормальной области значений.

Дополнительные погрешности характеризуются соответствующими коэффициентами влияния изменения отдельных влияющих величин на изменение показаний.

Суммарное значение погрешности средств измерений нормируют установлением предела допустимой погрешности. **Предел допустимой погрешности средства измерений** — наибольшее значение погрешности средства измерений, устанавливаемое нормативным документом для средств измерений данного типа, при котором оно еще признается годным к применению. Например, предел допустимой погрешности для 100-миллиметровой концевой меры длины равен ± 50 мкм. При превышении этого предела средство измерений признается негодным для применения.

Погрешности средств измерений могут выражаться:

- в виде абсолютной погрешности Δ

$$\text{для меры } \Delta = X_{\text{н}} - X_{\text{д}}, \quad (4.3)$$

где $X_{\text{н}}$ — номинальное значение; $X_{\text{д}}$ — действительное значение измеряемой величины,

$$\text{для прибора } \Delta = X_{\text{п}} - X_{\text{д}}, \quad (4.4)$$

где $X_{\text{п}}$ — показание прибора;

- в виде относительной погрешности

$$\delta = (\Delta / X_{\text{д}}) 100 \% ; \quad (4.5)$$

- в виде приведенной погрешности

$$\gamma = (\Delta / X_{\text{Н}}) 100 \% , \quad (4.6)$$

где $X_{\text{Н}}$ — нормирующее значение измеряемой физической величины.

В качестве нормирующего значения может быть принят предел измерения данным средством измерений. Например, для весов с пределом измерения массы 10 кг $X_{\text{Н}} = 10$ кг.

Если в качестве нормирующей величины принимается размах всей шкалы, то именно к значению этого размаха в единицах измеряемой величины и относят абсолютную погрешность. Например, для амперметра с пределами от -100 мА до 100 мА $X_{\text{Н}} = 200$ мА.

Если в качестве нормирующей величины принимается длина шкалы прибора l , то $X_{\text{Н}} = l$.

На каждое средство измерений погрешность приводится только в какой-то одной форме.

Если погрешность средства измерений при неизменных внешних условиях постоянна во всем диапазоне измерений, то

$$\Delta = \pm a. \quad (4.7)$$

Если она меняется в указанном диапазоне, то

$$\Delta = \pm (a + bx). \quad (4.8)$$

При $\Delta = \pm a$ погрешность называется *аддитивной*, а при $\Delta = \pm (a + bx)$ — *мультипликативной*.

Для аддитивной погрешности:

$$\delta = \pm p. \quad (4.9)$$

Для мультипликативной погрешности:

$$\delta = \pm \left[c + d \left(\left| \frac{X_{\Pi}}{X_A} \right| - 1 \right) \right]. \quad (4.10)$$

Приведенная погрешность

$$\gamma = \pm q. \quad (4.11)$$

Значения p , c , d , q выбираются из ряда чисел: $1 \cdot 10^n$; $1,5 \cdot 10^n$; $(1,6 \cdot 10^n)$; $2 \cdot 10^n$; $2,5 \cdot 10^n$; $3 \cdot 10^n$; $4 \cdot 10^n$; $5 \cdot 10^n$; $6 \cdot 10^n$, где n — положительное или отрицательное целое число, включая «0».

Для обобщенной характеристики точности средств измерений, определяемой пределами допустимых погрешностей, а также другими свойствами, влияющими на погрешность измерений, вводится понятие *класс точности средств измерений*. Единые правила установления пределов допустимых погрешностей показаний по классам точности средств измерений регламентирует ГОСТ 8.401—80 «Государственная система обеспечения единства измерений. Классы точности средств измерений. Общие требования». Классы точности удобны для сравнительной оценки качества средств измерений, при их выборе.

Несмотря на то что класс точности характеризует совокупность метрологических свойств данного средства измерений, он не определяет непосредственно точность измерений, так как последняя зависит и от метода измерений, и от условий их выполнения.

Классы точности определяются стандартами и техническими условиями, содержащими технические требования к средствам измерений. Для каждого класса точности средств измерений конкретного типа устанавливаются конкретные требования к метрологическим характеристикам, в совокупности отражающие уровень точности. Единые характеристики для средств измерений всех классов точности (например, входные и выходные сопротивления) нор-

независимо от классов точности. Средства измерений невеличин или с несколькими диапазонами измерений могут и более классов точности. Например, электроизмеритель-бору, предназначенному для измерения электрического и сопротивления, могут быть присвоены два класса один — как вольтметру, другой — как амперметру.

и точности присваивают средствам измерений при раз-В процессе эксплуатации метрологические характеристики измерений ухудшаются. Поэтому допускается пониже-а их точности по результатам метрологической аттеста-поверки. Например, предусмотрено понижение класса при проверке концевых мер длины, если отклонение дли-от номинального значения, установленное в результате превышает предел допускаемых отклонений для класса присвоенного ранее.

и с большим разнообразием средств измерений и их ме-еских характеристик ГОСТ 8.401—80 определены спосо-ачения, причем выбор того или иного способа зависит от-ом виде нормирована погрешность. Для средств измере-торых погрешность измерения определяется в соответ-формулами (4.7) и (4.8), класс точности присваивается по-номером, начиная для самого точного с 1 и далее по-растания погрешности.

погрешность определяется по формулам (4.9) или (4.10)ности средства измерений соответствует значениям от-ной или приведенной погрешности, %.

мер, если $\delta = \pm 1\%$, то класс точности средства измере-если приведенная погрешность $\gamma = \pm 1,5\%$, класс точности измерений 1,5. Это справедливо для приведенной по-и, нормируемой значением физической величины в при-иницах. В тех случаях, когда погрешность нормируется-калы прибора l , класс точности также равен численному γ , но обозначается по другому. Например, при $\gamma = 0,5\%$ класс точности — 0,5.

погрешность средства измерений определяется формулой (альтернативная погрешность), то она обозначается c/d .

если $\delta = \pm \left[0,02 + 0,01 \left(\left| \frac{X_n}{X_A} \right| \right) - 1 \right]$, класс точности средства

и обозначается 0,02 / 0,01.

иллюстрируем это на следующем примере. Имеется вольт-деделами измерений (0...100) В. На него подается напря-

Таблица 4.4. Примеры обозначения классов точности приборов

| Формула для определения пределов допустимых погрешностей | Примеры пределов допустимой основной погрешности | Обозначение класса точности в Документации | Обозначение класса точности на средствах измерения | Примечание |
|--|--|--|--|--|
| $\Delta = \pm a$ | — | Класс точности М | М | — |
| $\Delta = \pm (a + bx)$ | — | Класс точности С | С | — |
| $\gamma = \Delta / X_N = \pm p$ | $\gamma = \pm 1,5$ $\gamma = \pm 0,5$ | Класс точности 1,5 Класс точности 0,5 | 1,5 0,5 V | Если X_N выражено в единицах величины Если X_N определяется длиной шкалы (ее части) |
| $\delta = \Delta / X = \pm q$ | $\delta = \pm 0,5$ | Класс точности 0,5 | 0,5 | — |
| $\delta = \pm [c + d(X_n / X - 1)]$ | $\delta = \pm [0,02 + 0,01(X_n / X - 1)]$ | Класс точности 0,02/0,01 | 0,02 / 0,01 | — |

Примечание. В табл. 4.4 приняты следующие обозначения: Δ — пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений, выраженной в единицах измеряемой величины на выходе (выходе) или условно в делениях шкалы;

X — значение измеряемой величины на входе (выходе) средства измерений или число делений, отсчитываемых по шкале;

a, b — положительные числа, не зависящие от X ;

δ — пределы допускаемой относительной основной погрешности, %;

q, p — больший (до модулю) из пределов измерений;

c, d — положительные числа, выбираемые из ряда: $c = b + d$; $d = a / X_k$;

γ — пределы допускаемой приведенной основной погрешности, %;

X_N — нормирующее значение измеряемой величины.

жение 50 В. Результат измерения — 48,5 В. Необходимо определить класс точности по Δ , δ , γ .

$$\Delta = 1,5 \text{ В}, \delta = 3 \%, \gamma = 1,5 \%$$

Тогда по Δ — класс точности 6, по δ — класс точности 3, по γ — класс точности 1,5.

Чтобы отличить относительную погрешность от приведенной, на средстве измерений ее обводят кружком. С той же целью под обозначением класса точности на средстве измерений ставят знак «V» (это значит, что предел абсолютной погрешности приведен к длине шкалы или к ее части, а не к номинальной точке шкалы). Примеры обозначения классов точности приведены в табл. 4.4.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие метрологические характеристики средств измерений устанавливаются стандартом?
2. Что такое цена деления шкалы?
3. Как определяется погрешность средства измерений и от чего она зависит?
4. Что такое предел допустимой погрешности средства измерений?
5. Что такое класс точности средства измерений и от чего он зависит?

4.4. СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ И КОНТРОЛЯ ЛИНЕЙНЫХ РАЗМЕРОВ

4.4.1. Плоскопараллельные концевые меры длины

Плоскопараллельные концевые меры длины (ГОСТ 9038—90 «Меры длины концевые плоскопараллельные. Технические условия») предназначены для передачи размеров от эталона до изделия. Эта передача осуществляется путем применения плоскопараллельных концевых мер длины для поверки и градуировки различных мер и средств измерений, для поверки калибров, а также определения размеров изделий, настройки приспособлений, точных разметочных и координатно-расточных работ, наладки станков и инструментов и т. д.

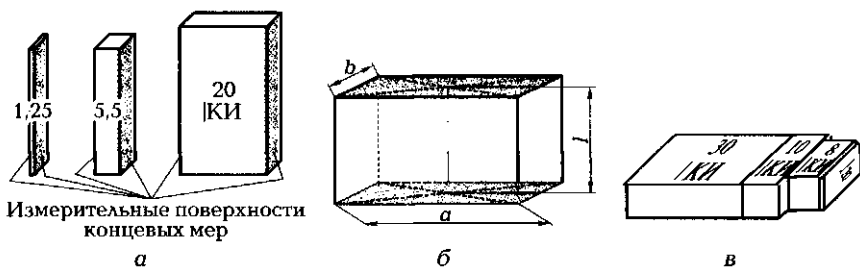


Рис. 4.1.1. Плоскопараллельные концевые меры длины:

a — форма мер; *b* — определение «срединной длины»; *в* — формирование блока мер

В соответствии с ГОСТ 9038—90 концевые меры длины имеют форму прямоугольного параллелепипеда с двумя плоскими параллельными измерительными поверхностями (рис. 4.11, *a*).

За размер плоскопараллельной концевой меры длины принимается ее **срединная длина** *l* (рис. 4.11, *б*), которая определяется длиной перпендикуляра, проведенного из середины одной из измерительных поверхностей меры до середины противоположной измерительной поверхности. Длина сторон *a* и *b* сечения мер определяется в зависимости от номинальной срединной длины *l*.

Так, при $10 > l > 0,29$ мм $a = 30_{-0,28}$, $b = 9_{-0,20}$, а при $10 > l > > 250$ мм $a = 35_{-0,34}$, $b = 9_{-0,20}$.

Номинальная срединная длина наносится на каждую меру.

Концевые меры имеют классы точности: 00; 01; 0; 1; 2; 3 — из стали; 00; 0; 1; 2 и 3 — из твердого сплава. Класс 00 — самый точный.

Концевые меры комплектуют в различные наборы по числу мер и номинальным длинам. В наборах № 1—19 число мер 2—112. В специальном наборе № 20—23 меры, № 21 — 20 мер, № 22 — 7 мер.

Комплектация мер в наборы осуществляется таким образом, чтобы из минимального числа мер можно было составить блок любого размера до третьего десятичного знака. В соответствии с этим положением в наборах концевых мер принята градация мер: 0,001 — 0,01 — 0,1 — 0,5 — 1 — 10 — 25 — 50 и 100 мм.

Номинальные длины мер изменяются от 1,005 до 100 мм. Так, набор из 112 концевых мер содержит одну меру размером 1,005 мм; 51 меру от 1 до 1,5 мм через 0,01 мм; пять мер от 1,6 до 2 мм через 0,1 мм; одну меру 0,5 мм; 46 мер от 2,5 до 25 мм через 0,5 мм и восемь мер от 30 до 100 мм через 10 мм.

Класс точности набора определяется низшим классом отдельной меры, входящей в набор. К каждому набору прилагается паспорт, в котором указываются номинальная длина каждой меры и отклонение.

В зависимости от погрешности измерения длины мер (погрешности аттестации) и отклонения их (рабочих поверхностей) от плоскостности и параллельности концевые меры разделяют на пять разрядов: 1, 2, 3, 4 и 5-й (для 1-го разряда определена наименьшая погрешность аттестации). Погрешности приводятся в аттестате меры.

При использовании концевых мер, для которых установлен разряд, размер блока плиток определяют по номинальным значениям мер с учетом действительных отклонений, приведенных в аттестате.

Одно из основных свойств концевых мер длины, обеспечивающее их широкое применение, — это **притираемость**, т.е. способность прочно сцепляться при прикладывании или при надвигании одной меры на другую (рис. 4.11, в). Сцепление (адгезия) мер вызывается молекулярными силами сцепления лишь при наличии тончайшей пленки смазки между мерами (0,05...0,1 мкм). Усилие сдвига одной меры относительно другой в условиях эксплуатации мер составляет не менее 30 Н, а у новых концевых мер эта величина больше в 10—20 раз.

Концевые меры из стали должны выдерживать 500 притираний при вероятности безотказной работы 0,8, а из твердого сплава — 30 000 при вероятности 0,9.

При составлении блока требуемого размера из концевых мер нужно руководствоваться следующим правилом: блок заданного размера следует составлять из возможно меньшего числа мер. Сначала выбирают концевые меры, позволяющие получить тысячные доли миллиметра, затем сотые, десятые и, наконец, целые миллиметры.

Например, для получения блока размером 28,495 мм необходимо из набора № 1 взять концевые меры в такой последовательности: $1,005 + 1,49 + 6 + 20 = 28,495$ мм. Минимальное число концевых мер в блоке повышает, с одной стороны, точность блока (уменьшается суммарная погрешность размера блока), а с другой — не позволяет ему разрушиться. Число концевых мер в блоке не должно превышать пяти.

Материалом, из которого изготавливают концевые меры длины, чаще всего бывает сталь с температурным коэффициентом расширения $(11,5 \pm 0,1) \cdot 10^{-6}$ мм на 1°C при изменении температуры от $+10$ до $+30^\circ\text{C}$. Это хромистые стали 20ХГ, ХГ, ШХ15, Х. Твердость измерительных поверхностей должна быть не менее 62 HRC.

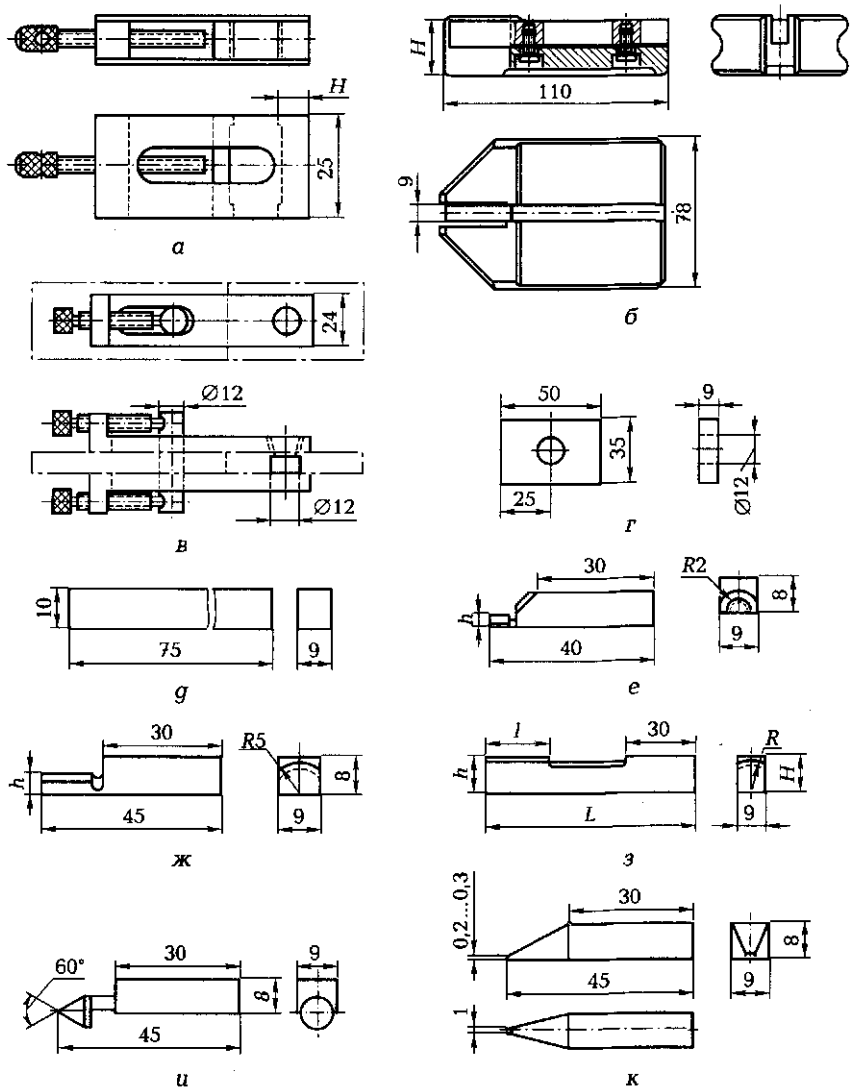


Рис. 4.12. Набор принадлежностей к концевым мерам длины:

a — державка (струбцина); *б* — основание; *в* — стяжки; *г* — зажимной сухарь; *д* — плоскопараллельные боковики; *е* — радиусные боковики $h = R = 2$ мм; *ж* — радиусные боковики $h = R = 5$ мм; *з* — радиусные боковики $h = R = 15$ или 20 мм; *и* — центральный боковик, вершина центра которого лежит на продолжении нижней доведенной плоскости; *к* — чертильный боковик

Иногда концевые меры изготавливают из твердого сплава ВК6М с температурным коэффициентом расширения $3,6 \cdot 10^{-6}$ мм на 1°C . Это позволяет повысить износостойкость концевых мер в 10—40 раз по сравнению с износостойкостью стальных.

При использовании концевых мер из твердого сплава необходимо учитывать, что из-за разности температурных коэффициентов твердого сплава и стали могут возникнуть значительные погрешности измерения.

Шероховатость измерительных поверхностей концевых мер длины для обеспечения хорошей притираемости и высокой износостойкости не должна превышать 0,063 мкм по критерию *Rz*. Шероховатость нерабочих поверхностей *Ra* 0,63 мкм.

Средний срок сохраняемости концевых мер из стали — не менее 1 года, а из твердого сплава — не менее 2 лет.

Приведем примеры условных обозначений.

Набор № 2 концевых мер из стали класса точности 1:

Концевые меры 1-Н2 ГОСТ 9038—90.

Набор № 3 концевых мер из твердого сплава класса точности 2:

Концевые меры 2-Н3-Т ГОСТ 9038—90.

Концевая мера номинальной длины 1,49 мм из стали класса точности 3:

Концевая мера 3-1,49 ГОСТ 9038—90.

Благодаря способности концевых мер притираться они являются универсальными и широко применяемыми средствами измерений и контроля. Область применения концевых мер еще более расширяется при использовании их вместе с принадлежностями, прилагаемыми к ним.

К этим принадлежностям относятся:

- державка (струбцина, рис. 4.12, а);
- основание (рис. 4.12, б);
- стяжки, предназначенные для скрепления блоков, размером более 100 мм (рис. 4.12, в);
- зажимной сухарь (рис. 4.12, г), служащий для крепления стяжками блоков концевых мер с боковиками;
- плоскопараллельные боковики (рис. 4.12, г);
- радиусные боковики (рис. 4.12, е), $h = R = 2$ мм;
- радиусные боковики (рис. 4.12, ж), $h = R = 5$ мм;
- радиусные боковики (рис. 4.12, з), $h = R = 15$ или 20 мм;

- центральной боковик (рис. 4.12, и);
- чертильный боковик (рис. 4.12, к).

Кроме перечисленных ранее принадлежностей в набор могут быть включены трехгранная линейка и плитки с рисками.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем заключается основное назначение концевых мер длины?
2. Как определяется срединная длина плоскопараллельной концевой меры длины?
3. Чем определяются класс и разряд концевой меры длины?
4. Что такое притираемость концевых мер длины?
5. В чем заключается правило составления блока концевых мер длины?

4.4.2. Измерительные линейки, штангенинструмент и микрометрический инструмент

Измерительные линейки (рис. 4.13) относятся к штриховым мерам и предназначены для измерения размеров изделий 14—17-го классов точности прямым методом. Конструкция линеек однотипна. Они представляют собой металлическую полосу шириной 20...40 мм и толщиной 0,5...1,0 мм, на широкой поверхности которой нанесены деления. Линейки изготавливаются с одной или двумя шкалами, верхние пределы измерений 150; 300; 500 и 1 000 мм, цена деления 0,5 или 1 мм. Линейки с ценой деления 1 мм могут иметь на длине 50 мм от начала шкалы полумиллиметровые деления.

Допустимые отклонения действительной общей длины шкалы линеек от номинального значения находятся в пределах $\pm(0,10...0,20)$ мм в зависимости от общей длины шкалы, а отдельных участков шкалы — в пределах $\pm(0,05...0,10)$ мм.

Проверку линеек, т.е. определение погрешности нанесения штрихов, производят путем сравнения с образцовыми измерительными линейками, которые называют штриховыми мерами. Погрешность сравнения не должна превышать 0,01 мм.

Штангенинструмент предназначен для измерений абсолютных линейных размеров наружных и внутренних поверхностей, а также для воспроизведения размеров при разметке деталей. К нему относятся штангенциркули, штангенглубиномеры и штангенрейсмасы.

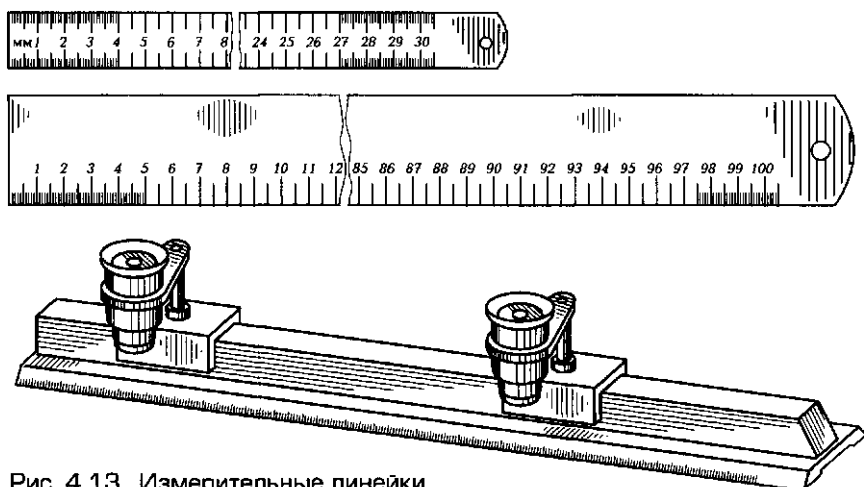


Рис. 4.13. Измерительные линейки

ГОСТ 166—89 «Штангенциркули. Технические условия» предусматривает изготовление и использование трех типов штангенциркулей:

- ШЦ-I с ценой деления 0,1 мм;
- ШЦ-II с ценой деления 0,05 мм;
- ШЦ-III с ценой деления 0,05 и 0,1 мм.

Кроме того, на заводах применяют ранее изготовленные штангенциркули с ценой деления нониуса 0,02 мм.

Штангенциркули (рис. 4.14) состоят из линейки-штанги 1, имеющей на конце неподвижные губки для измерения наружных 2' и внутренних 2'' поверхностей. На подвижной рамке 3 расположена шкала-нониус 5 и линейка 6 глубиномера для измерения глубин отверстий и пазов. Винт 4 служит для фиксации рамки после окончания измерения. Устройство 7 предназначено для медленного перемещения рамки 3 по линейке-штанге 1. Шкала, нанесенная на линейке-штанге 1, имеет деления через 1 мм.

Для измерения наружных поверхностей необходимо освободить подвижную рамку 3 с помощью винта 4, поместить измеряемую деталь между губками 2' и винтом 4 закрепить рамку 3. При наличии устройства микроподачи винтом 7' скрепляют рамку микроподачи со штангой, а вращением гайки 7'' медленно перемещают рамку 3 относительно линейки-штанги 1. Для измерения внутренних поверхностей используют губки 2''. Показания снимают по основной шкале линейки-штанги 1 и шкале-нониусу 5 после удаления измеряемой детали. По шкале линейки 1 отсчитывают

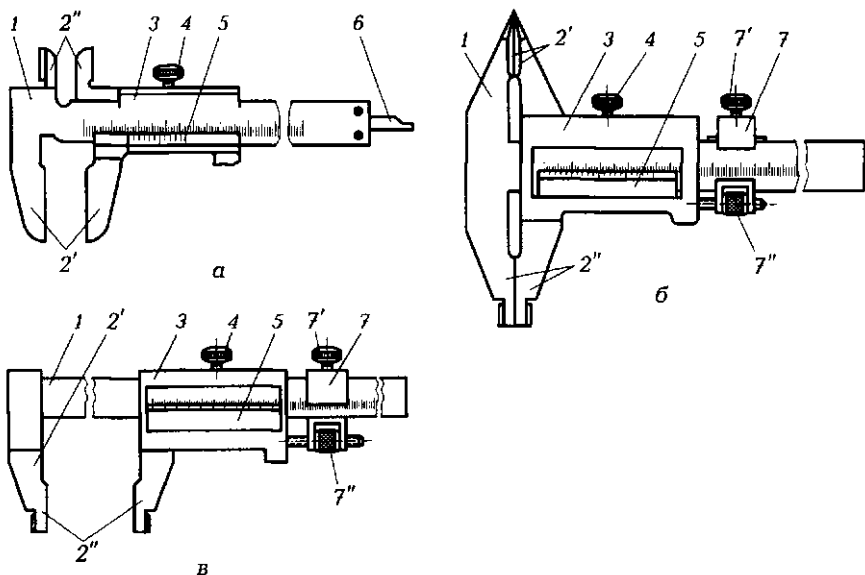


Рис. 4.14. Конструкция штангенциркулей:

а — для измерения наружных и внутренних поверхностей; *б* — слесарных; *в* — для измерения наружных и внутренних диаметров; 1 — линейка-штанга; 2 — измерительные губки [2' — для измерения наружных поверхностей; 2'' — для измерения внутренних поверхностей]; 3 — рамка; 4 — винт зажима рамки; 5 — шкала-нониус; 6 — линейка глубиномера; 7 — рамка микрометрической подачи [7' — винт крепления; 7'' — гайка микроподачи]

целое число миллиметров, а по нониусу — десятые и сотые доли миллиметра.

При отсчете с помощью нониуса сначала по основной шкале определяют целое число миллиметров перед нулевым делением нониуса, затем добавляют к нему число долей по нониусу в соответствии с тем, какой штрих шкалы-нониуса ближе к штриху

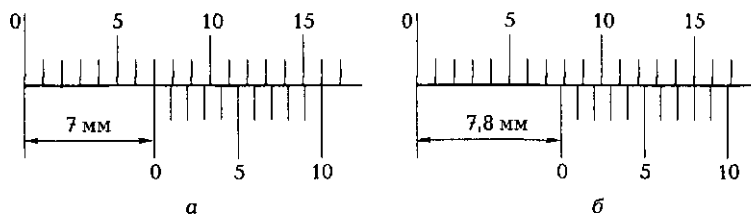


Рис. 4.15. Отсчет по нониусу:

а — измеряемый размер равен 7 мм; *б* — измеряемый размер равен 7,8 мм

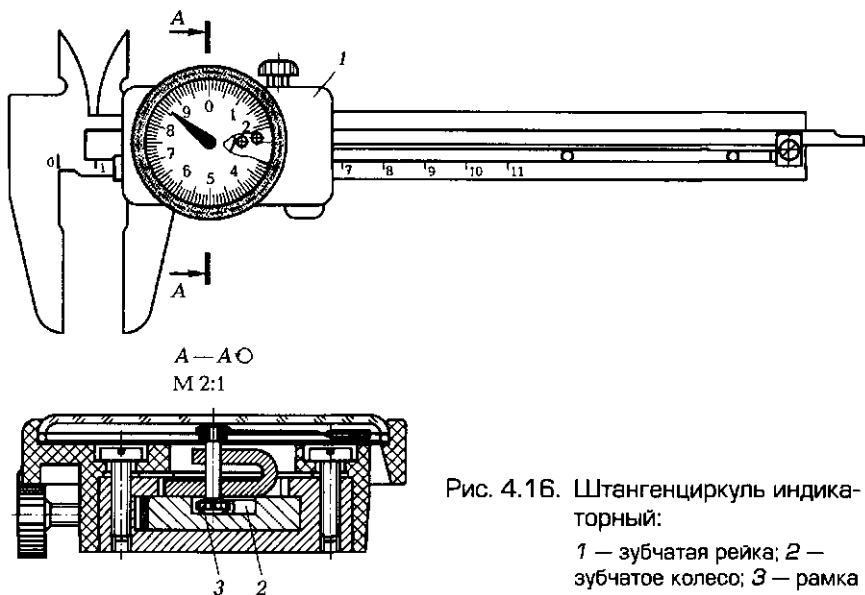


Рис. 4.16. Штангенциркуль индикаторный:

1 — зубчатая рейка; 2 —
зубчатое колесо; 3 — рамка

основной шкалы. Например, на рис. 4.15, а измеряемый размер равен 7 мм, а на рис. 4.15, б — 7,8 мм.

В штангу индикаторного штангенциркуля (рис. 4.16) вмонтирована зубчатая рейка 2, по которой перемещается зубчатое колесо 3 индикатора, закрепленного на рамке 1. Перемещение зубчатого колеса 3 передается на стрелку индикатора, показывающую единицы, десятые и сотые доли миллиметра.

Штангенглубиномеры (ГОСТ 162—90 «Штангенглубиномеры. Технические условия») принципиально не отличаются от штангенциркулей и применяются для измерения глубины отверстий и пазов. Рабочими поверхностями штангенглубиномеров (рис. 4.17) являются торцевая поверхность линейки-штанги 1 и база для измерений — нижняя поверхность основания 4 с рамкой 2 микрометрической подачи и нониусом 3. Для удобства отсчета результатов измерений, повышения точности и производительности контрольных операций в штангенглубиномерах некоторых типов вместо нониусной шкалы предусматривается установка индикатора часового типа с ценой деления 0,05 и 0,01 мм.

Штангенрейсмасы (ГОСТ 164—90 «Штангенрейсмасы. Технические условия») являются основными измерительными инструментами при разметке деталей и определении их высоты. Они могут иметь дополнительный присоединительный узел для уста-

новки измерительных головок параллельно или перпендикулярно плоскости основания. Конструкция и принцип штангенрейсмаса принципиально не отличаются от конструкции и принципа действия штангенциркуля. Для измерения или для разметки деталей станина 3 (рис. 4.18) штангенрейсмаса устанавливается на измерительный стол и с помощью подвижной рамки 2, закрепленной на ней державке 4, по линейке-штанге 1 и шкале нониуса 5 определяют показания.

На предприятиях применяются штангенрейсмасы с индикаторным и цифровым отсчетом показаний. В первом случае вместо нониусной шкалы на подвижной рамке устанавливается индикатор часового типа с ценой деления 0,05 или 0,01 мм, а во втором — зубчатое колесо ротационного фотоэлектрического счетчика импульсов, которое находится в зацеплении с зубчатой рейкой, на-

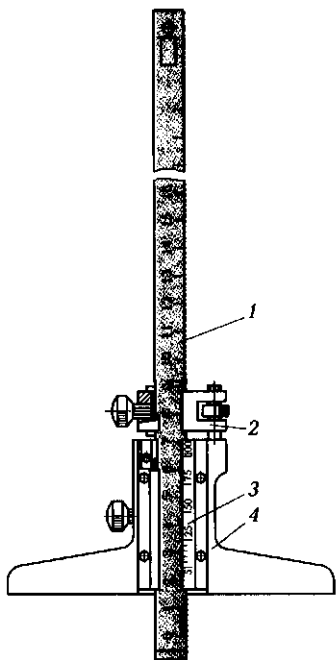


Рис. 4.17. Штангенглубиномер (КРИН):

- 1 — линейка-штанга; 2 — рамка микрометрической подачи;
- 3 — нониус; 4 — основание

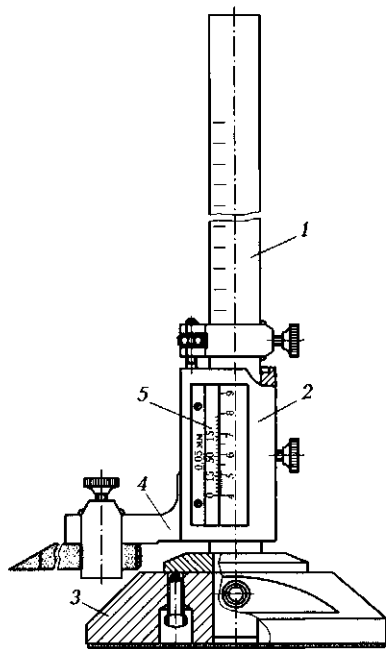


Рис. 4.18. Штангенрейсмас (КРИН):

- 1 — линейка-штанга; 2 — рамка; 3 — основание; 4 — державка; 5 — нониус

Таблица 4.5. Основные метрологические характеристики штангенциркументов

| Наименование | Цена деления шкалы, мм | Диапазон показаний шкалы, мм | Предел измерения инструмента, мм | Предельная погрешность инструмента, мкм | Условное обозначение инструмента |
|--------------------------------------|------------------------|--|--|---|--|
| Штангенциркуль типов: ШЦ-I, ШЦТ-I | 0,1 | 125 | 0 ... 125 | $\pm(150 \dots 170)$ | ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166—89 |
| | 0,05 | 160 200 250 | 0...160 0...200 0...250 | ± 50 | ШЦ-I-250-0,05 ГОСТ 166—89 |
| | 0,1 | 160 200 250 | 0...160 0...200 0...250 | ± 70 ± 70 ± 80 | |
| Штангенглубиномер типа ШГ | 0,05 | 160 200 250 315 400 | 0...160 0...200 0...250 0...315 0...400 | ± 50 | ШГ-160 ГОСТ 162—89 |
| | 0,1 | 250 360 570 900 1 000 1 000 | 0...250 40...400 60...630 100...1 000 600...1 600 1 500...2 500 | ± 100 ± 150 ± 200 | ШГ-250-0,05 ГОСТ 164—90 ШГ-1000-0,1 ГОСТ 164—90 |

резанной на штанге прибора. За один оборот зубчатого колеса счетчик дает 1000 импульсов. Показания счетчика передаются цифровому показывающему или записывающему устройству. Погрешность измерения в этом случае не превышает 15 мкм.

Основные метрологические показатели штангенинструментов, применяемых в машиностроении, представлены в табл. 4.5.

Микрометрические инструменты предназначены для абсолютных измерений наружных и внутренних размеров, высот уступов, глубин отверстий и пазов и т.д. К ним относятся гладкие микрометры, микрометры со вставками, микрометрические глубиномеры, микрометрические нутромеры.

Принцип действия этих инструментов основан на использовании винтовой пары (винт—гайка) для преобразования вращательного движения микрометрического винта в поступательное. Схема микрометрического инструмента представлена на рис. 4.19, а, а его устройство — на рис. 4.19, б. Основными частями микрометрических инструментов являются корпус 1, стержень 3, внутри которого с одной стороны имеется микрометрическая резьба с шагом 0,5 мм, а с другой — гладкое цилиндрическое отверстие, обеспечивающее точное направление перемещения винта 4. На винт

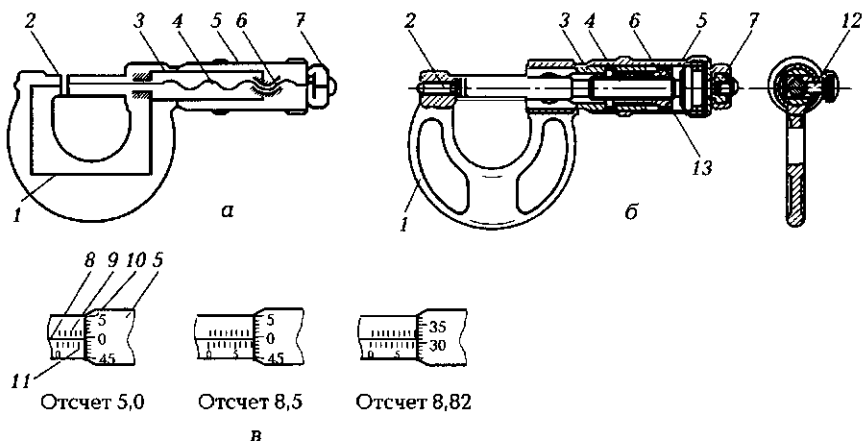


Рис. 4.19. Микрометр гладкий:

а — общая схема инструмента; б — устройство инструмента; в — отсчетное устройство микрометрических инструментов; 1 — корпус; 2 — неподвижная пятка; 3 — стержень; 4 — микрометрический винт; 5 — барабан; 6 — гайка микрометрической пары; 7 — устройство стабилизации усилия измерений (трещотка); 8 — ось продольной шкалы; 9 и 11 — продольные шкалы; 10 — круговая шкала; 12 — стопор; 13 — контргайка

установлен барабан 5, соединенный с трещоткой 6, обеспечивающей постоянное усилие измерения (для микрометрических нутромеров трещотка не устанавливается). Стопор 12 служит для закрепления винта в нужном положении.

Отсчетное устройство микрометрических инструментов состоит из двух шкал: продольной 9 и круговой 11. По продольной шкале отсчитывают целые миллиметры и половины миллиметров, по круговой шкале — десятые и сотые доли миллиметра (рис. 4.19, в).

Гладкие микрометры МК (ГОСТ 6507—90 «Микрометры. Технические условия») выпускаются с различными пределами измерений: 0...300 мм с диапазоном показаний шкалы 25 мм, а также 300...400; 400...500 и 500...600 мм. Предельная погрешность микрометров зависит от верхних пределов измерений и может составлять от ± 3 мкм для микрометров МК-25 до ± 50 мкм для микрометров МК-500. Выпускаются микрометры с цифровым отсчетом результата измерения. Отсчетное устройство в таких микрометрах действует по механическому принципу.

Микрометрический глубиномер (ГОСТ 7470—92, рис. 4.20) предназначен для абсолютных измерений глубин отверстий, высот выступов и т.д. Он имеет стембель 2, закрепленный на траверсе. Одной измерительной поверхностью является нижняя плоскость траверсы 5, другой — плоскость микрометрического винта 6. Микрометрический винт, установленный в стембле 2, приводится во вращение трещоткой 1, соединенной с барабаном 3, и фиксирует-

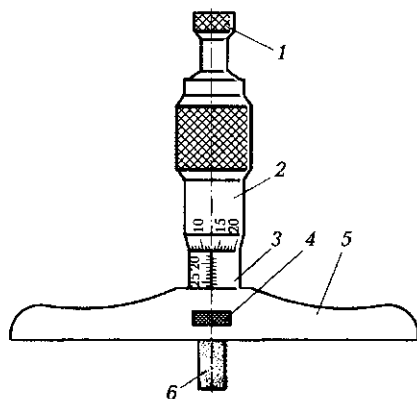


Рис. 4.20. Глубиномер микрометрический:

1 — трещотка; 2 — стембель; 3 — барабан; 4 — гайка фиксации; 5 — основание; 6 — подвижная пятка

Таблица 4.6. Основные метрологические характеристики микрометрических инструментов

| Измерительное средство | Цена деления шкалы, мм | Диапазон показаний шкалы, мм | Предел измерения инструмента, мм | Пределная погрешность инструмента, мкм | Измерительное усилие, Н |
|--|------------------------|------------------------------|--|--|-------------------------|
| Микрометр гладкий типа МК для измерения наружных размеров (ГОСТ 6507—90) | 0,01 | 25 | 0 ... 25 25 ... 50 50 ... 75 75 ... 100 и т.д. | ±2,0 ±2,5 ±2,5 ±2,0 | 5 ... 9 |
| Нутромер микрометрический типа НМ (ГОСТ 10—88) | 0,01 | 25 100 525 1 100 | 50 ... 75 75 ... 175 75 ... 600 150 ... 1 250 и т.д. | ±4,0 ±6,0 ±15,0 ±20,0 | — |
| Глубиномер микрометрический типа ГМ (ГОСТ 7470—92) | 0,01 | 25 | 0 ... 25 25 ... 50 50 ... 75 75 ... 100 100 ... 125 125 ... 150 | ±2,0 ±3,0 ±3,0 ±3,0 ±4,0 ±4,0 | 3 ... 7 |

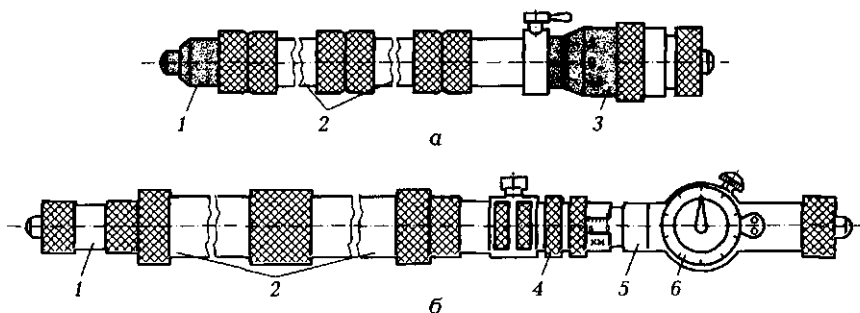


Рис. 4.21. Нутромер микрометрический:

а — шкальный; б — индикаторный; 1 — неподвижный наконечник; 2 — удлинитель; 3 — микрометрическая шкала; 4 — кольцо; 5 — корпус; 6 — индикаторная головка

ся гайкой 4. В комплект микрометрического глубиномера входят установочные меры с плоскими измерительными торцами.

Микрометрический нутромер (ГОСТ 10—88 «Нутромеры микрометрические. Технические условия», рис. 4.21) предназначен для абсолютных измерений внутренних размеров. При измерении измерительные наконечники 1 приводят в соприкосновение со стенками контролируемого отверстия с помощью кольца 4. Микрометрические нутромеры не имеют трещоток, поэтому плотность соприкосновения определяется на ощупь. Установка нутромера на ноль выполняется либо по установочному кольцу, либо по блоку концевых мер с боковиками, устанавливаемыми в струбцину. Снятие показаний осуществляется по шкале 3 (рис. 4.21, а) или по индикатору 6, установленному в корпусе 5 (рис. 4.21, б).

Микрометрические нутромеры НМ имеют пределы измерений: 50...75; 75...175; 75...600; 150...1 250; 800...2 500; 1 250...4 000; 2 500...6 000 и 4 000...10 000 мм. При необходимости увеличения пределов измерений используются удлинители 2.

Основные метрологические показатели микрометрических инструментов представлены в табл. 4.6.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какова область применения измерительных линеек и штанген-инструмента?
2. Что такое шкала нониуса и каков принцип ее действия?
3. Перечислите основные части штангенинструмента.
4. Из чего состоит и как работает гладкий микрометр?

4.4.3. Средства измерений с механическим преобразованием

Средства измерений и контроля с механическим преобразованием основаны на преобразовании малых перемещений измерительного стержня в большие перемещения указателя (стрелки, шкалы, светового луча и т.д.). В зависимости от типа механизма эти средства делятся на рычажно-механические (рычажные), зубчатые, рычажно-зубчатые, пружинные и пружинно-оптические.

В производственных условиях и измерительных лабораториях для абсолютных измерений нашли широкое применение индикаторы, или индикаторные измерительные головки с зубчатой передачей. На рис. 4.22, а изображен общий вид индикатора часового типа, на рис. 4.22, б — его кинематическая схема.

Индикаторы часового типа (ГОСТ 577—68 «Индикаторы часового типа с ценой деления 0,01 мм. Технические условия»), являющиеся типичными представителями **приборов с зубчатой передачей**, имеют стержень 1 с нарезанной зубчатой рейкой 3, зубчатые колеса 2, 4, 7 и 8, спиральную пружину 6, стрелку 5.

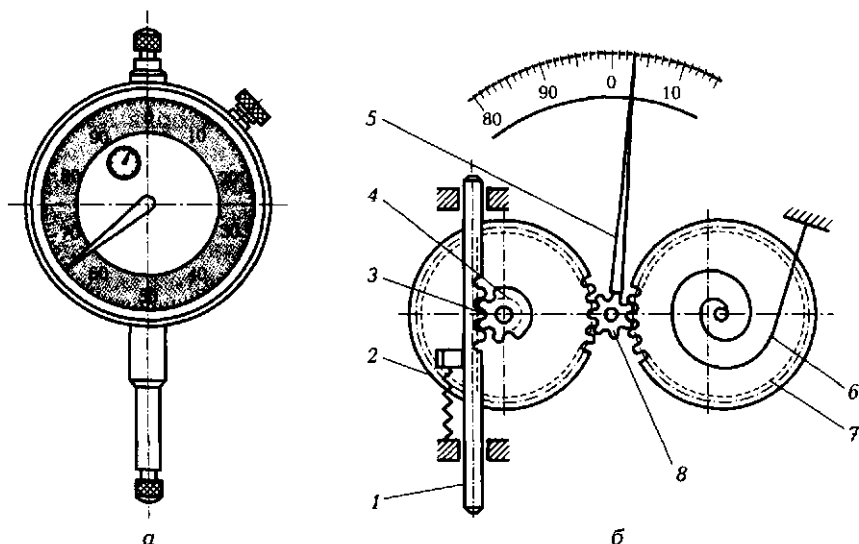


Рис. 4.22. Индикатор часового типа:

а — общий вид; б — кинематическая схема; 1 — измерительный стержень; 2, 4, 7 и 8 — зубчатые колеса; 3 — зубчатая рейка; 5 — стрелка; 6 — спиральная пружина

Таблица 4.7. Основные метрологические характеристики индикаторов часового типа

| Тип прибора (ГОСТ 577—68) | Цена деления шкалы, мм | Предел измерения прибором, мм | Предельная погрешность прибора во всем диапазоне, мкм | Измерительное усилие, Н |
|---------------------------|------------------------|-------------------------------|---|-------------------------|
| ИЧ, ИТ | 0,01 | 0...2 | 10 | 1,5 (0,4) |
| ИЧ | 0,01 | 0...5 | 12 | 1,5 (0,6) |
| | 0,01 | 0...10 | 15 | 1,5 (0,6) |
| | 0,01 | 0...25 | 22 | 3,0 (1,8) |

Возвратно-поступательное перемещение измерительного стержня *1* преобразуется в круговое движение стрелки *5*.

Один оборот стрелки соответствует перемещению измерительного стержня на 1 мм. Целые миллиметры отсчитываются по шкале с помощью малой стрелки. Шкала прибора имеет 100 делений с ценой деления 0,01 мм. Индикаторы часового типа выпускают двух классов точности — 0 и 1 — двух типов: типа ИЧ с перемещением измерительного стержня параллельно шкале и типа ИТ с перемещением измерительного стержня перпендикулярно шкале. Выпускаются также индикаторы часового типа с цифровым (электронным) отсчетом.

Основные метрологические показатели индикаторов часового типа представлены в табл. 4.7.

Рычажно-зубчатые измерительные головки (рис. 4.23) отличаются от индикаторов часового типа наличием не только зубчатой передачи, но и рычажной системы, позволяющей увеличить передаточное число измерительного механизма и тем самым повысить точность измерений. При перемещении измерительного стержня *1* в двух направляющих втулках *8* поворачивается рычаг *3*, который воздействует на рычаг *5*, имеющий на большем плече зубчатый сектор, входящий в зацепление с зубчатым колесом (трибом) *4*. На оси триба установлена стрелка с втулкой, связанная со спиральной пружиной *6*, устраняющей зазор. Измерительное усилие создается пружиной *7*. В качестве арретира *2* измерительного стержня служит рычажок.

В практике измерений используют рычажно-зубчатые однооборотные и многооборотные (ГОСТ 9696—82 «Индикаторы многооборотные с ценой деления 0,001 и 0,002 мм. Технические условия») измерительные головки с ценой деления 0,001 и 0,002 мм.

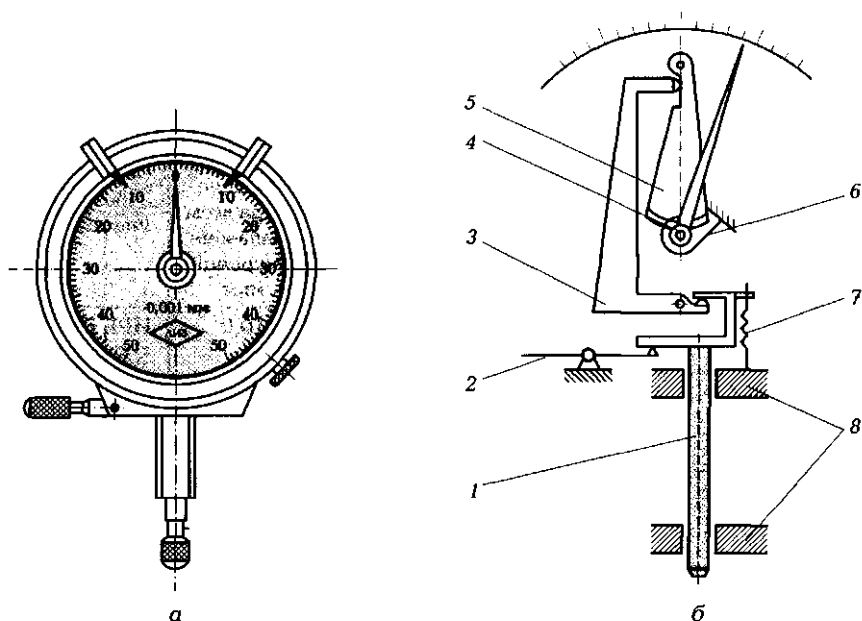


Рис. 4.23. Рычажно-зубчатая измерительная головка:

а — общий вид; б — кинематическая схема; 1 — измерительный стержень; 2 — арретир; 3 — поворотный рычаг; 4 — зубчатое колесо (триб); 5 — рычаг с зубчатым сектором; 6 — спиральная пружина; 7 — пружина; 8 — направляющие втулки

Многооборотные головки применяются в тех случаях, если требуются высокая точность и большой диапазон измерения.

В соответствии с ГОСТ 5584—75 «Индикаторы рычажно-зубчатые с ценой деления 0,01 мм. Технические условия» предусматривается выпуск рычажно-зубчатых индикаторов с ценой деления 0,01 мм, у которых положение измерительного рычага изменяется относительно корпуса.

Основные метрологические показатели рычажно-зубчатых измерительных головок представлены в табл. 4.8.

К приборам с пружинной передачей относятся измерительные пружинные головки (ГОСТ 28798—90 «Головки измерительные пружинные. Общие технические условия»), малогабаритные измерительные головки (микаторы) и рычажно-пружинные измерительные головки бокового действия (миникаторы). Эти приборы предназначены для относительных определений размеров, проверки наличия отклонений формы деталей от правильной геоме-

Таблица 4.8. Основные метрологические характеристики рычажно-зубчатых измерительных головок

| Тип головки | Цена деления шкалы, мм | Диапазон измерения, мм | Измерительное усилие (колебание измерительного усилия), Н | Предел основной допустимой погрешности на всем диапазоне измерений, мкм | Условное обозначение головки |
|------------------|------------------------|------------------------|---|---|------------------------------|
| ИРБ, ИРТ | 0,01 | 0,4 | 1...4 | 10,0 | ИРБ ГОСТ 5584—75 |
| 1 МИГ, 1 МИГП | 0,001 | 0...1 | 2,0 (0,5) | 2,5 1,8 | 1 МИГ ГОСТ 9696—82 |
| 2 МИГ, 2 МИГП | 0,002 | 5,0 | 2,0 (0,70) | 5,0 3,5 | 2 МИГП ГОСТ 9696—82 |

трической формы с высокой точностью, а также для поверки и наладки средств активного контроля.

Приборы этого типа построены по принципу использования в передаточных механизмах упругих свойств скрученной фосфористой бронзовой ленты шириной 0,1...0,2 мм и толщиной 0,008...0,015 мм.

Измерительные пружинные головки (рис. 4.24) обладают значительными преимуществами по сравнению с другими подобными приборами: высокой чувствительностью, малым измерительным усилием, незначительной погрешностью обратного хода, высокой надежностью. Основными недостатками являются неудобство отсчета показаний по слишком тонкой стрелке и наличие вибрации стрелки, что увеличивает ошибки измерений. В измерительной пружинной головке бронзовая пружинная лента 4 закручена в разные стороны относительно стрелки 2 и правым концом прикреплена к пружинному угольнику 5, а левым — к плоской пружине 1.

При перемещении измерительного стержня 7 поворачивается угольник 5, что приводит к растяжению пружинной ленты 4 и повороту прикрепленной к ней в середине стрелки относительно шкалы 3. Стрелка сбалансирована с помощью противовеса 9. Сила измерения создается пружиной 8. Измерительный стержень 7 подвешен к корпусу головки на мембране 6 и пружинном угольнике 5.

Основные метрологические показатели приборов с пружинной передачей представлены в табл. 4.9.

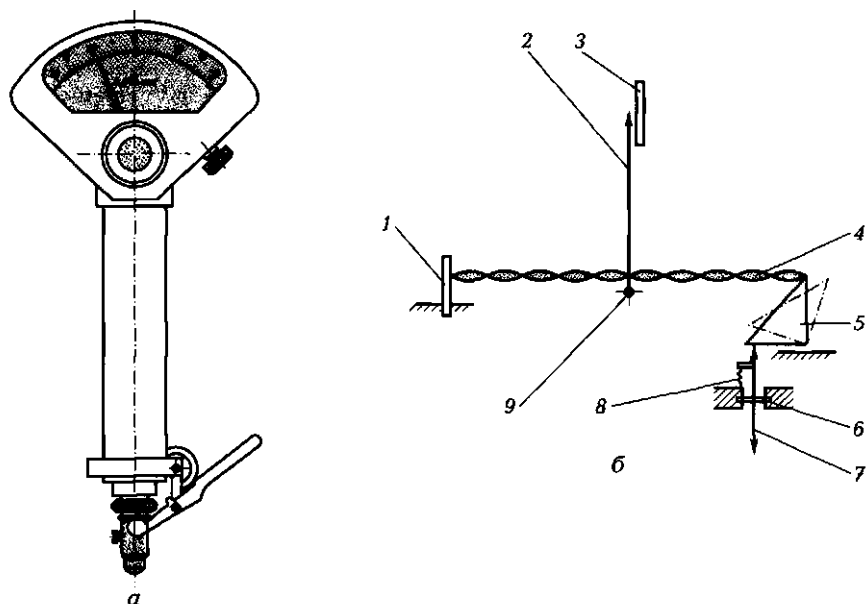


Рис. 4.24. Пружинная измерительная головка:

a — общий вид; *б* — кинематическая схема; 1 — плоская пружина; 2 — стрелка; 3 — шкала; 4 — бронзовая пружинная лента; 5 — пружинный угольник; 6 — мембрана; 7 — измерительный стержень; 8 — пружина; 9 — противовес

К **рычажно-механическим приборам** относятся индикаторные нутромеры.

Индикаторные нутромеры (рис. 4.25) предназначены для относительных измерений отверстий диаметром от 3 до 1 000 мм. Они состоят из корпуса 3, рукоятки 7, отсчетного устройства (индикатора) 9, устанавливаемого в корпусе 10, подвижного (измерительного) 4 и неподвижного (регулируемого) 1 стержней, контргайки 2, равноплечего Г-образного рычага 11, центрирующего мостика 12 и подвижного штока 6. При измерении отверстия стержень 4, перемещаясь в направлении, перпендикулярном оси отверстия, поворачивает на определенную величину рычаг 11 вокруг оси 5 и перемещает на ту же величину шток 6 и измерительный наконечник индикатора 9. Устранение зазоров в сопряжениях выполняется с помощью пружины 8. Перемещение стрелки индикатора указывает на отклонение действительного диаметра проверяемого отверстия от настроенного размера нутромера. Установка

Таблица 4.9. Основные метрологические характеристики измерительных пружинных головок

| Тип головки | Цена деления шкалы, мкм | Диапазон измерения, мкм, не менее | Измерительное усилие (колебание измерительного усилия), Н | Предел регулирования измерительного усилия, Н | Предел допустимой погрешности на любом участке шкалы до 30 делений, мкм |
|-------------|-------------------------|-----------------------------------|---|---|---|
| ИГП, | 0,1 | $\pm 4,0$ | 1,5 (0,5) | 0...1,5 | 0,1 |
| ИГПУ | 0,2 | $\pm 6,0$ | 1,5 (0,5) | — | 0,15 |
| | 0,5 | $\pm 15,0$ | 1,5 (0,5) | — | 0,25 |
| | 1,0 | $\pm 30,0$ | 2,0 (0,5) | — | 0,4 |
| | 2,0 | $\pm 60,0$ | 2,0 (2,0) | — | 0,8 |
| | 5,0 | $\pm 150,0$ | 3,0 (3,0) | — | 2,0 |
| | 10,0 | $\pm 300,0$ | 3,0 (3,0) | — | 3,0 |

индикатора на ноль осуществляется либо по установочному кольцу, либо по блоку концевых мер с боковиками, зажимаемому в державке.

Предприятия выпускают индикаторные нутромеры с ценой деления 0,01 (ГОСТ 868—82 «Нутромеры индикаторные с ценой де-

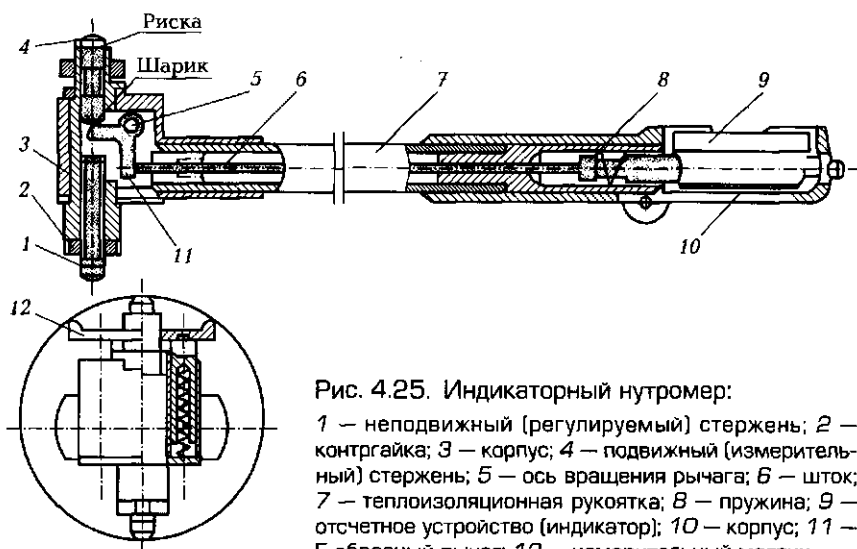


Рис. 4.25. Индикаторный нутромер:

1 — неподвижный (регулируемый) стержень; 2 — контргайка; 3 — корпус; 4 — подвижный (измерительный) стержень; 5 — ось вращения рычага; 6 — шток; 7 — теплоизоляционная рукоятка; 8 — пружина; 9 — отсчетное устройство (индикатор); 10 — корпус; 11 — Г-образный рычаг; 12 — измерительный мостик

ления 0,01 мм. Технические условия») и индикаторные нутромеры с ценой деления 0,001 и 0,002 мм (ГОСТ 9244—75 «Нутромеры с ценой деления 0,001 и 0,002 мм. Технические требования»). Основные метрологические показатели индикаторных нутромеров представлены в табл. 4.10.

К приборам с **рычажно-зубчатой передачей** относятся рычажные скобы, рычажные микрометры, рычажно-зубчатые измерительные головки и т.д. Эти приборы предназначены для относительных измерений наружных поверхностей.

В рычажных скобах (рис. 4.26) ГОСТ 11098—75 «Скобы с отсчетным устройством. Технические условия» в процессе измерения чувствительная пятая 4, перемещаясь, воздействует на рычаг 8 и зубчатый сектор 6, который поворачивает зубчатое колесо 7 и

Таблица 4.10. Основные метрологические характеристики нутромеров

| Тип нутромера | Цена деления шкалы, мм | Наибольшая глубина измерения, мм | Предел измерения, мм | Предел основной допустимой погрешности в диапазоне перемещения измерительного стержня, мкм | Измерительное усилие, Н |
|---------------------------|------------------------|----------------------------------|----------------------|--|-------------------------|
| НИ 10 | 0,01 | 60... 100 | 6... 10 | 8,0 | 2,5... 4,5 |
| НИ 18 | 0,01 | 130 | 10... 18 | 12,0 | 4,0... 7,0 |
| НИ 50А | 0,01 | 150 | 18... 50 | 12,0 | 4,0... 7,0 |
| НИ 100-1 | 0,01 | 200 | 50... 100 | 15,0 | 4,0... 7,0 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| НИ 450В | 0,01 | 500 | 250... 450 | 15,0 | 5... 9 |
| Нутромеры по ГОСТ 9244—75 | 0,001 | 12 | 2... 3 | ±1,8 | 3,0 |
| | | 20 | 3... 6 | ±1,8 | 3,0 |
| | | 30 | 6... 10 | ±1,8 | 3,5 |
| | 0,002 | 100 | 10... 18 | ±3,5 | 4,0 |
| | | 150 | 18... 50 | ±3,5 | 4,5 |
| | | 200 | 50... 100 | ±4,0 | 7,0 |
| | | 300 | 100... 160 | ±4,0 | 9,0 |
| 300 | 160... 250 | ±4,0 | 9,0 | | |

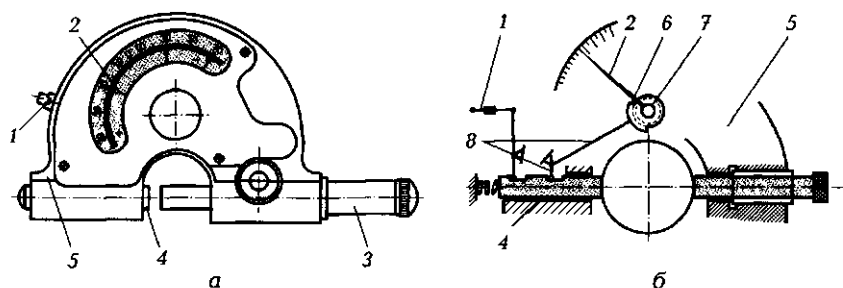


Рис. 4.26. Рычажная скоба (пассаметр):

а — общий вид; *б* — кинематическая схема; 1 — кнопка арретира; 2 — стрелка; 3 — микровинт; 4 — подвижная (измерительная) пятка; 5 — корпус; 6 — зубчатый сектор; 7 — зубчатое колесо (триб); 8 — измерительный рычаг

стрелку 2, неподвижно закрепленную на его оси в корпусе 5. Пружина постоянно прижимает зубчатое колесо 7 к зубчатому сектору, устраняя таким образом зазор между ними. Для исключения повреждения детали и рычажной скобы предусмотрена кнопка арретира 1. Микровинт 3 служит для установки прибора на ноль по блоку концевых мер. Выпускаются также рычажные скобы с отсчетом измеряемой величины в миллиметрах, в десятых и сотых долях миллиметра.

Рычажные микрометры (ГОСТ 4381—87 «Микрометры рычажные. Общие технические условия») аналогичны рычажным скобам и отличаются от них лишь наличием микрометрической головки для отсчета измеряемой величины в миллиметрах, в десятых и сотых долях миллиметра.

Основные метрологические показатели рычажных скоб и рычажных микрометров представлены в табл. 4.11.

Таблица 4.11. Основные метрологические характеристики рычажных скоб и рычажных микрометров

| Наименование и тип прибора | Цена деления отсчетного устройства, мм | Диапазон показаний шкалы, мм | Предел измерения прибором, мм | Предельные погрешности прибора $\pm\Delta$, мкм | Сила измерения, Н |
|----------------------------|--|------------------------------|-------------------------------|--|-------------------|
| Рычажные скобы СР | 0,002 | $\pm 0,14$ | 0...25 | $\pm 0,2$ | $6,0 \pm 1,0$ |
| | | | 25...50 | | $6,0 \pm 1,0$ |
| | | | 50...75 | | $8,0 \pm 2,0$ |
| | | | 75...100 | | $8,0 \pm 2,0$ |

| Наименование и тип прибора | Цена деления отсчетного устройства, мм | Диапазон показаний шкалы, мм | Предел измерения прибором, мм | Предельные погрешности прибора $\pm \Delta$, мкм | Сила измерения, Н |
|----------------------------|--|------------------------------|--|---|--------------------------------|
| | | | 100 ... 125 125 ... 150 | | $8,0 \pm 2,0$ $8,0 \pm 2,0$ |
| Рычажные микрометры: | | | | | |
| МР | 0,002 | $\pm 0,14$ | 0 ... 25 25 ... 50 50 ... 75 75 ... 100 | $\pm 2,0$ | $6,0 \pm 1,0$ |
| МРЗ | 0,02 | $\pm 0,14$ | 0 ... 20 20 ... 45 | $\pm 3,0$ | $6,0 \pm 1,0$ |
| МРИ | 0,02 | $\pm 0,10$ | 100 ... 125 125 ... 150 150 ... 200 200 ... 250 | $\pm 4,0$ $\pm 4,0$ $\pm 4,0$ $\pm 5,0$ | $8,0 \pm 1,0$ |

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. На чем основан принцип действия средств измерений и контроля с механическим преобразованием?
2. Каково устройство и принцип действия индикатора часового типа?
3. Каково устройство и принцип действия индикаторного нутромера?
4. Как настраивается на ноль рычажная скоба?

4.4.4. Средства измерений с оптическим и оптико-механическим преобразованием

Оптико-механические измерительные приборы находят широкое применение в измерительных лабораториях и цехах для измерения калибров, плоскопараллельных концевых мер длины, точных изделий, а также для настройки и проверки средств активного и пассивного контроля. Эти приборы основаны на сочетании оптических схем и механических передач.

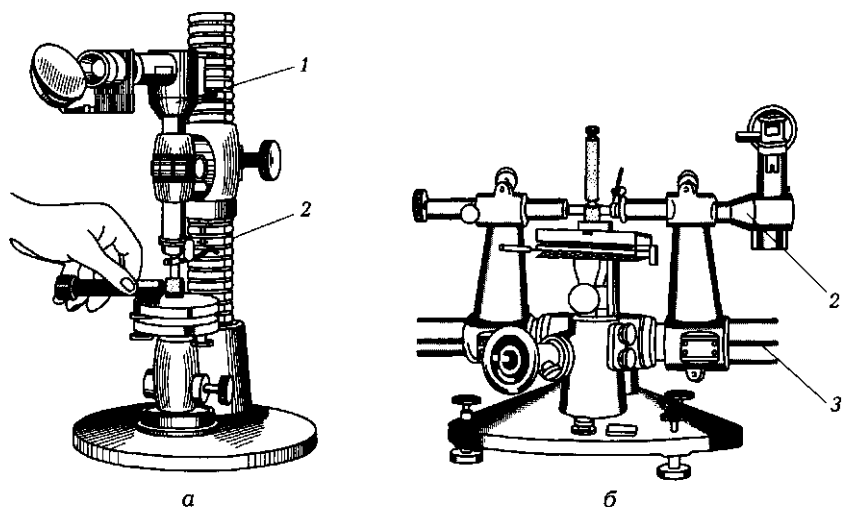


Рис. 4.27. Оптиметр:

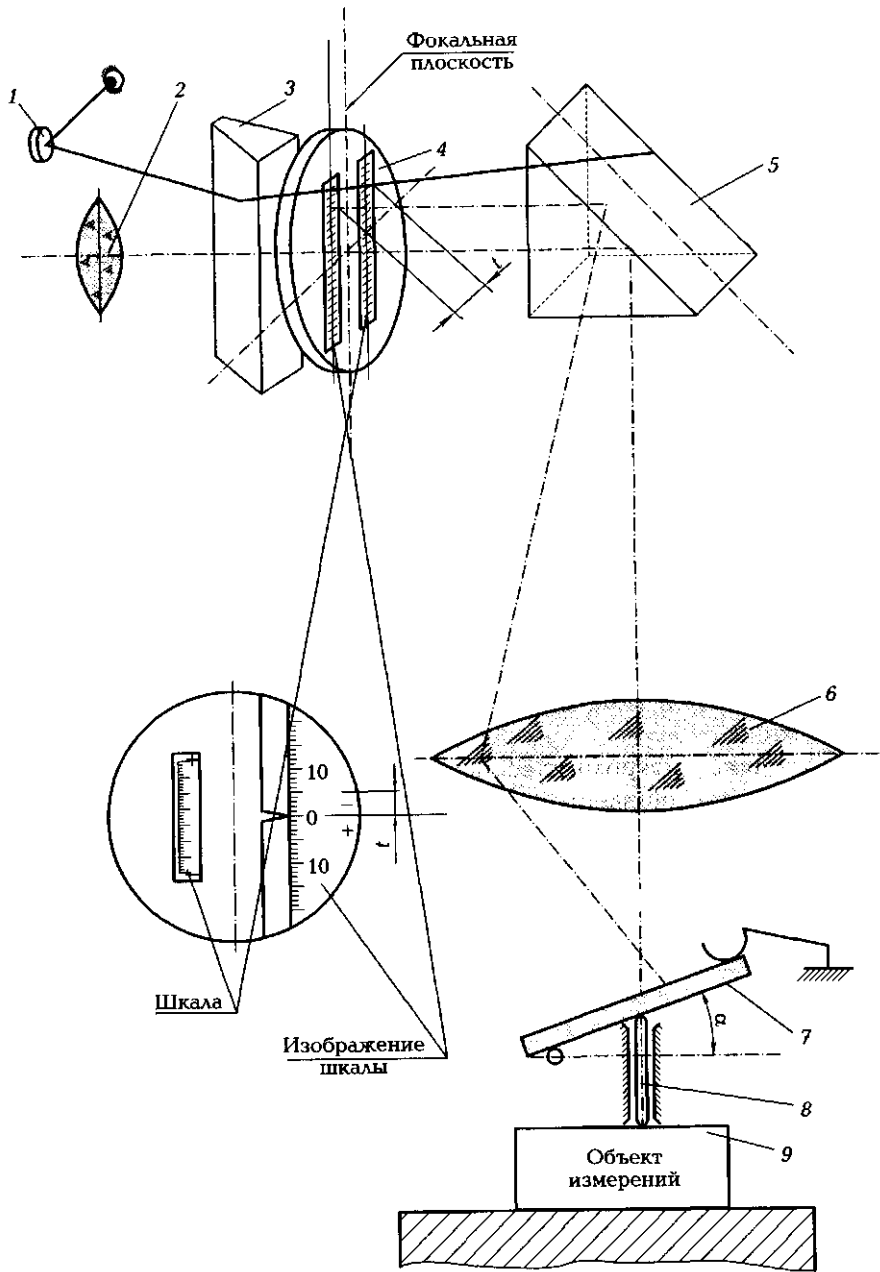
а — вертикальный; б — горизонтальный; 1 — измерительная головка;
2 — вертикальная стойка; 3 — горизонтальная стойка

К оптико-механическим измерительным приборам относятся пружинно-оптические измерительные головки (оптикаторы), оптиметры, ультраоптиметры, длиномеры, измерительные машины, интерферометры и др.

Оптиметр (ГОСТ 28798—90 «Головки измерительные пружинные. Общие технические условия») состоит из измерительной головки 1, называемой трубкой оптиметра, и стоек (вертикальной 2 или горизонтальной 3). В зависимости от вида стойки оптиметры подразделяют на вертикальные (например, ОВО-1 или ИКВ, рис. 4.27, а) и горизонтальные (например, ОГО-1 или ИКГ, рис. 4.27, б). Промышленность выпускает также горизонтальные и вертикальные проекционные оптиметры (ОГЭ-1 и ОВЭ-02). У последних отсчет результата измерения производится по шкале, проецируемой на экран. Вертикальные оптиметры предназначены для

Рис. 4.28. Оптическая схема оптиметра:

1 — зеркало; 2 — окуляр; 3 — трехгранная призма; 4 — стеклянная пластинка; 5 — призма полного отражения; 6 — объектив; 7 — поворотное зеркало; 8 — измерительный стержень; 9 — объект измерения



измерений наружных размеров деталей, а горизонтальные — для измерения как наружных, так и внутренних размеров.

В оптической схеме оптиметров использованы принципы автоколлимации и оптического рычага.

Трубка оптиметра действует следующим образом (рис. 4.28). Лучи от источника света направляются зеркалом 1 в щель трубки и, преломившись в трехгранной призме 3, проходят через шкалу, нанесенную на плоскость стеклянной пластины 4 и имеющую 200 делений. Пройдя через шкалу, луч попадает на призму полного отражения 5 и, отразившись от нее под прямым углом, направляется на объектив 6 и зеркало 7. Качающееся зеркало пружиной прижимается к измерительному стержню 8. При перемещении измерительного стержня 8, опирающегося на измеряемую деталь 9, зеркало 7 поворачивается на угол α вокруг оси, проходящей через центр опорного шарика, что вызывает отклонение отраженных от зеркала 7 лучей на угол 2α . Рассеянный отраженный пучок лучей объективом превращается в сходящийся пучок, который дает изображение шкалы. При этом шкала смещается в вертикальном направлении относительно неподвижного указателя на некоторую величину, пропорциональную измеряемому размеру. Контролер наблюдает изображение шкалы в окуляр 2, как правило, одним глазом, отчего сильно утомляется. Для удобства отсчета на окуляр надевают специальную проекционную насадку, на экране которой можно наблюдать изображение шкалы обоими глазами.

Основные метрологические показатели оптико-механических приборов представлены в табл. 4.12.

Оптические измерительные приборы нашли применение в измерительных лабораториях для абсолютных и относительных измерений бесконтактным методом деталей сложного профиля (резьб, шаблонов, кулачков, фасонных режущих инструментов), для точных измерений длин, углов, радиусов. Эти приборы построены на оптических схемах. Наиболее распространенными из них являются: микроскопы (инструментальный, универсальный, проекционный), проекторы, оптические длиномеры и угломеры, делительные головки, столы и др.

Инструментальные и универсальные микроскопы предназначены для абсолютных измерений углов и длин различных деталей в прямоугольных и полярных координатах. В соответствии с ГОСТ 8074—82 «Микроскопы инструментальные. Типы, основные параметры и размеры. Технические требования» выпускают микроскопы с микрометрическими измерителями двух типов: типа

Таблица 4.12. Основные метрологические характеристики оптико-механических приборов

| Наименование и тип прибора | Цена деления шкалы, мкм | Предел измерения по шкале | Предел допустимой погрешности на любом участке шкалы в пределах 100 делений, мкм | Наибольшее измерительное усилие (колебание измерительного усилия), Н | Вариация показаний, мкм |
|--|-------------------------|---------------------------|--|--|-------------------------|
| Оптиметр (ГОСТ 28798—90): ОВ-100 ОВ-200 ОГ-500 | 0,2 | ±25 мкм | ±(0,07...0,1) | 2,0 | 0,02 |
| | 1,0 | ±100 мкм | ±(0,2...0,3) | 2,0 | 0,1 |
| | 1,0 | ±100 мкм | ±(0,2...0,3) | 2,0 | 0,1 |
| Ультраоптиметр ИКП-2 | 0,2 | ±25 мкм | ±0,1 | 0,5...1,5 | — |
| Оптический дальномер (ГОСТ 8.114—74*): ДВО ДВЭ ДГЭ | 1,0 | 0...100 мм | ±(1,4+L/100) | 2,0 | 0,4 |
| | 1,0 | 0...100 мм | ±(1,4+L/100) | 2,0 | 0,4 |
| | 1,0 | 0...100 мм | ±(1,4+L/100) | 2,5 | 0,1 |
| Интерферометр: модели 264 (вертикальный) модели 273 (горизонтальный) | 0,05 | ±2,5 мкм | ±0,05 | 1,5 ± 0,1(0,02) | 0,02 |
| | 0,1 | ±5,0 мкм | ±0,08 | 1,5 ± 0,1(0,02) | 0,03 |
| | 0,2 | ±10,0 мкм | ±0,10 | 1,5 ± 0,1(0,02) | 0,04 |
| | 0,05 | ±2,5 мкм | ±0,06 | 2,0 ± 0,1(0,02) | 0,02 |
| | 0,1 | ±5,0 мкм | ±0,08 | 2,0 ± 0,1(0,02) | 0,03 |
| | 0,2 | ±10,0 мкм | ±0,12 | 2,0 ± 0,1(0,02) | 0,04 |

* ГОСТ 8.114—74 «Государственная система обеспечения единства измерений. Дальномеры вертикальные оптические. Методы и средства поверки».

Примечание. L — измеряемая длина объекта.

А — без наклона головки и типа Б — с наклоном головки. У микроскопов ИМ 100 × 50, А и ИМ 150 × 50, Б предусмотрена возможность отсчета показаний по шкалам микрометрических головок и применения концевых мер длины, тогда как микроскопы ИМЦ 100 × 500, А; ИМЦ 150 × 50, А; ИМЦ 150 × 50, Б; ИМЦА 160 × 80, Б оснащены цифровым отсчетным устройством.

Универсальные измерительные микроскопы отличаются от инструментальных бóльшим диапазоном измерений и повышенной точностью. В них вместо микрометрических измерителей применены миллиметровые шкалы с отсчетными спиральными микроскопами.

Основные метрологические показатели указанных микроскопов представлены в табл. 4.13.

Несмотря на конструктивные различия инструментальных и универсальных микроскопов, принципиальная схема измерения у них общая — визирование различных точек контролируемой детали, перемещаемых для этого по взаимно-перпендикулярным направлениям, и измерение этих перемещений посредством отсчетных устройств. Для обеспечения хорошего визирования микроскопы снабжают сменными объективами различной степени увеличения.

В качестве примера рассмотрим конструкцию и принцип измерения микроскопа ММИ (рис. 4.29, а).

Оптическая схема микроскопа представлена на рис. 4.29, б. Измеряемая деталь $АБ$ рассматривается через объектив $ОБ$ микроскопа. Изображение детали $А_1Б_1$ получается действительным, обратным и увеличенным.

Глаз наблюдателя через окуляр $ОК$ видит мнимое, обратное и еще раз увеличенное окуляром изображение детали $А_2Б_2$.

На массивном чугунном основании 1 (см. рис. 4.29, а) в двух взаимно-перпендикулярных направлениях на шариковых направляющих с помощью микрометрических винтов $2, 14$ перемещается измерительный стол 3 с направляющими 4 . Для снятия отсчета величины перемещения стола на гильзе, скрепленной с метрической гайкой, имеется миллиметровая шкала I (рис. 4.29, в), а на барабане, связанном с микрометрическим винтом, — круговая шкала II со 100 делениями (на рисунке показание микрометра равно 29,025). Объектив 5 (см. рис. 4.29, а) с тубусом 9 установлен на кронштейне 7 , который перемещается в вертикальном направлении по стойке 11 .

У микроскопов типа Б стойка с помощью маховика 13 может наклоняться в обе стороны, что позволяет установить микроскоп

Таблица 4.13. Основные метрологические характеристики микроσκοпов

| Тип микроскопа | Верхний предел измерения, мм | | Диапазон изменения плоских углов, ... | Линейное увеличение объективов визирного микроскопа | Цена деления барабанов микрометрических головок, мм | Цена деления шкалы наклана линий центров | Максимальный диаметр проверяемого изделия, мм | Цена деления шкалы угломерной головки, мин | Предел основной погрешности микроскопа, мкм (диапазон измерений), мм |
|-----------------------|------------------------------|--------------------------|---------------------------------------|---|---|--|---|--|--|
| | в поперечном направлении | в продольном направлении | | | | | | | |
| ИМ 100 × 50, А | 100 | 50 | 0 ... 360 | 1; 3; 5; 10; 20; 40 ^х | 0,005 | 15 | 85 | 1 | (0 ... 25) ± 3 |
| ИМЦ 100 × 50, А | 100 | 50 | 0 ... 360 | 1; 3; 5; 10; 20; 40 ^х | — | 15 | 85 | 1 | (0 ... 50) ± 5 |
| ИМ 150 × 50, А | 150 | 50 | 0 ... 360 | 1; 3; 5; 10; 20; 40 ^х | 0,005 | 15 | 85 | 1 | (0 ... 100) ± 3 |
| ИМЦ 150 × 50, А | 150 | 50 | 0 ... 360 | 1; 1,5; 3,0; 5,0 ^х | — | 15 | 85 | 1 | — |
| ИМ 150 × 50, Б | 150 | 50 | 0 ... 360 | 1; 1,5; 3,0; 5,0 ^х | 0,005 | 15 | 85 | 1 | — |

| Тип микроскопа | Верхний предел измерения, мм | | Диапазон изменения плоских углов, ... | Линейное увеличение объектов визуального микроскопа | Цена деления шкалы барабанов микрометрических головок, мм | Цена деления шкалы наклона линии центров | Максимальный диаметр проверяемого изделия, мм | Цена деления шкалы угломерной головки, мин | Предел основной погрешности мкм (диапазон измерений), мм |
|------------------------|------------------------------|--------------------------|---------------------------------------|---|---|--|---|--|--|
| | в поперечном направлении | в продольном направлении | | | | | | | |
| ИМЦА 160 × 80, Б | 160 | 80 | 0 ... 360 | 1; 3; 5; 10 ^x | — | 15 | 85 | 1 | — |
| УИМ-200 | 200 | 100 | 0 ... 360 | 10; 15; 30; 50 ^x | 0,001 | — | 100 | 1 | ±(6+L/70) |
| УИМ-200Э | 200 | 100 | 0 ... 360 | 10; 15; 30; 50 ^x | 0,001 | — | 100 | 1 | |
| УИМ-500Э | 500 | 200 | 0 ... 360 | 10; 20; 30 ^x | 0,001 | — | 200 | 1 | |

Примечание. х — кратность увеличения микроскопа.

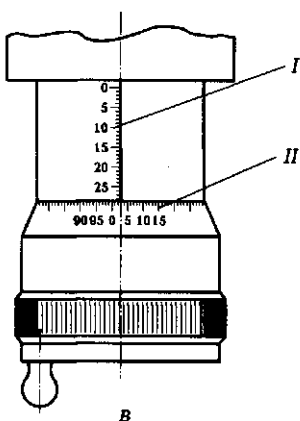
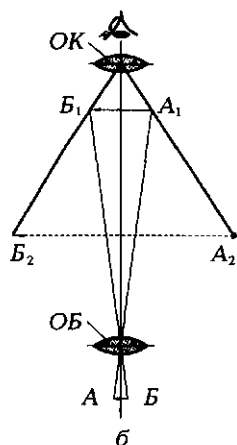
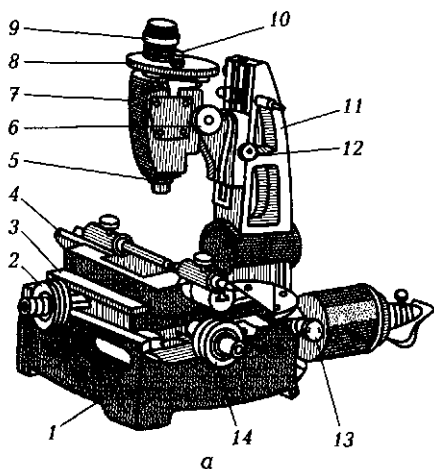


Рис. 4.29. Микроскоп инструментальный модели ММИ:

а — общий вид; б — оптическая схема; в — шкалы для снятия показаний; 1 — основание; 2 и 14 — микрометрические винты; 3 — измерительный стол; 4 — направляющие; 5 — объектив; 6 — маховик; 7 — кронштейн; 8 — кольцо; 9 — тубус; 10 — визирный микроскоп; 11 — стойка; 12 — фиксирующий винт; 13 — маховик поворота стойки

под углом, равным углу подъема измеряемой резьбы. Маховик 6, перемещающий кронштейн 7, служит для фокусировки микроскопа, причем установленное положение фиксируется винтом 12. Для точного фокусирования микроскопа вращают рифленое кольцо 8, при этом тубус смещается по цилиндрическим направляющим кронштейна. К верхней части тубуса крепится сменная угломерная окулярная головка с визирным микроскопом 10 и отсчетным устройством.

Оптические линейки предназначены для определения отклонений от прямолинейности и плоскостности поверочных линеек, плит, а также направляющих поверхностей станков образующих валов.

И манометрические, и расходомерные пневматические измерительные приборы состоят из измерительной головки, включающей в себя показывающий прибор, чувствительного элемента (сопла) и источника сжатого воздуха. Источник сжатого воздуха в свою очередь содержит: компрессор; отстойники, в которых воздух очищается от влаги; фильтры, в которых воздух очищается от механических включений; редуктор, понижающий давление до нужной величины; стабилизатор давления.

Различают пневматические приборы низкого (например, 10 кПа) и высокого (например, 150 кПа) давления. И те и другие работают от сети с давлением 0,2...0,6 МПа. Приборы низкого давления расходуют на измерение одного параметра до 10 л/мин воздуха, приборы высокого давления — до 20 л/мин.

В пневматических измерительных приборах для линейных измерений использована зависимость между площадью проходного сечения канала истечения и количеством проходящего через него воздуха. Площадь канала истечения изменяется в результате линейного перемещения иглы.

Приборы давления (манометрические) выпускаются одномерными и многомерными. Они бывают двух вариантов: цеховые с манометрической трубкой длиной 500 мм и лабораторные приборы с манометрической трубкой длиной 1 230 мм. Передаточное отношение в этих приборах достигает 1 : 20 000.

Принципиальная схема прибора низкого давления с водяным манометром показана на рис. 4.31, а. Он представляет собой цилиндрический баллон 1, сообщающийся с атмосферой и наполненный водой, в которую погружена трубка 2. К верхней части этой трубки через трубопровод 3 и дроссельное устройство 4 компрессором подается воздух под давлением P . В трубке 2 автоматически поддерживается практически постоянное давление, определяемое высотой H столба в баллоне 1.

С трубкой 2 соединена камера 6, имеющая входное 5 и выходное 11 сопла. Последнее установлено с зазором над поверхностью измеряемой детали 10. Для измерения переменного давления P_k в камере 6 прибор снабжен водяным манометром в виде стеклянной трубки 7 со шкалой 8. Давление P_k определяется разностью уровней столбов воды в баллоне 1 и трубке 7, которая одним концом соединена с камерой 6, а другим — с баллоном 1. Из трубки 2 воздух под постоянным давлением проходит через входное сопло 5 в камеру 6 и выходит через измерительное (выходное) сопло 11. От величины зазора S зависит давление P_k и, следовательно, разность уровней h , отсчитываемая по шкале 8. Так, при уменьшенном раз-

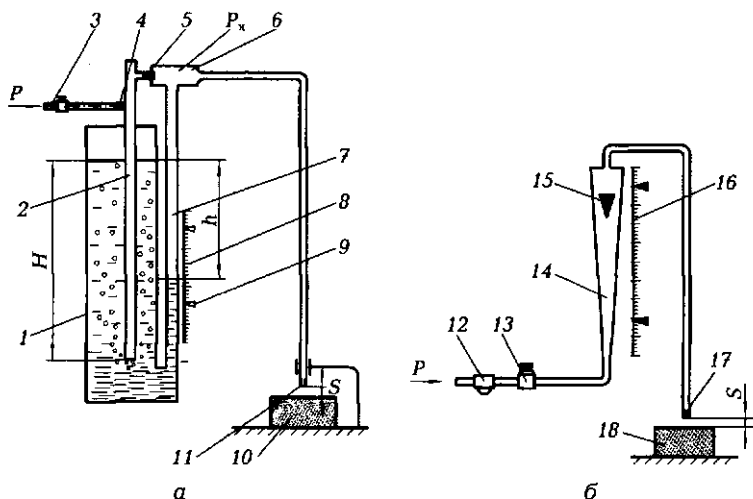


Рис. 4.31. Пневматические приборы:

а — приборы давления (манометрические); б — приборы расхода (поплавковые); 1 — баллон; 2 и 7 — трубки; 3 — трубопровод; 4 и 12 — дроссельные устройства; 5 — входное сопло; 6 — камера; 8 и 16 — шкалы; 9 — указатель допуска; 10 и 18 — объекты измерения; 11 и 17 — выходные (измерительные) сопла; 13 — фильтр; 14 — стеклянная трубка; 15 — поплавок

мере детали 10 зазор S возрастает и уровень воды в трубке 7 повышается. На шкале 8 устанавливают указатели допуска 9, между которыми должен находиться уровень воды в трубке 7, если контролируемые детали являются годными.

Приборы расхода (поплавковые) выполняются одномерными и многомерными. Последние могут обслуживать до 15 измерительных позиций. Принципиальная схема расходомера типа «Ротаметр» показана на рис. 4.31, б. Он имеет коническую стеклянную трубку 14 с широким концом сверху. По ней снизу через дроссельное устройство 12 и фильтр 13 под давлением 100...200 кПа проходит воздух, поднимающий поплавок 15. Верхняя плоскость поплавка является указателем для отсчета по шкале 16 (градуированной в микрометрах), помещенной рядом с трубкой. Высота подъема поплавка зависит от скорости прохождения воздуха, которая тем больше, чем больше зазор между торцом измерительного сопла 17 и поверхностью измеряемой детали 18. Под действием напора воздуха поплавок поднимается в трубке до тех пор, пока не уравниются расходы воздуха через кольцевой зазор между поплавком и

Таблица 4.15. Основные технические характеристики пневматических измерительных приборов

| Наименование и тип прибора | Число команд (тубок) | Число делений шкалы, мкм | Цена деления шкалы, мкм | Длина рабочей части шкалы, мкм | Диапазон измерения (предел измерения) | Погрешность срабатывания прибора | Смещение строки после 25 000 срабатываний | Давление, МПа | |
|----------------------------|----------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|---|-----------------|-------------------------|
| | | | | | | | | в питающей сети | на выходе стабилизатора |
| Ротаметры: | | | | | | | | | |
| РП | 1 | 100 | Индивидуальная | 50 | 0,1...63 м ³ /ч | $\pm(1,5 \dots 2,5) \%$ | $\pm 2,5 \%$ | 0,6 | 1,6; 6,4 |
| РЭ | 1 | 100 | » | 300 | 0,1...0,63 м ³ /ч | $\pm 2,5 \%$ | $\pm 2,5 \%$ | 0,6 | 0,6; 1,6 |
| РМ | 1 | 100 | » | 400 | 0,16...2,5 м ³ /ч | $\pm 2,5 \%$ | $\pm 2,5 \%$ | 0,6 | 6,4 |
| Длимеры высокого давления | — | — | 0,2 | 250 | 10 мкм | $\pm 0,2$ мкм | 0,15 мкм | 0,31...0,59 | 0,07...0,30 |
| | | | 0,5 | | 20 мкм | $\pm(0,3 \dots 0,5)$ мкм | 0,3 мкм | | |
| | | | 0,5 | | 20 мкм | $\pm(0,3 \dots 0,5)$ мкм | 0,3 мкм | | |

| | | | | | | | | |
|--|-------|---------|----------|---------|-----------------------------|---------|-----------|----------------------|
| Диномеры низкого да- вления (ГОСТ 8.341— 79*) | 1...7 | — | 1,0 | 35 МКМ | $\pm(0,6 \dots 0,8)$ МКМ | 0,5 МКМ | 0,2...0,6 | 0,005 ± ± 0,00005 |
| | | | 2,0 | 60 МКМ | ±1,5 МКМ | 0,6 МКМ | | |
| | | | 5,0 | 100 МКМ | ±2,5 МКМ | 1,2 МКМ | | |
| | | | 10,0 | 160 МКМ | ±6,0 МКМ | 2,0 МКМ | | |
| | | | 5,0 | 100 МКМ | ±2,5 МКМ | 1,2 МКМ | | |
| | | | 10,0 | 160 МКМ | ±6,0 МКМ | 2,0 МКМ | | |
| | | | 0,5 | 500 | 20 МКМ | 0,5 МКМ | | |
| | | | 1,0 | | 40 МКМ | 1,0 МКМ | | |
| | | | 2,0 | | 80 МКМ | 2,0 МКМ | | |
| | | | 5,0 | | 160 МКМ | 3,0 МКМ | | |
| 10,0 | | 320 МКМ | 8,0 МКМ | | | | | |
| 20,0 | | 630 МКМ | 15,0 МКМ | | | | | |

* ГОСТ 8.341—79 «Государственная система обеспечения единства измерений. Диаметры пневматические низкого давления. Методы и средства поверки».

стенками трубки 14 и через зазор S между измерительным соплом и контролируемой деталью. В этом случае поплавков зависает в трубке.

Таким образом, каждому значению зазора S соответствует определенное положение поплавка в трубке.

Точность рассмотренных выше приборов обеспечивается постоянством рабочего давления воздуха. Любые (даже незначительные) колебания давления влияют на результаты измерения.

Основные технические характеристики некоторых пневматических приборов представлены в табл. 4.15.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каков принцип действия средств измерений с пневматическим преобразованием?
2. Что такое манометрические и расходомерные измерительные приборы?
3. В чем заключаются достоинства и недостатки пневматических приборов?

4.4.6. Контроль калибрами

Для выполнения операций технического контроля в условиях массового и крупносерийного производства широко используют контрольные инструменты в виде калибров. **Калибры** — это тела или устройства, предназначенные для проверки соответствия размеров изделий или их конфигурации установленным допускам. Они применяются чаще всего для определения годности деталей с точностью от 6-го до 18-го квалитетов точности, а также в устройствах активного контроля.

С помощью **предельных калибров** не определяют числовое значение контролируемого параметра, а выясняют, не выходит ли он за предельные значения. При контроле деталь считается годной, если проходная сторона калибра (ПР) под действием усилия, примерно равного весу калибра, проходит, а непроходная сторона калибра (НЕ) не проходит по контролируемой поверхности детали. Если ПР не проходит, то деталь относят к бракованным с исправимым браком. Если НЕ проходит, то деталь относят к бракованным с неисправимым браком.

Виды **гладких калибров** для цилиндрических отверстий и валов устанавливает ГОСТ 24851—81 «Калибры гладкие для цилин-

дрических отверстий и валов. Виды». Калибры предназначены для определения годности деталей с допуском от *IT6* до *IT17*.

Стандарт предусматривает следующие гладкие калибры для валов и относящиеся к ним контрольные калибры:

ПР — проходная калибр-скоба;

НЕ — непроходная калибр-скоба;

К-ПР — контрольный проходной калибр для новой гладкой калибр-скобы;

К-НЕ — контрольный непроходной калибр для новой гладкой калибр-скобы;

К-И — контрольный калибр для контроля износа гладкой проходной калибр-скобы.

Для контроля отверстий предназначены ПР — проходная калибр-пробка и НЕ — непроходная калибр-пробка.

Для контроля отверстий применяют предельные **калибр-пробки** различных конструкций. К ним относятся двусторонние пробки с цилиндрическими вставками (рис. 4.32, а) и со вставками с коническим хвостовиком (рис. 4.32, б); полные (рис. 4.32, в) и неполные (рис. 4.32, г) пробки; неполные (рис. 4.32, д) и полные (рис. 4.32, е) шайбы.

Предпочтение отдают односторонним предельным калибрам (см. рис. 4.32, г, е), так как они сокращают время контроля изделий и расход материала.

Для контроля валов применяют предельные и регулируемые **калибр-скобы**. К предельным калибр-скобам относятся односторонние (рис. 4.33, а) и двусторонние (рис. 4.33, б) скобы. Регулируемые скобы (со вставками или с передвижными губками, рис. 4.33, в) позволяют компенсировать износ и могут настраиваться на разные размеры, входящие в определенные интервалы, однако имеют меньшие по сравнению с нерегулируемыми скобами точность и надежность и, как правило, применяются для контроля размеров с допусками не точнее 8-го квалитета точности.

По назначению предельные калибры делят на рабочие, приемные и контрольные. **Рабочие калибры** предназначены для контроля деталей в процессе их изготовления (рис. 4.34, а). Ими пользуются операторы и наладчики оборудования, а также контролеры ОТК предприятия-изготовителя. **Приемные калибры** применяют представители заказчика для приемки деталей (рис. 4.34, б).

Маркировка калибра предусматривает номинальный размер детали, для которого предназначен калибр, буквенное обозначение поля допуска изделия, числовые значения предельных отклонений изделия в миллиметрах (на рабочих калибрах), тип калибра

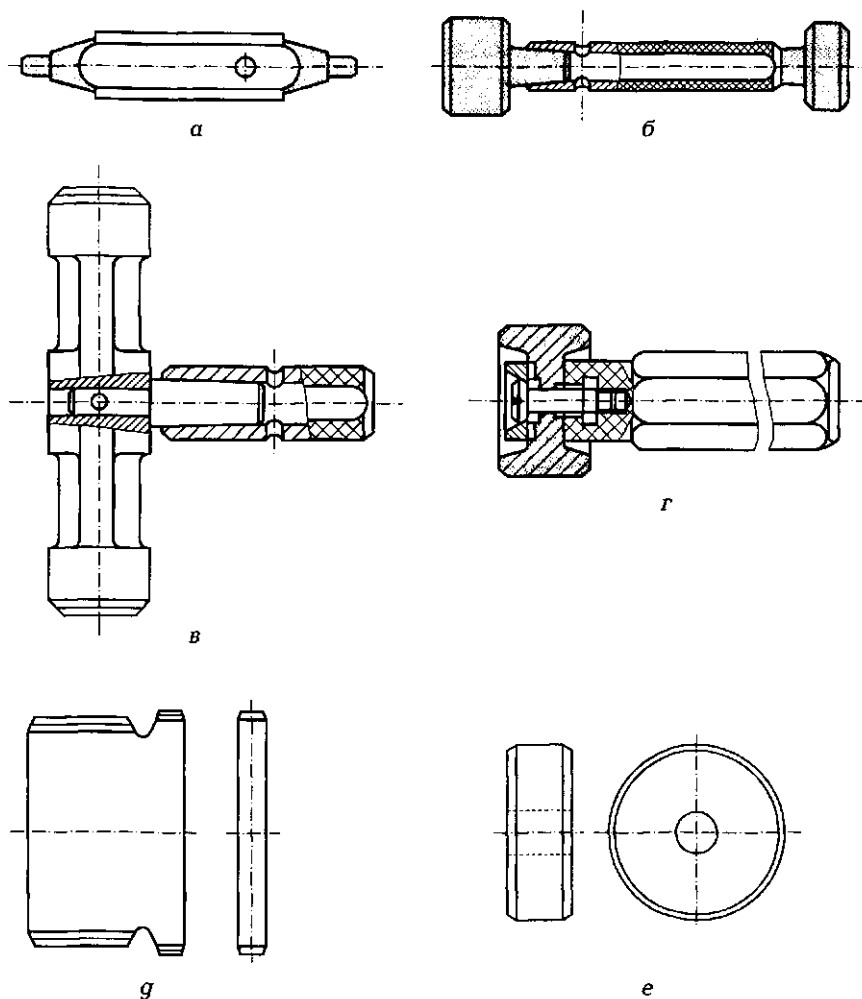


Рис. 4.32. Предельные калибр-пробки:

а — двусторонние пробки с цилиндрическими вставками; б — двусторонние пробки с коническим хвостовиком; в — полные пробки; г — неполные пробки; д — неполные шайбы; е — полные шайбы

(например, ПР, НЕ, К-И) и товарный знак предприятия-изготовителя. На рис. 4.35 представлены эскизы калибр-пробки (ГОСТ 14810—69 «Калибр-пробки гладкие двусторонние со вставками диаметром свыше 3 до 50 мм. Конструкция и размеры»), калибр-скобы (ГОСТ 18360—93 «Калибр-скобы листовые для диаметров

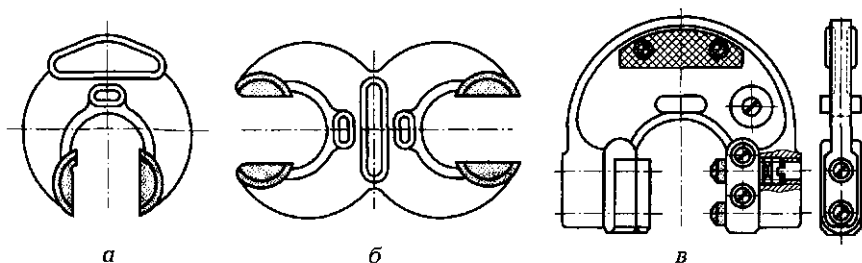


Рис. 4.33. Калибр-скобы:

а — односторонние скобы; б — двусторонние скобы; в — регулируемые скобы

от 3 до 260 мм. Размеры) и контрольной калибр-шайбы с указанием типовой маркировки, исполнительных размеров, точности формы и шероховатости рабочих поверхностей.

Особую группу составляют **калибры для контроля глубин и высот уступов**, представляющие собой ступенчатые пластины той или иной формы. ГОСТ 2534—77 «Калибры предельные для глубин и высот уступов. Допуски» устанавливает виды калибров с охватом размеров 1...500 мм 11—17-го классов точности. Год-

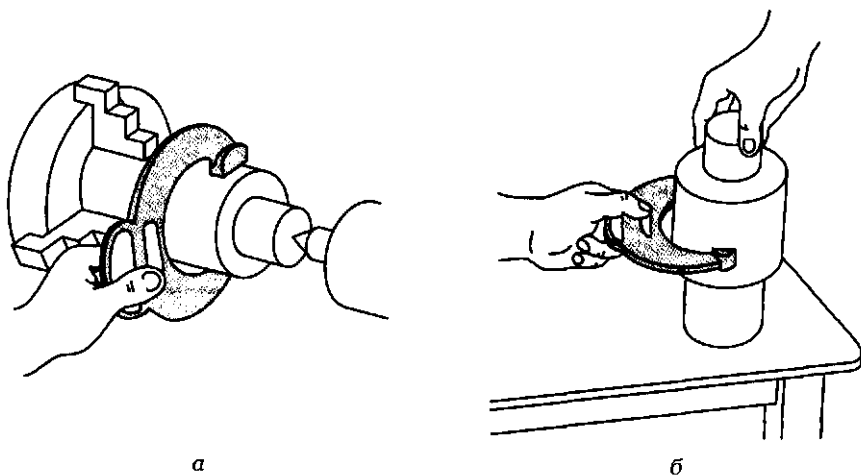


Рис. 4.34. Схемы контроля деталей предельной калибр-скобой:

а — рабочими калибрами на станке; б — приемными калибрами на контрольном столе

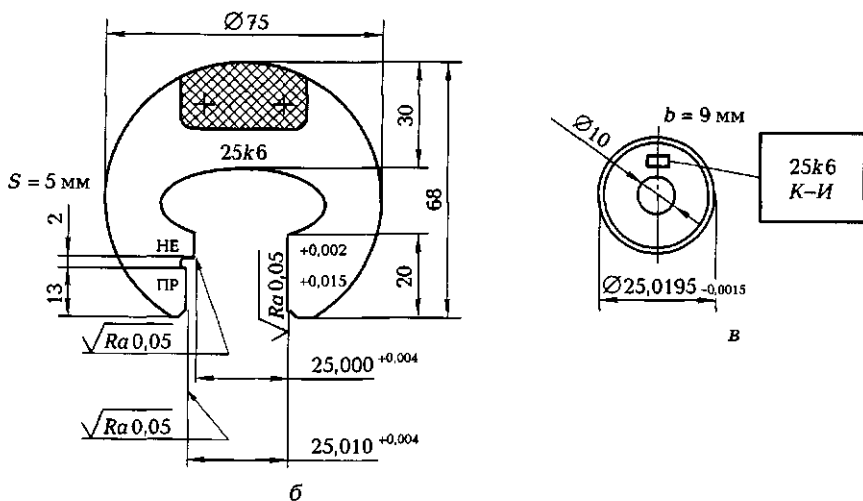


Рис. 4.35. Эскизы калибр-пробки и калибр-скобы:

а — эскиз калибр-пробки; б — эскиз калибр-скобы; в — эскиз контрольной калибр-шайбы

ность изделия определяется калибрами. Если между соответствующими плоскостями калибра и изделия есть зазор, изделие бракуется. Вместо проходной и непроходной сторон у этих калибров имеются стороны, соответствующие наибольшему (Б) и наименьшему (М) предельным размерам изделия.

Основными методами контроля являются метод «световой щели» или «на просвет», методы «надвигания», «осязания», «по рискам».

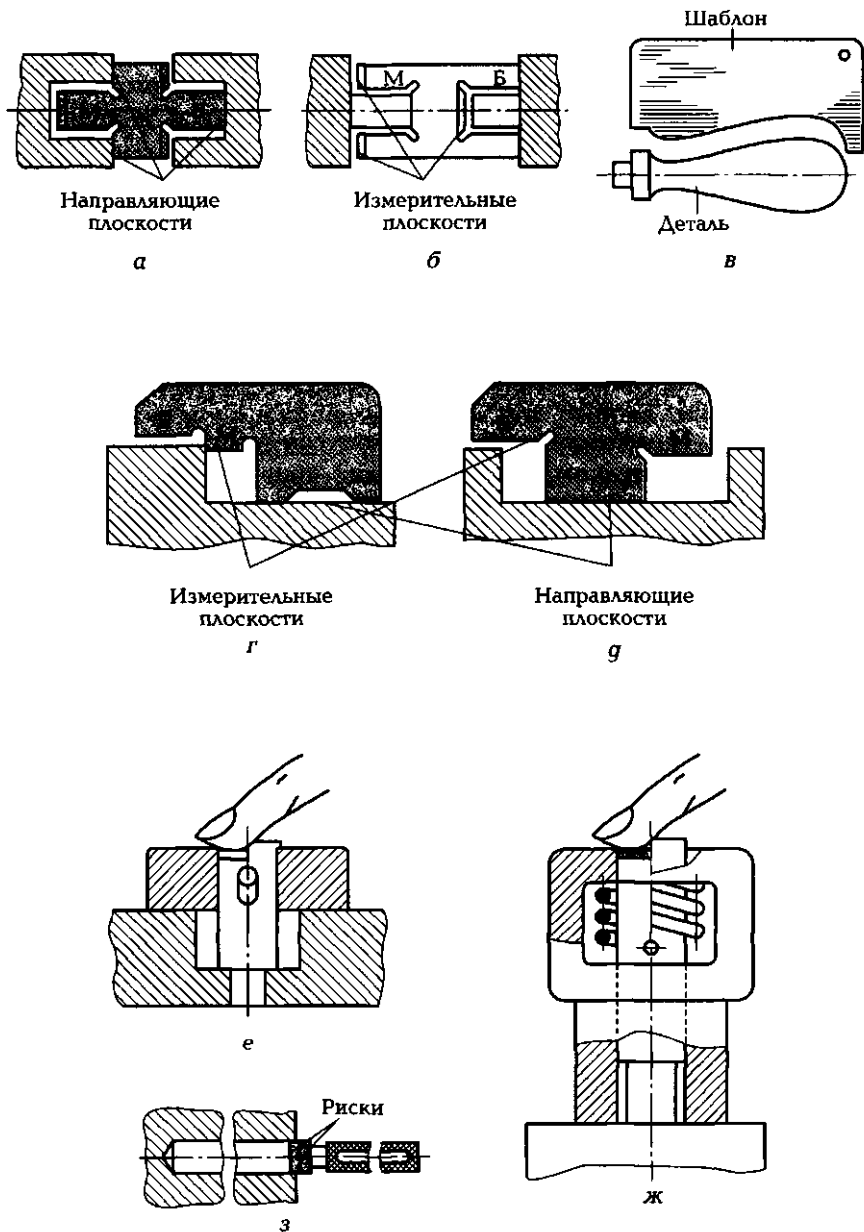


Рис. 4.36. Разновидности методов и калибров для контроля глубин, высот уступов формы изделий:

а, б, в — контроль «на просвет»; г, д — контроль методом «надвигания»; е, ж — контроль методом «осязания»; з — контроль «по рискам»

В зависимости от того, какой метод выбран, применяют те или иные средства контроля.

На рис. 4.36, а—в представлены предельные калибры, используемые при контроле «на просвет», на рис. 4.36, г, г — калибры для контроля методом «надвигания», на рис. 4.36, е, ж — для контроля методом «осязания», на рис. 4.36, з — для контроля «по рискам».

Калибрами, работающими по методу «на просвет», контролируются допуски не менее 0,04 мм. Минимальные допуски изделий, контролируемых ступенчато-стержневыми калибрами, составляют 0,03 мм, контролируемых «по осязанию» — 0,01 мм.

В ИСО предельные калибры для глубин и высот не стандартизованы.

Контроль параметров наружных конусов выполняется **конусными калибр-втулками**, а внутренних конусов — **конусными калибр-пробками**. ГОСТ 24932—81 «Калибры для конических соединений. Допуски» устанавливает виды и исполнения калибров для гладких конусов с отдельным нормированием каждого вида допуска. Некоторые калибры изображены на рис. 4.37.

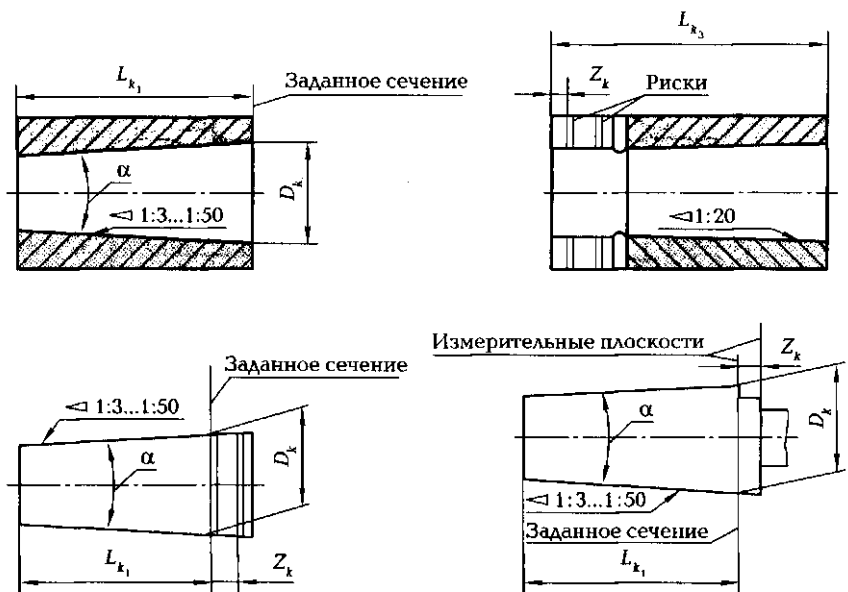


Рис. 4.37. Разновидности конусных калибр-пробок и калибр-втулок

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое калибры и для каких целей они применяются?
2. В чем заключается отличие между понятиями «контроль» и «измерение»?
3. Как классифицируются калибры?
4. В чем заключается принцип контроля предельными калибрами?

4.4.7. Поверочные линейки и плиты

Для лекальных, инструментальных и разметочных работ в машиностроении широко применяются поверочные линейки, плиты и лекальные угольники. С их помощью контролируются отклонения от прямолинейности, плоскостности, перпендикулярности, углов наклона.

В соответствии с ГОСТ 8026—92 «Линейки поверочные. Технические условия» выпускаются **поверочные стальные линейки** шести типов (рис. 4.38): с двусторонним скосом ЛД, трехгранные ЛТ, четырехгранные ЛЧ, прямоугольного сечения ШП и хромированные ШПХ, двугаврового сечения ШД. Все они подразделяются на лекальные (ЛД, ЛТ, ЛЧ) и с широкой рабочей поверхностью (ШП, ШПХ, ШД).

Кроме стальных имеются **чугунные линейки** с широкой рабочей поверхностью: мостики ШМ, угловые трехгранные УТ, и **твердокаменные (гранитные)** ШП-ТК, ШМ-ТК, УТ-ТК. Длина линейек 80... 4 000 мм.

Линейки ШМ и УТ изготавливаются в двух исполнениях: с ручной шабровкой рабочих поверхностей и с механически обработанными рабочими поверхностями. Шероховатость рабочих поверхностей Ra в зависимости от типа линейки и класса ее точности 0,04... 0,63 мкм.

В зависимости от точности изготовления линейек им присваивают соответствующие классы точности: лекальным — 0 и 1, линейкам ШП, ШД и ШМ — 00; 0; 01; 1 и 2.

Линейки ЛД, ЛТ, ШП и ШД изготавливают из углеродистой стали марки Х или У7 с твердостью рабочих поверхностей 51... 61 HRC (ГОСТ 9013—59 «Металлы. Метод измерения твердости по Роквеллу»), линейки ШМ и УТ — из серого чугуна СЧ 20 (ГОСТ 1412—85) или из высокопрочного чугуна ВЧ50 (ГОСТ 7293—85) с твердостью 153... 245 НВ (ГОСТ 9012—59 «Металлы. Метод измерения твердости по Бринеллю»).

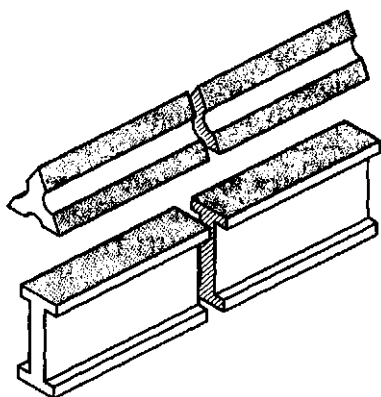
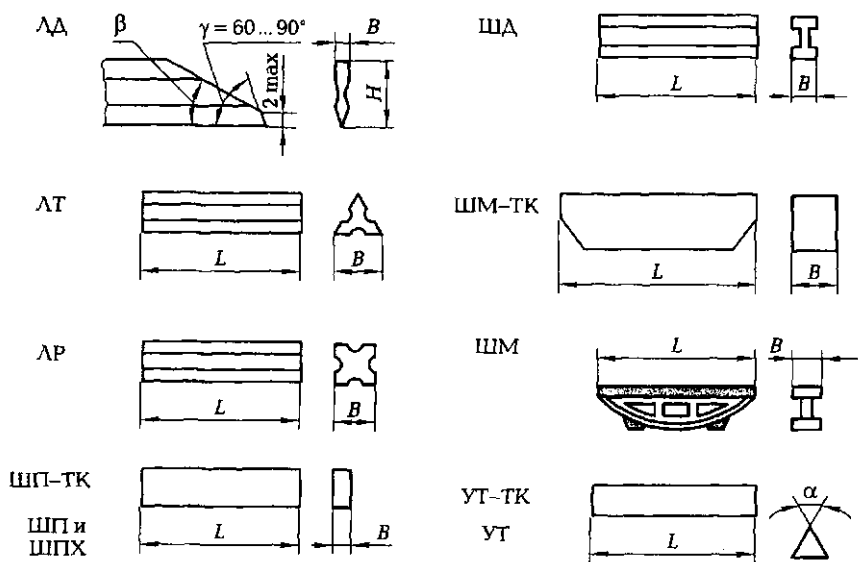


Рис. 4.38. Разновидности поверочных линейек

Средний полный срок службы стальных линейек составляет не менее 8 лет, а твердокаменных — не менее 10 лет.

Погрешность контроля поверочными линейками зависит от применяемого метода контроля, опыта оператора, условий контроля и составляет 1 ... 5 мкм.

Контроль отклонений от прямолинейности и плоскостности поверочными линейками выполняется одним из трех методов: «на просвет», «линейных отклонений» и «на краску».

При проверке методом «на просвет» лекальную линейку острым ребром накладывают на контролируемую поверхность (рис. 4.39, а), а источник света помещают за линейкой и деталью (рис. 4.39, б). При отсутствии отклонений от прямолинейности или плоскостности свет не должен пробиваться сквозь щель между линейкой и поверхностью. Линейное отклонение методом «линейных отклонений» определяют визуально (рис. 4.39, в) или сравнением с образцами просветов. В качестве образцов просветов могут выступать концевые меры длины (рис. 4.39, г). Минимальная ширина щели, устанавливаемая глазом, составляет 3 мкм. Контроль может выполняться как для открытых поверхностей, так и для углов (рис. 4.39, г).

Схема контроля с помощью линеек с широкой рабочей поверхностью и концевых мер длины представлена на рис. 4.40. При контроле прямолинейности детали 1 в направлении XX линейку 3 укладывают на две одинаковые концевые меры 2, находящиеся на расстоянии 0,233 длины линейки от ее концов. За измерительную базу принимается нижняя поверхность линейки 3 с широкой рабочей поверхностью. Отклонение от прямолинейности определяется с помощью концевых мер длины, щупов или специального средства измерений с измерительной головкой 4. Описанный метод применим для контроля прямолинейности на длине не более 2000 мм, так как при большей длине линеек их прогиб начинает оказывать существенное влияние на точность контроля.

Контроль отклонений от плоскостности методом «на краску» выполняется линейками ШТ, ШД, ШМ и УТ, причем у линеек ШМ и УТ рабочие поверхности должны быть шаброваны. Рабочую поверхность линейки покрывают тонким слоем краски (например, смесью берлинской лазури или сажки с машинным маслом), помещают по контролируемой поверхности и определяют число или площадь пятен краски, оставшихся на этой поверхности в квадрате со стороной 25 мм. Погрешность контроля составляет 3...5 мкм.

Поверочные плиты (ГОСТ 10905—86 «Плиты поверочные и разметочные. Технические условия») изготавливаются из чугуна и гранита с размерами от 250 × 250 до 4000 × 1600 мм (рис. 4.41). Рабочие поверхности чугунных плит должны быть подвергнуты ручной шпательной или механической обработке. Шероховатость рабочих поверхностей механически обработанных чугунных и гранитных плит соответствует Ra 0,32...1,25 мкм.

Классы точности плит: 000; 00; 0; 1; 2; 3.

Допуск плоскостности устанавливается в зависимости от класса точности и размера плиты и составляет, например, для плиты

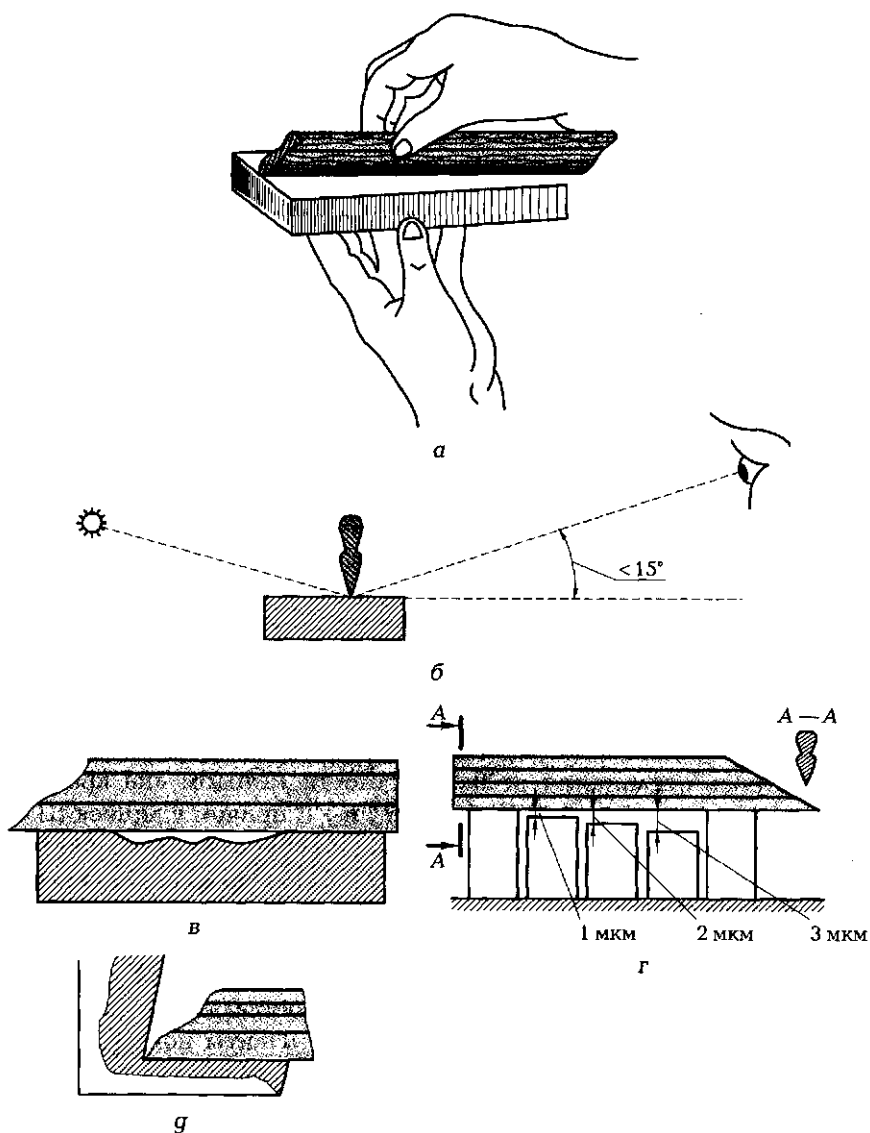


Рис. 4.39. Приемы контроля обработанных поверхностей поверочными линейками:

а — прием наложения линейки на плоскость; *б* — положение глаза и источника света при контроле; *в* — определение отклонения от плоскостности визуальным методом «на просвет»; *г* — определение отклонений от плоскостности сравнением с помощью концевых мер длины; *д* — контроль поверхностей в углах

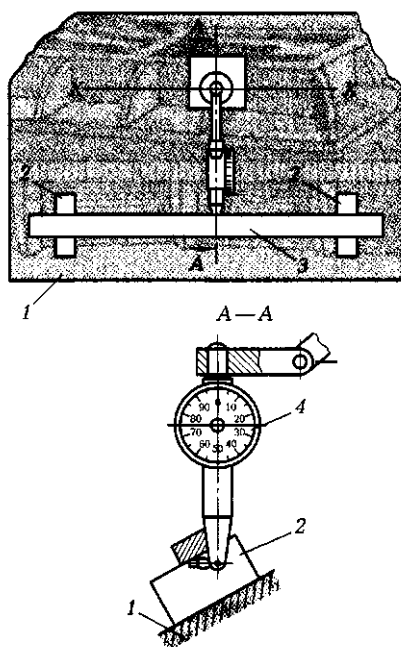


Рис. 4.40. Схема контроля отклонений от прямолинейности с помощью линеек с широкой рабочей поверхностью:

1 — контролируемая деталь; 2 — концевые меры; 3 — поверочная линейка; 4 — измерительная головка

250 × 250 мм 000-го класса точности 1,2 мкм, а для плиты 2 500 × 1 600 мм 3-го класса точности 120 мкм.

Плиты изготавливают из чугуна с физико-механическими характеристиками не ниже показателей чугуна марки СЧ 8 (ГОСТ 1412—85 «Чугун с пластинчатым графитом для отливок. Марки») с твердостью 170...229 НВ (ГОСТ 9012—59).

Применение **гранитных плит**, имеющих большую твердость рабочей поверхности, более высокую износостойкость, меньшую температурную и вибрационную зависимость, позволяет повысить точность контроля. Гранитные плиты изготавливаются из диабазы, габбро и различного типа гранитов, имеющих предел прочности при сжатии не менее 264,9 МПа.

Допустимая погрешность контроля отклонений 3...5 мкм.

По заказу потребителя рабочие поверхности чугунных плит могут быть разделены на квадраты и прямоугольники продольны-

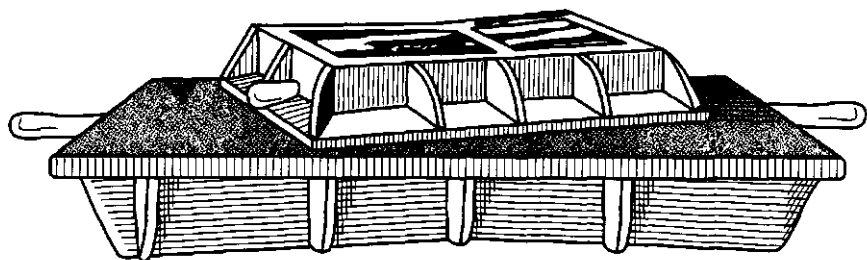


Рис. 4.41. Поверочные плиты

ми и поперечными рисками, а рабочие поверхности гранитных плит изготовлены с пазами и резьбовыми отверстиями.

Средний срок службы плит — не менее 10 лет.

Проверку отклонений от прямолинейности и плоскостности с помощью плит нужно выполнять с учетом того, что контролируемая деталь должна быть по размерам не больше размеров плиты. Кроме того, должна быть обеспечена возможность определять отклонения с помощью набора щупов, концевых мер длины или специального шкального средства (при использовании метода линейных отклонений «от плиты»). Погрешность контроля при этом, как правило, не превышает погрешностей, получаемых при контроле с помощью поверочных линеек.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем заключается основное назначение поверочных линеек и плит?
2. Какие методы контроля применимы при использовании поверочных линеек и плит?
3. Из каких материалов изготавливаются поверочные линейки и плиты и почему?
4. Какие классы точности предусмотрены стандартом для лекальных линеек?

4.4.8. Автоматические средства контроля

Для разработки и внедрения новых высокопроизводительных методов обработки деталей, автоматизации технологических процессов, повышения точности изготовления продукции предусма-

тривается широкое применение автоматических средств контроля.

В машиностроении все в большей степени внедряются быстродействующие автоматические измерительные системы, осуществляющие контроль качества деталей по различным параметрам, сортировку годных деталей по группам, отбраковку низкокачественных деталей, блокировку или подналадку технологического оборудования.

Классификация автоматических средств контроля была представлена в подразд. 4.3.2. Здесь мы рассмотрим основные средства активного контроля, применяемые в металлообработке.

Основным назначением средств активного контроля является предупреждение появления брака в процессе обработки детали путем получения информации о текущем параметре (размере, точности формы, взаимном положении, шероховатости поверхности), передачи ее в исполнительные органы металлорежущего оборудования и соответствующей корректировки режимов и условий обработки.

Средства активного контроля позволяют устранить влияние на обрабатываемое изделие различных факторов, действующих в системе станок—приспособление—инструмент—деталь, таких как износ режущего инструмента, тепловые деформации, силовые деформации и т.д.

Средства активного контроля подразделяют на три основные группы.

Средства активного контроля, устанавливаемые до обработки в рабочей позиции, — это средства, с помощью которых заготовку перед обработкой оценивают по одному или нескольким параметрам (размеру, состоянию поверхности). Полученная при этом информация поступает на позицию обработки детали с целью корректировки режимов и условий обработки. Эти средства чаще всего применяются на предварительных операциях.

Средства активного контроля в процессе обработки предназначены для непрерывного или дискретного измерения обрабатываемой детали (прямым или косвенным способом) с последующей передачей полученной информации исполнительным органам металлорежущего оборудования для изменения режимов и условий обработки, а также для ее прекращения при достижении заданных размеров.

Эти средства используют при финишных стадиях обработки, например при круглом наружном и внутреннем шлифовании, хонинговании, плоском шлифовании и т.п.

Средства активного контроля после обработки — подналадочные устройства, называемые также *подналадчиками*, применяются в том случае, если получение заданного размера обеспечивается установкой рабочей поверхности режущего инструмента «на размер». В таких средствах информация о размере, получаемая за зоной обработки, поступает исполнительным органам станка для корректировки положения инструмента, прекращения обработки, подачи сигнала для вызова наладчика. Они применяются при плоском шлифовании, бесцентровом шлифовании на проход, развертывании, растачивании, в том числе алмазном, и т. п.

Измерительные преобразователи. Независимо от группы средства активного контроля состоят из отдельных узлов, предназначенных для выполнения определенных функций. Этими узлами являются *измерительная оснастка*, включающая в себя щуповые механизмы в виде скоб, призм, рычажных устройств и т. п., механизмы подвода и отвода; *измерительные приборы*, наглядно представляющие информацию о контролируемом параметре; *командные устройства*, преобразующие измерительную информацию в сигнал — команду; *блоки усиления и сигнализации* и другие устройства, обеспечивающие стабильную работу средства активного контроля.

Одной из основных частей автоматической измерительной системы является *преобразователь*.

Измерительный преобразователь — техническое средство с нормативными метрологическими характеристиками, служащее для преобразования измеряемой величины в другую величину или измерительный сигнал, удобный для обработки, хранения, дальнейших преобразований, индикации или передачи.

Конструкция преобразователя определяет не только метод контроля, но и погрешность измерения, порог чувствительности, измерительное усилие, пределы измерений и другие характеристики автоматической системы контроля. Основными требованиями к преобразователям являются высокая точность или чувствительность, стабильность точности измерения, долговечность и надежность в работе, небольшие размеры и масса, малое усилие и его постоянство в пределах рабочего хода измерительного наконечника, малая чувствительность к вибрациям и ускорениям и достаточно большие пределы измерений. Кроме того, преобразователь должен обеспечивать возможность визуального отсчета измеряемой величины и работы в статическом и динамическом режимах, а также обладать небольшой инерционностью. Основой выбора и

применения преобразователя должна быть тесная связь с технологическим процессом обработки деталей.

Преобразователь является устройством, включающим в себя воспринимающий, задающий, сравнивающий и преобразующий элементы.

По типу воспринимающих элементов преобразователи делятся на контактные и бесконтактные, а по числу команд — на одно- и многокомандные.

Предельные преобразователи служат для фиксации выхода отклонений размера из поля допуска; **амплитудные** определяют суммарные отклонения геометрической формы и взаимного расположения поверхностей.

Число команд зависит от назначения автоматической системы. **Однокомандные** (однопредельные) **преобразователи** сортируют детали по одному пределу или дают команду на управление станком. Они применяются редко. **Двухкомандные** (двухпредельные) **преобразователи** сортируют детали на годные, брак исправимый и брак неисправимый или дают две команды на управление станком. Многокомандные преобразователи применяются для сортировки деталей на группы внутри поля допуска и для управления сложными автоматическими циклами работы станков.

По типу преобразующих элементов преобразователи можно разделить на преобразователи с прямым и промежуточным преобразованием.

В контрольных устройствах наиболее широкое применение получили электроконтактные, фотоэлектрические, пневмоэлектроконтактные и механотронные преобразователи. В ряде случаев используют индуктивные, емкостные, пьезофотоэлектрические и другие преобразователи.

Электроконтактные преобразователи преобразуют механическое перемещение измерительного штока в электрический сигнал управления. В двухконтактном преобразователе перемещение штока с измерительным наконечником 10 (рис. 4.42) передается рычагу 2, подвешенному к корпусу 3. На рычаге установлены два контакта 5 и 8, а сам рычаг имеет выход на электрическую цепь. С помощью микровинтов регулируемые контакты 6 и 7, также имеющие выходы на электрическую цепь, настраиваются на определенные размеры. Прикосновение одного из контактов, 5 или 8, к регулируемому контакту 6 или 7 позволяет замкнуть электрическую цепь и направить сигнал соответствующему исполнительному механизму, например отсекателю сортировочного автомата. Измерительное усилие создается пружиной 1, которая

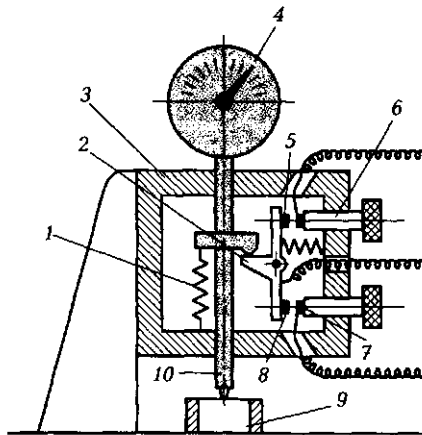


Рис. 4.42. Схема электроконтактного преобразователя:

1 — пружина; 2 — рычаг; 3 — корпус; 4 — стрелочный индикатор; 5 и 8 — нерегулируемые контакты; 6 и 7 — регулируемые контакты; 9 — контролируемая деталь; 10 — измерительный наконечник

Одним концом прикреплена к измерительному штоку, а вторым — к корпусу 3. Для упрощения настройки измерительного преобразователя и обеспечения возможности визуального наблюдения за размерами детали 9 преобразователь снабжен стрелочным индикатором 4.

Амплитудный электроконтактный преобразователь (рис. 4.43) служит главным образом для контроля отклонений от круглости (овальности) цилиндрических деталей. Основным элементом амплитудного преобразователя — плавающий контакт, выполненный в представленной конструкции в виде рычага. При повороте детали 4 наконечник фиксирует ее наименьший диаметр, шток 3 опускается и фрикционная пружина 1 поворачивает плавающий рычаг 2 до упора в контакт *K1*. При дальнейшем опускании штока выступ рычага проскальзывает по пружине. Когда диаметр детали начнет увеличиваться, шток будет подниматься и фрикционная пружина заставит плавающий рычаг повернуться вправо на величину, соответствующую разности между максимальным и минимальным диаметрами. Если эта разность будет больше допустимой, рычаг упрется в контакт *K2* и подаст сигнал на отбраковку детали.

Широкое распространение в измерительной технике нашли индуктивные, емкостные и электронные преобразователи, отличающиеся от амплитудных преобразователей тем, что они не требуют

чающиеся высокой точностью, позволяющие вести дистанционные измерения, имеющие сравнительно небольшие габаритные размеры, обладающие незначительной инерционностью.

Устройство, которое преобразует линейные перемещения в электрический параметр с помощью индуктивной катушки, называется **индуктивным преобразователем**. В индуктивных преобразователях используется свойство катушки изменять свое реактивное сопротивление при изменении некоторых ее параметров, определяющих индуктивность L . Для получения возможно большей индуктивности катушку, как правило, выполняют с магнитопроводом из ферромагнитного материала. Один из элементов магнитопровода, якорь 3 (рис. 4.44), выполняют подвижным, а его положение относительно неподвижной части магнитопровода 2 будет определять изменение магнитного сопротивления цепи, а

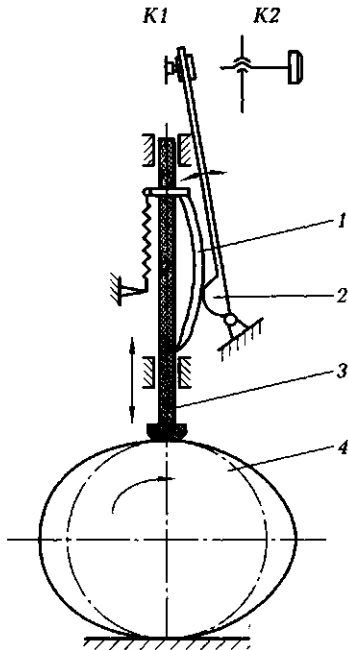


Рис. 4.43. Принцип действия амплитудного электроконтактного преобразователя:

1 — пружина; 2 — плавающий рычаг; 3 — шток; 4 — контролируемая деталь

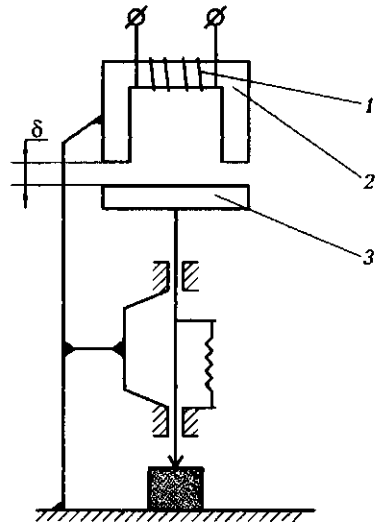


Рис. 4.44. Принцип действия индуктивного преобразователя:

1 — индуктивная катушка; 2 — магнитопровод; 3 — якорь

следовательно, и индуктивной катушки 1. Изменение индуктивного сопротивления катушки ведет к соответствующему изменению ее полного сопротивления R . Таким образом, если связать перемещение якоря d с измеряемой величиной при постоянной скорости перемещения якоря, возникнет функциональная зависимость между d и индуктивностью L .

Индуктивные измерительные приборы могут быть бесконтактными и контактными. В первом случае контролируемая деталь (которая изготавливается только из ферромагнитных материалов) включена непосредственно в магнитную цепь и образует участок магнитопровода. Схема контактного безрычажного дифференциального индуктивного прибора с малым ходом, например модели БВ-3099 или 226, показана на рис. 4.45. Отклонение размеров контролируемой детали 1 вызывает перемещение измерительного стержня 2, на котором закреплен якорь 4, находящийся в воздушном зазоре между магнитопроводами индуктивных катушек 3 и 5. В зависимости от положения якоря меняется воздушный зазор у магнитопроводов, в результате чего индуктивное сопротивление

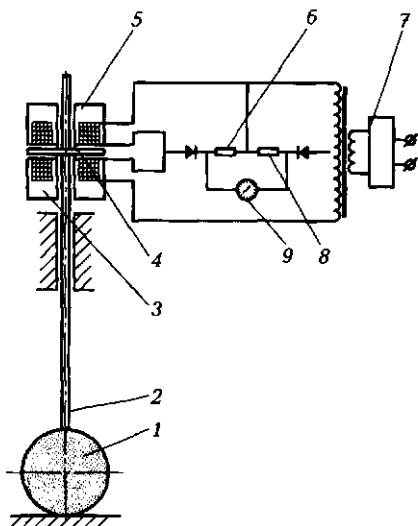


Рис. 4.45. Схема контактного безрычажного дифференциального индуктивного прибора типа БВ-3099:

1 — контролируемая деталь; 2 — измерительный стержень; 3 и 5 — индуктивные катушки; 4 — якорь; 6 и 8 — сопротивления; 7 — генератор звуковой частоты; 9 — показывающий прибор

одной катушки возрастает, а другой уменьшается. При этом нарушается равновесие моста, образованного катушками 3 и 5 и сопротивлениями 6 и 8, который питается от стабилизирующего генератора звуковой частоты 7. В результате в диагонали моста возникает ток, направление которого определяется отклонением измерительного стержня от среднего положения. Отсчетный прибор 9, включенный в диагональ моста через фазочувствительный выпрямитель, показывает величину этого отклонения.

Индуктивные приборы выпускают как со стрелочными показывающими приборами, которые имеют пять регулируемых пределов измерения (± 1 ; ± 3 ; ± 10 ; ± 30 ; ± 100 мкм) с разной ценой деления (0,02; 0,05; 0,2; 2 мкм соответственно), так и с цифровыми устройствами, имеющими три регулируемых предела измерения (± 10 ; ± 100 и ± 1000 мкм) с разной ценой деления (0,005; 0,05 и 0,5 мкм соответственно).

В **емкостных измерительных системах** используется принцип преобразования линейных перемещений в изменение электрической емкости конденсатора. По изменению емкости судят об изменении размера детали. Емкостные измерительные приборы могут быть бесконтактными и контактными. В бесконтактном приборе контролируемая деталь включается непосредственно в электрическую цепь в качестве одной из пластин конденсатора. Принципиальная схема прибора, в котором применен дифференциальный емкостный преобразователь с двумя неподвижными пластинами, включенными в мостовую схему, показана на рис. 4.46. Измерительный стержень 1 соединен пружиной 2 с опорами 3. Изменение положения измерительного стержня 1, на конце которого закреплена подвижная пластина 4, при измерении размера детали 12, установленной на столе 13, влечет за собой изменение емкости двух конденсаторов, образованных пластинами 4, 5 и 4, 11. Эти конденсаторы и регулировочный конденсатор 6 включены в мостовую схему, которая питается от высокочастотного генератора 7. Выходное напряжение преобразователя через усилитель 8 подается на отсчетный прибор 9 и исполнительное реле 10.

Емкостные измерительные приборы обладают малой инерционностью (менее 0,04 с), высокой чувствительностью и весьма малым измерительным усилием, так как силы электростатического притяжения между пластинами очень малы. Эти приборы предъявляют повышенные требования к стабильности электронной схемы включения.

Механотронные измерительные приборы состоят из электронного преобразователя, представляющего собой электронную

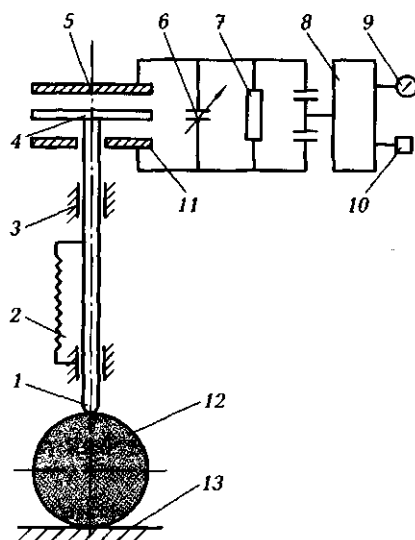


Рис. 4.46. Схема дифференциального емкостного преобразователя:

1 — измерительный стержень; 2 — пружина; 3 — опоры; 4, 5 и 11 — пластины конденсатора; 6 — регулировочный конденсатор; 7 — высокочастотный генератор; 8 — усилитель; 9 — показывающий прибор; 10 — исполнительное реле; 12 — контролируемая деталь; 13 — измерительный стол

лампу с механическим управлением электронными и ионными токами, измерительной схемы, усилителя, показывающего устройства и источника питания. Эти приборы предназначены не только для измерения перемещений, воздействующих перпендикулярно оси выходного штыря лампы, но и усилий F , действующих на выходной штырь лампы. Механотроны изготавливают на основе диодов, триодов и тетродов с подвижными анодами, катодами или сетками. Наибольшее распространение получили преобразователи, выполненные в виде сдвоенного диода (рис. 4.47). Механотрон имеет вакуумный корпус-баллон 1, аноды 2 и 5, которые закреплены в изоляторе 3, катод (накаленный) 6, мембраны или гофрированные трубки 4. В зависимости от взаимного расположения электродов изменяются ток и напряжение преобразователя, что фиксируется прибором и используется для подачи сигналов управления.

Рассмотрим некоторые устройства активного контроля, применяемые в металлообработке.

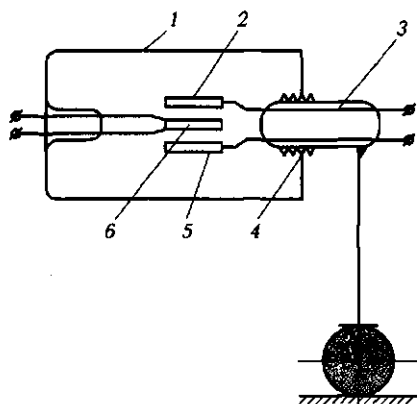


Рис. 4.47. Схема механотрона:

1 — вакуумный корпус-баллон; 2 и 5 — аноды; 3 — изолятор; 4 — гофрированная трубка; 6 — катод

Средства активного контроля для шлифовальных станков. Для **круглошлифовальных центровых станков** наиболее часто применяются устройства, позволяющие осуществлять контроль наружного диаметра обрабатываемой детали. Реже используются устройства для контроля положения шлифуемого торца, расстояния между торцами, а также для установки стола с деталью относительно шлифовального круга по ее торцу.

Для измерения диаметров используют ряд схем, которые принято различать по числу измерительных и базовых наконечников, соприкасающихся с обрабатываемой поверхностью. В устройствах, работающих по трехконтактной схеме, скоба 8 (рис. 4.48) снабжена жестко связанными с ней измерительным 1 и базировочным 9 наконечниками, опирающимися на обрабатываемую поверхность и обеспечивающими определенное взаимное расположение оси обрабатываемой детали 2 и скобы.

Второй измерительный наконечник связан со стержнем 5, который может перемещаться относительно скобы 8. Изменение диаметра D обрабатываемой детали воспринимается отсчетным устройством 7 или чувствительным элементом этого устройства (индуктивным преобразователем, измерительным соплом), жестко связанным со скобой.

В большинстве случаев скоба специальным механизмом закреплена на кожухе шлифовального круга. Это удобно при установке

и съеме детали, так как бабка шлифовального круга отводится от нее на значительное расстояние. Такое закрепление удобно также при шлифовании одним кругом последовательно нескольких шеек обрабатываемой детали.

При шлифовании с продольной подачей устройство для установки скобы закрепляют на передней или на задней бабке, чтобы исключить относительное перемещение скобы и детали вдоль оси, влияющее на точность измерения. Диаметр обрабатываемой детали измеряется в одном сечении вдоль ее оси. Конструкция устройства для установки трехконтактной скобы на станке обеспечивает число степеней свободы, необходимое для ее самоустановки на поверхности детали, благодаря наличию шарниров 4 и 6. Поджим наконечников 1 и 9 к поверхности детали осуществляется грузом 3 или с помощью специальной пружины.

Наибольшее распространение **внутришлифовальные станки** получили в подшипниковой промышленности, где они применяются при обработке желобов и отверстий колец подшипников. Здесь же используется большая часть средств активного контроля.

При контроле отверстий небольшого диаметра (менее 30 мм) трудно одновременно установить шлифовальный круг и измери-

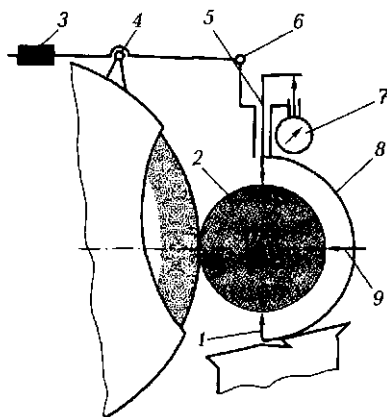


Рис. 4.48. Схема устройства активного контроля для круглошлифовальных центровых станков:

1 — измерительный наконечник; 2 — обрабатываемая (контролируемая) деталь; 3 — груз; 4 и 6 — шарниры; 5 — измерительный стержень; 7 — показывающий прибор; 8 — скоба; 9 — базирующий наконечник

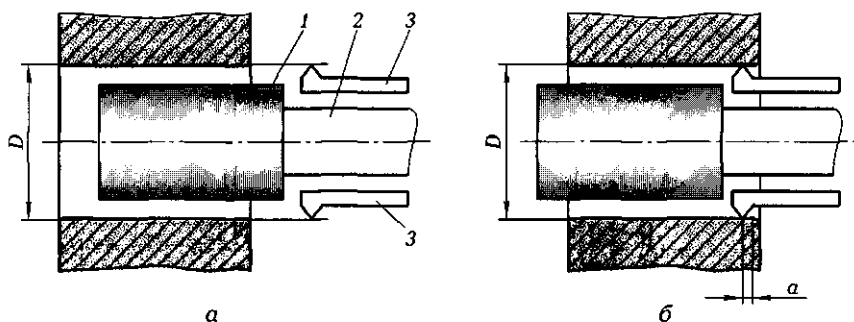


Рис. 4.49. Схема действия средства активного контроля для внутришлифовальных станков:

а — исходное положение измерительных наконечников; б — рабочее положение измерительных наконечников; 1 — шлифовальный круг; 2 — оправка шлифовального круга; 3 — измерительные наконечники

тельные наконечники прибора в обрабатываемое отверстие. В этом случае измерительную головку прибора перемещают вместе со шлифовальным кругом вдоль оси обрабатываемого отверстия. Иногда измерительную головку располагают со стороны шлифовального шпинделя, и измерительные наконечники 3 (рис. 4.49, а), охватывающие оправку 2 шлифовального круга 1, периодически входят в обрабатываемое отверстие вслед за шлифовальным кругом (рис. 4.49, б). На специальных станках с полым коротким шпинделем измерительная головка может быть помещена внутри шпинделя, и измерительные наконечники вводятся в обрабатываемое отверстие в тот момент, когда шлифовальный круг частично выводится из него. В обоих случаях несмотря на гладкую поверхность отверстия приборы работают так же, как и при контроле прерывистой поверхности, и имеют соответствующую конструкцию.

Наиболее простыми и надежными устройствами для контроля размеров при внутреннем шлифовании являются **жесткие калибр-пробки**. Их располагают в бабке изделия и вводят в обрабатываемое отверстие со стороны, противоположной кругу. На станке соосно с обрабатываемым отверстием 3 (рис. 4.50) устанавливают штوك 1, на конце которого закреплен ступенчатый калибр-пробка 2. Периодически, в те моменты, когда шлифовальный круг 4 отходит вправо, штук с калибром под действием пружины подводится к отверстию диаметром D . Однако войти в это отверстие калибр сможет только при $D > D_1$, т. е. если диаметр отверстия ста-

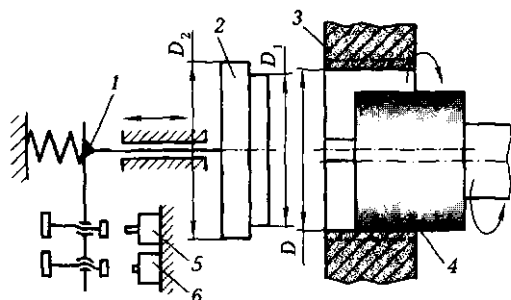


Рис. 4.50. Схема действия средства активного контроля для внутришлифовальных станков по типу жестких калибр-пробок:

1 — шток; 2 — калибр-пробка; 3 — обрабатываемая деталь; 4 — шлифовальный круг; 5 и 6 — конечные выключатели

нет больше диаметра первой ступени калибра. В этот момент регулируемый упор, связанный со штоком 1, нажимает на конечный выключатель 5, команда которого используется в схеме станка для изменения режима обработки. При дальнейшем шлифовании наступает момент, когда $D > D_2$; вторая ступень калибра получает возможность войти в отверстие и второй регулируемый упор нажимает на выключатель 6, который подает команду на прекращение обработки. Известны устройства с четырехступенчатыми калибрами, подающие в цепь управления станка четыре команды на изменение режимов обработки. Калибр-пробки позволяют контролировать отверстия со шпоночными и плечевыми пазами, нечувствительны к вибрациям, имеют малые размеры и простую конструкцию.

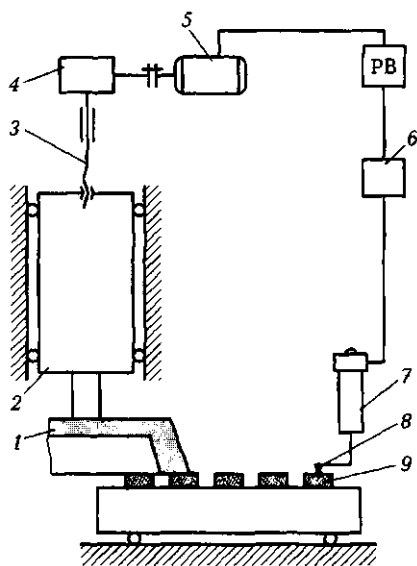
Однако применение жесткого калибр-пробки возможно только для измерения обрабатываемых на специальных станках деталей со сквозными отверстиями диаметром до 100 мм. На универсальных внутришлифовальных станках жесткие калибры не применяются.

Погрешность обработки отверстий при использовании жестких калибров составляет 0,01 ... 0,02 мм.

Схема работы **плоскошлифовального станка** с автоматической подналадкой показана на рис. 4.51. Обработанные детали 9 после выхода из-под шлифовального круга 1 проходят под измерительным наконечником 8 измерительной головки 7. По мере износа шлифовального круга размеры обработанных деталей возрастают, и при достижении деталью размера, равного подналадоч-

Рис. 4.51. Схема действия устройства для автоматической подналадки плоскошлифовального станка:

1 — шлифовальный круг; 2 — шлифовальная бабка; 3 — винт; 4 — редуктор; 5 — электродвигатель; 6 — усилитель; 7 — измерительная головка; 8 — измерительный наконечник; 9 — обработанная деталь; РВ — реле времени



ному или превышающего его, измерительная головка выдает команду на подналадку. Сигнал от головки 7 поступает в усилитель 6 и через реле времени РВ станка подается к электродвигателю 5. По команде, поступившей от усилителя, электродвигатель 5 включается и через редуктор 4 поворачивает винт 3 шлифовальной бабки 2. Величина перемещения шлифовальной бабки определяется временем вращения электродвигателя подналадки, задаваемым реле времени. Подналадочный импульс выбирают в зависимости от поля допуска, припуска на обработку, характеристик шлифовального круга, формы и размеров изделий, числа изделий, находящихся между кругом и измерительной головкой, и т. д. Реле времени станка также задерживает следующий подналадочный импульс на интервал, равный времени прохождения под измерительным наконечником всех деталей, находящихся между ним и кругом при подаче первого подналадочного импульса.

Средства активного контроля для хонинговальных станков. Как правило, хонингование является завершающей операцией при обработке точных отверстий. Обработка на хонинговальных станках производится с помощью мелкозернистых абразивных брусков, совершающих вращательное и возвратно-поступательное движения. Процесс хонингования характеризуется небольшим снимаемым припуском (0,03...0,15 мм), невысокой скоростью съе-

ма припуска в конце обработки (0,3...0,5 мкм за один ход хонинговальной головки), медленным износом режущих брусков и, как следствие, стабильностью. Из многочисленных приборов, разработанных для контроля размеров на хонинговальных станках, в промышленности чаще всего применяются жесткие калибры и пневматические бесконтактные и контактные устройства, встроенные в хонинговальную головку.

Широкое распространение получили устройства с *падающим калибр-пробкой*, расположенным непосредственно на корпусе хонинговальной головки над режущими брусками. Устройства могут применяться для контроля отверстий с гладкой и прерывистой поверхностью.

На штоке хонинговальной головки 2 (рис. 4.52) монтируют жесткий калибр-пробку 11, диаметр D_1 которого лежит в середине поля допуска на диаметр D отверстия обрабатываемой детали. Калибр-пробка должен быть подвижным относительно хонинговальной головки. Как правило (особенно при плавающем закреплении этой головки), он монтируется на двух упорных шарикоподшипниках 8 и 10, чаще всего специальных, и фиксируется в осевом направлении с помощью винтовой пружины 9. Жесткое центрирование калибра относительно хонинговальной головки недопустимо, он должен иметь возможность свободно переме-

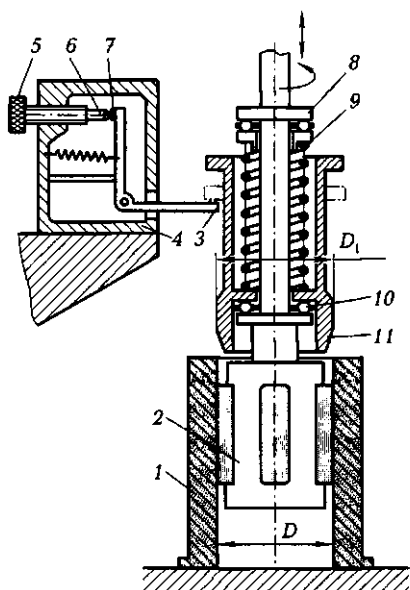


Рис. 4.52. Схема средства активного контроля для хонинговальных станков:

- 1 — обрабатываемая деталь; 2 — хон;
- 3 — рычаг; 4 — электроконтактный преобразователь; 5 — регулировочный винт;
- 6 и 7 — контакты; 8 и 10 — упорные шарикоподшипники; 9 — винтовая пружина;
- 11 — калибр-пробка

щаться в радиальном направлении. От вращения вместе с хонинговальной головкой калибр-пробка 11 удерживается с помощью имеющихся на его верхнем буртике выступов, зацепляющихся за втулку, закрепленную на станине станка.

Действие прибора основано на том, что при каждом ходе хона 2 вниз калибр-пробка 11 в конце хода под действием пружины 9 стремится войти в отверстие обрабатываемой детали 1. Для облегчения вхождения на конце калибра сделана фаска. Однако калибр не сможет войти в контролируемое отверстие до тех пор, пока диаметр отверстия не станет больше D_1 цилиндрического пояска. В начале обработки верхний буртик калибра не достаёт до рычага 3 электроконтактного преобразователя 4, установленного на станине станка. При достижении отверстием D требуемого размера калибр-пробка 11 под действием пружины 9 войдет своим рабочим пояском в это отверстие, верхний буртик калибра нажмет на рычаг 3 преобразователя и повернет его. Контакты 6 и 7 разомкнутся, в цепь управления станка поступит команда на прекращение обработки. Контакты 6 и 7 настраивают вращением винта 5. Для контроля диаметра изделий с гладкими отверстиями у цилиндрического пояска калибра предусмотрены пазы, пропускающие смазочно-охлаждающую жидкость.

Чтобы компенсировать износ калибра, рабочий поясок изготовляют в виде разрезной втулки, армированной твердым сплавом и снабженной винтом для регулирования размера калибра. Хорошие результаты этот прибор дает при контроле коротких отверстий. К его недостаткам следует отнести отсутствие возможности визуального наблюдения за ходом обработки, а также контроля по всей длине отверстия.

Жесткие калибры, расположенные на хонинговальной головке, применяют при хонинговании отверстий диаметром не менее 25 мм. Погрешность обработки при стабильном технологическом процессе составляет 0,01 ... 0,015 мм.

Средства активного контроля на токарных станках. В отличие от шлифовальных станков, на которых припуск на шлифование снимается постепенно, за большое число проходов, припуск на обработку при точении снимается, как правило, за один проход. Эта особенность технологического процесса токарной обработки накладывает на применяемые на токарных станках средства активного контроля особый отпечаток. В частности, отпадает необходимость (вследствие однопроходной обработки) измерения размеров в процессе обработки, так как у токарных станков обычно отсутствует исполнительный орган для подналадки инструмента.

К сложностям регулирования, обусловленным особенностями технологического процесса, добавляются трудности, связанные с неудобством измерений размеров на токарных станках. Большая шероховатость поверхности и высокая окружная скорость детали значительно затрудняют определение геометрических параметров в процессе токарной обработки. Наибольшими препятствиями для измерения являются обильная стружка и трудности ее отвода, создаваемые самим измерительным устройством, устанавливаемым непосредственно на станок. Требования к точности обработки деталей на токарных станках обычно не очень высоки, поэтому для этих станков применяются в основном **автоматические подналадочные устройства**, построенные по одному из двух основных вариантов:

1) измерение при изготовлении одной и той же детали в промежутке между предварительной и окончательной обработками и подача сигнала на подналадку перед окончательной обработкой;

2) измерение детали после ее обработки (обычно за пределами зоны обработки) и подналадка станка перед изготовлением следующей детали.

В обоих случаях на токарном станке предусматриваются специальные исполнительные органы для подналадки положения резца.

Первый вариант активного контроля применяется чаще на токарных станках с программным управлением, так как в них имеются устройства для осуществления поперечной подачи резца. Этот вариант используется и на обслуживаемых вручную токарных станках при обработке деталей большого диаметра (> 200 мм), причем в этом случае возможно значительное сокращение вспомогательного времени благодаря оснащению токарного станка цифровыми измерительными устройствами.

Второй вариант применяется на прецизионных и многошпиндельных токарных станках для компенсации износа резца и температурной деформации станка. В этом случае устройство активного контроля имеет структуру регулирующего контура с задержкой по времени цикла.

На наиболее распространенных токарных станках доминирующими являются косвенные методы контроля, позволяющие измерить или ограничить перемещение суппорта (жесткие упоры, регулируемые упоры, цифровые измерительные системы и др.).

Основной недостаток этих систем состоит в том, что они не фиксируют погрешности, появляющиеся вследствие неправильной настройки и износа токарного резца и температурной деформации станка.

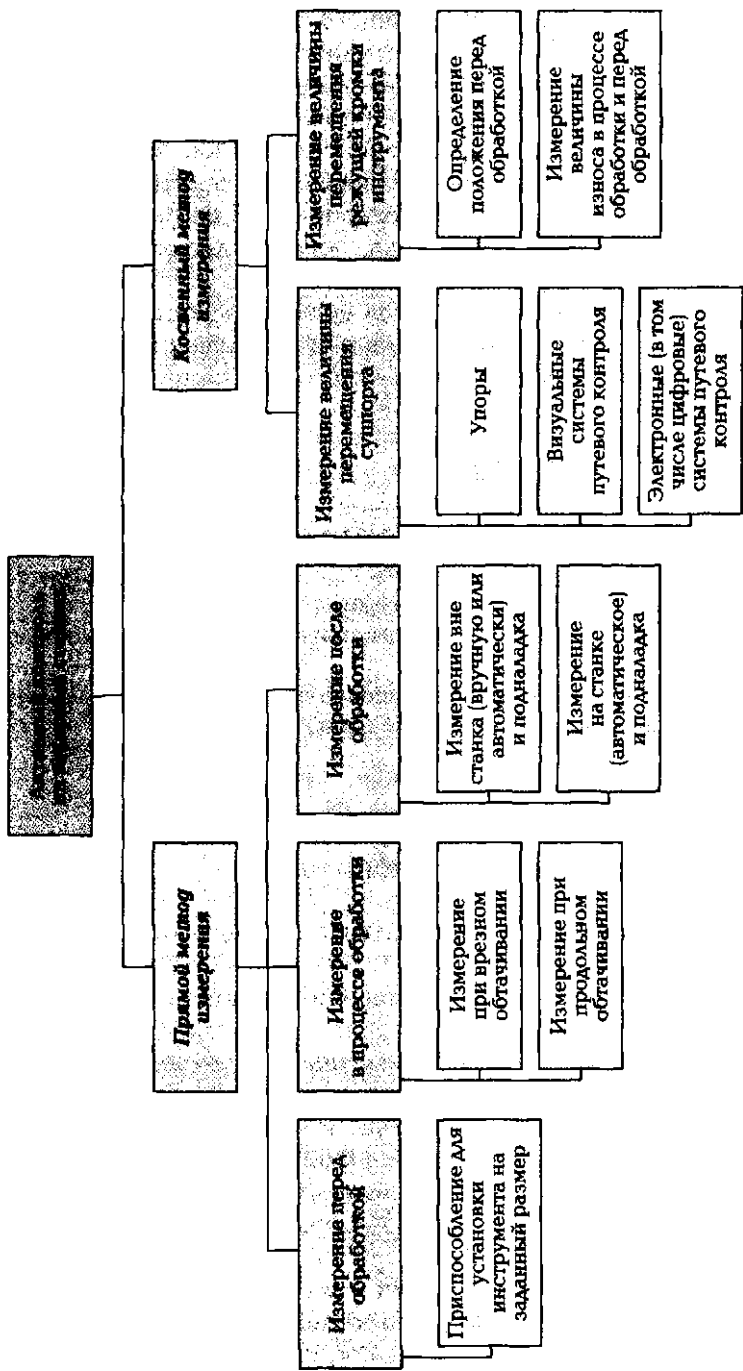


Рис. 4.53. Классификация основных методов активного контроля на токарных станках

В качестве особого случая активного контроля на токарных станках можно упомянуть о регулировании формы при обтачивании длинных валов. При этом измеряется диаметр детали во время обработки в сечении, ближайшем к токарному резцу. Отклонения от заданного значения, возникающие вследствие непараллельности направляющих станка и оси вращения, прогиба длинной обрабатываемой детали и износа токарного резца, регулируются путем *автоматической подналадки*, осуществляемой обычно с помощью специального исполнительного органа.

Классификация основных методов активного контроля на токарных станках путем осуществления непосредственного (прямого) измерения размера детали и косвенного измерения положения режущего инструмента приведена на рис. 4.53.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое средства активного контроля, из каких элементов они состоят и чем характеризуются?
2. В чем заключается принцип действия индуктивных и емкостных приборов?
3. Какие средства контроля наиболее применимы при шлифовании, хонинговании и токарной обработке?

4.4.9. Средства измерений и контроля волнистости и шероховатости

В подразд. 3.7 уже были представлены параметры волнистости и шероховатости поверхности (ГОСТ 2789—73, ГОСТ 25142—82). Здесь мы рассмотрим средства измерений, с помощью которых определяются эти параметры.

Измерение параметров волнистости и шероховатости поверхностей принадлежит к линейно-угловым измерениям. Определяемые величины здесь очень малы. На производстве измерения подлежат высоты неровностей от 0,025 мкм и шагов начиная с 2 мкм. Точность измерения этих величин, естественно, должна быть в несколько раз выше требуемой точности изготовления геометрических параметров деталей.

Большое значение шероховатости и волнистости поверхности деталей узлов и механизмов для эксплуатации обусловило возникновение разнообразных методов и средств оценки параметров

микронеровностей. На рис. 4.54 представлена классификация приборов для измерения этих параметров.

Наиболее простым методом контроля шероховатости поверхностей деталей в цеховых условиях является *метод сравнения с образцами визуально или на ощупь* (рис. 4.55).

Образцы в соответствии с межгосударственным стандартом ГОСТ 9378—93 «Образцы шероховатости поверхности (сравне-

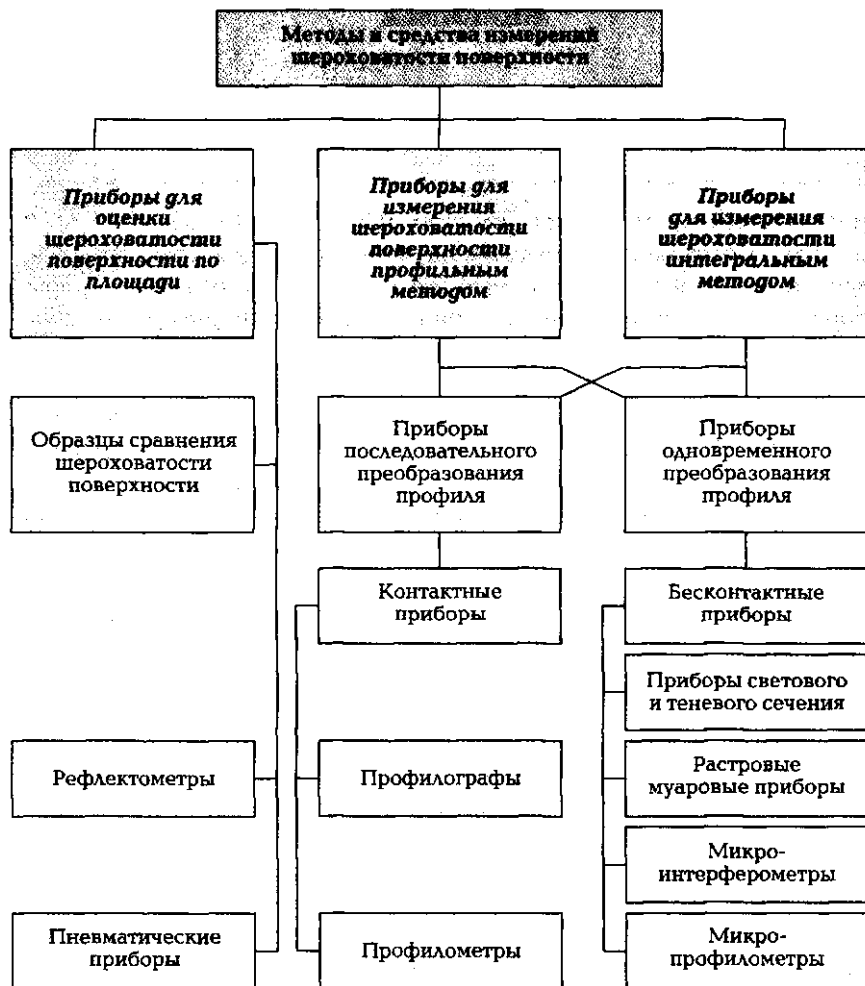


Рис. 4.54. Классификация приборов для измерения параметров шероховатости поверхности

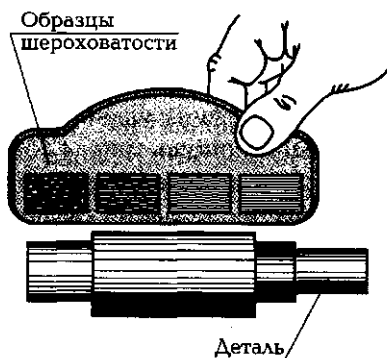


Рис. 4.55. Контроль шероховатости поверхности методом сравнения с образцами

ния). Общие технические условия» (ИСО 2632-1—85, ИСО 2632-2—85) изготавливаются из тех же материалов, что и контролируемые детали, и обрабатываются теми же методами. Кроме того, форма образцов и основное направление неровностей поверхности должны удовлетворять определенным требованиям. Для некоторых методов обработки эти требования представлены в табл. 4.16.

В стандарте установлены ряды номинальных параметров шероховатости Ra поверхности образца в зависимости от воспроизводимого метода обработки и базовой длины для их оценки. Так, для шлифования значения Ra варьируются от 0,050 до 3,2 мкм при базовой длине 0,25...2,5 мм, а для точения и расточки — соответственно от 0,4 до 12,5 мкм при базовой длине 0,8...2,5 мм; для полирования — 0,006...0,2 мкм и 0,08...0,8 мм. Ширина образцов сравнения — не менее 20 мм, длина 20...50 мм. Образцами могут быть и готовые детали.

Однако глазомерная оценка и оценка на ощупь субъективны и могут вызвать недоразумения. Особенно эти виды оценки затруднительны для точно обработанных деталей.

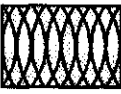
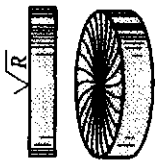
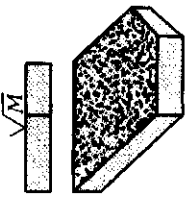
Для **количественного определения параметров неровностей** применимы бесконтактные и контактные методы измерения.

Наибольшее распространение из **бесконтактных методов** получили методы «светового сечения», теневой проекции, метод с применением растров, микроинтерференционные, рефлектометрические и др.

Рассмотрим один из них — «**метод светового сечения**», для которого применяются двойной микроскоп МИС-11, прибор ПСС-2, прибор теневой сечения ПК-1 и другие устройства. Принципи-

Таблица 4.16. Методы обработки, воспроизводимые при изготовлении образцов, форма образца и основное направление неровностей его поверхности

| Метод обработки | Форма образца | Расположение неровностей | | |
|-----------------------------|---|--------------------------|----------------------|---|
| | | Описание | Условное изображение | Вид поверхности и условное изображение на чертеже |
| Точение | Цилиндрическая выпуклая | Прямолинейное | | |
| Расточка | Цилиндрическая вогнутая | | | |
| Цилиндрическое фрезерование | Плоская | | | |
| Строгание | » | Дугообразное | | |
| Шлифование периферией круга | Плоская, цилиндрическая выпуклая, цилиндрическая вогнутая | | | |
| Торцевое точение | Плоская | Дугообразное | | |
| Торцевое фрезерование | » | | | |

| Метод обработки | Форма образца | Расположение неровностей | | | Вид поверхности и условное изображение на чертеже |
|--|----------------------------------|---|---|---|---|
| | | Описание | Условное изображение | | |
| Торцевое фрезерование | Плоская | Перекрещивающиеся дугообразное |  |  | |
| Торцевое шлифование | » | | | | |
| Шлифование чашеобразным кругом | » | | | | |
| Электроэрозионная обработка | Плоская | Не имеющее определенного направления штриха | — |  | |
| Дробеструйная, пескоструйная обработка | » | | | | |
| Полирование | Плоская, цилиндрическая выпуклая | Путаный штрих | — | — | |

альная схема этого метода приведена на рис. 4.56, а. Освещенная узкая щель проецируется микроскопом на ступенчатую поверхность $P_1 P_2$. При падении света в направлении, указанном стрелками, изображение светящейся щели на ступенчатой поверхности займет положение S_2 на нижней части поверхности P_2 и положение S_1 — на верхней части поверхности P_1 . В поле зрения микроскопа наблюдения, расположенного под углом 90° к оси проецирующего микроскопа, изображение щели будет иметь вид, показанный на рис. 4.56, б, т. е. в данном случае будет видна не высота ступени H , измеряемая по нормальным к поверхностям P_1 и P_2 , а ее проекция h , которая определяется с помощью винтового окулярного микрометра.

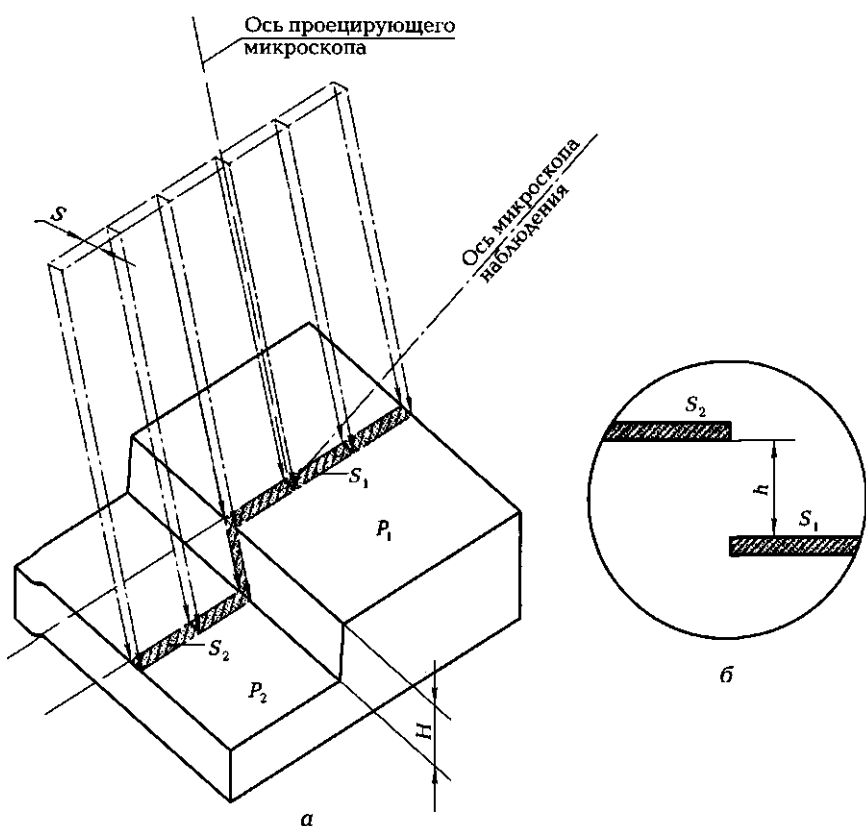


Рис. 4.56. Схема метода «светового сечения»:

а — принципиальная схема; б — изображение в окуляре

Оптическая схема двойного микроскопа МИС-11 представлена на рис. 4.57. Пучок света от осветительного устройства 8 через конденсор 7 и узкую щель диафрагмы 6 проходит в систему линз 5 и 4, проецирующую изображение щели на исследуемую поверхность 3. Полученное отраженное от этой поверхности изображение проецируется объективом 2 микроскопа наблюдения (визуального) на сетку окулярного микрометра 1, которым выполняется измерение высоты неровностей.

Средства измерений, реализующие метод светового сечения, позволяют измерять неровности поверхности высотой от 0,8 до 63 мкм с допустимыми погрешностями показаний по норме 24 и 7,5% соответственно.

Основным профильным методом измерения параметров микронеровностей поверхности является **контактный (щуповой) метод**. Его сущность заключается в том, что остро заточенная игла, имеющая контакт с исследуемой поверхностью, поступательно перемещается по определенной трассе относительно поверхности (рис. 4.58, а). Ось иглы 2 располагают по нормали к поверхности 3. Опускаясь во впадины поверхности, поднимаясь на ее вы-

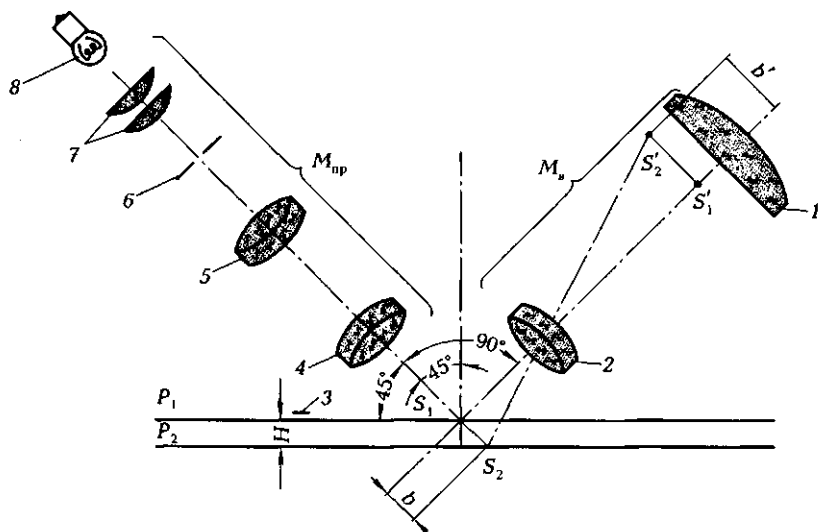


Рис. 4.57. Оптическая схема микроскопа МИС-11:

1 — окулярный микрометр; 2 — объектив микроскопа наблюдения; 3 — контролируемая поверхность; 4 и 5 — линзы; 6 — диафрагма; 7 — конденсор; 8 — осветительное устройство

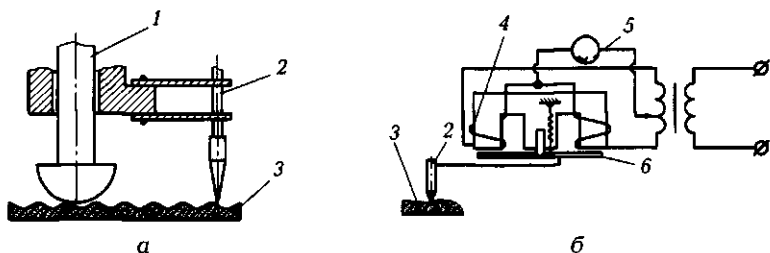


Рис. 4.58. Схемы измерения параметров шероховатости:

- а — схема профильного метода измерения параметров шероховатости;
 б — схема профилометра с индуктивным преобразователем; 1 — ошупывающая головка; 2 — игла; 3 — исследуемая поверхность; 4 — катушка;
 5 — генератор звуковой частоты; 6 — якорь

ступы во время движения ошупывающей головки 1, игла начинает колебаться относительно головки, повторяя по величине и форме огибаемый профиль поверхности.

Механические колебания иглы преобразуются, как правило, в электрические колебания с помощью электромеханического преобразователя того или иного типа. Снятый с преобразователя сигнал после преобразования поступает либо на шкалу прибора (при профилометрировании), либо на записывающий прибор с соответствующим горизонтальным и вертикальным масштабам (при профилографировании). Щуповые электромеханические приборы, предназначенные для измерения параметров шероховатости поверхности, называются **профилометрами**, а приборы для записи микронеровностей — **профилографами**. Комбинированные приборы, которые позволяют количественно определять и графически изображать микронеровности, называются **профилометрами-профилографами**.

В зависимости от назначения установлены следующие типы профилометров-профилографов: I — для лабораторных работ (стационарные), II — цеховые стационарно-переносные для контроля окончательно обработанных поверхностей, III — цеховые портативные, предназначенные для межоперационного контроля.

Преимущественное распространение получили профилометры и профилографы с индуктивным преобразователем. Это приборы моделей 130, 201, 202, 240, 252 отечественного завода «Калибр», «Телисарф-4» (Великобритания), «Профикордер» (США) «Сейтроник», «Марсуфт» и др.

В соответствии со схемой, приведенной на рис. 4.58, б, движение алмазной иглы 2 по микронеровностям в вертикальной плоскости вызывает соответствующее перемещение якоря б в индуктивной ощупывающей головке, а вместе с тем и изменение воздушных зазоров между якорем б и двумя расположенными по обеим сторонам оси его качения катушками 4. К одной из катушек якорь приближается, что увеличивает ее индуктивность, а от другой он в то же время удаляется, что уменьшает ее индуктивность. Катушки и две половины первичной обмотки дифференциального входного трансформатора образуют мост, питание которого осуществляется от генератора 5 звуковой частоты (≈ 5 кГц). Одновременное, но противоположное изменение индуктивности катушек соответственно изменяет напряжение в измерительной диагонали моста, которое связано с перемещением ощупывающей иглы при ее механических колебаниях.

На рис. 4.59 изображен профилометр-профилограф модели 170311 завода «Калибр» блочной конструкции лабораторного типа. Он предназначен для измерения параметров шероховатости и волнистости плоских и цилиндрических поверхностей изделий, поверхностей шариков и роликов диаметром 1...25 мм, поверхностей отверстий малых диаметров (до 3 мм). Прибор имеет выход на ЭВМ. Измерение шероховатости производится путем ощупывания поверхности алмазной иглой с радиусом при вершине 10 мкм и фиксацией цифровых показаний на табло по параметрам

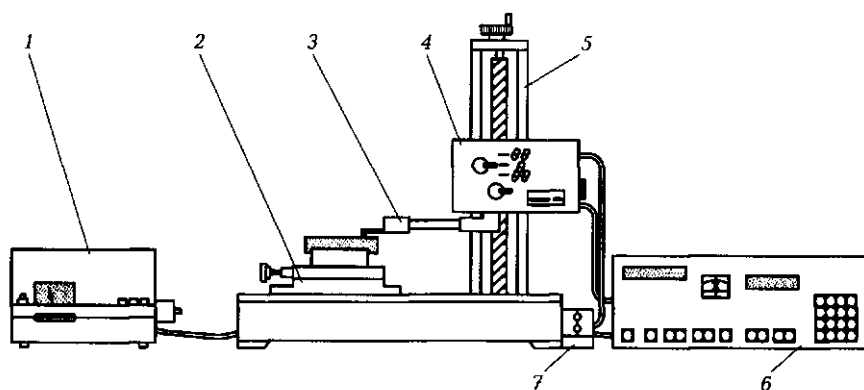


Рис. 4.59. Профилометр-профилограф модели 170311 завода «Калибр»:

1 — записывающий прибор; 2 — предметный столик; 3 — датчик; 4 — моторпривод; 5 — стойка; 6 — электронный блок; 7 — блок-приставка

R_a , R_z , R_{\max} , R_p , S_m , t_p или воспроизведения профиля на электротермической бумаге в прямоугольных координатах.

Вертикальное увеличение микропрофиля варьируется по 11 ступеням в 100—200 000 крат, а горизонтальное — в 0,5—2000 крат. Скорость трассирования датчика выбирается в зависимости от шероховатости в пределах 0,6...60 мм/мин. Статическое измерительное усилие алмазной иглы на измеряемую поверхность не превышает 0,003 Н. Погрешность показаний прибора по записывающему блоку составляет $\pm 4,5\%$, а по показывающему блоку $\pm 10\%$.

Профилометр-профилограф состоит из следующих основных блоков: датчика 3, мотопривода 4, электронного блока 6, записывающего прибора 1, стойки 5, предметного столика 2, блока-приставки 7.

Волнистость поверхности с шагами, большими 2,5 мм, а также неровности поверхности в отверстиях диаметром от 4 мм при глубине до 10 мм записывают и измеряют с помощью приспособления для проверки волнистости (рис. 4.60), которое применяется в комплекте с обычным датчиком.

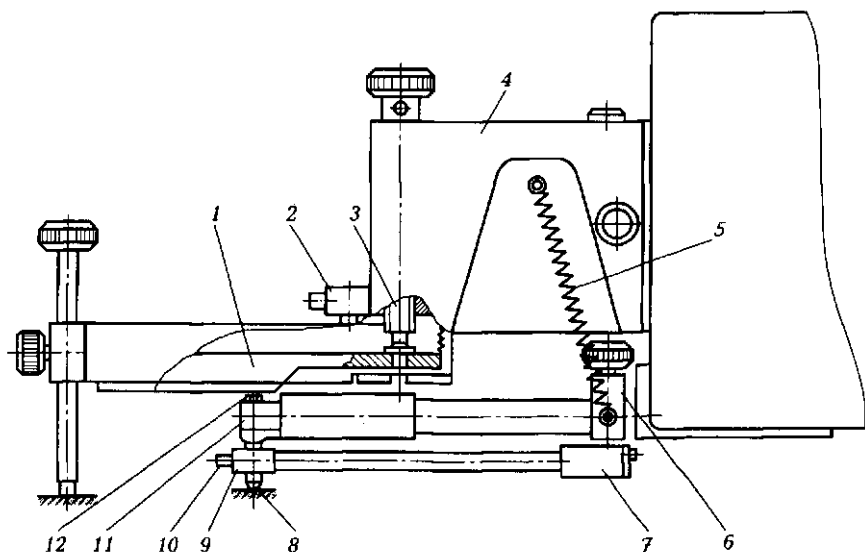


Рис. 4.60. Приспособление для измерения волнистости поверхности:

1 — коромысло; 2 — пятка; 3 — микровинт; 4 — корпус; 5 — спиральные пружины; 6 — хомут; 7 — подвес; 8 — щуп; 9 — переходник; 10 и 12 — винты; 11 — опора

Корпус 4 приспособления устанавливается на направляющую мотопривода. К подвесу 7 на пружине 5 крепится коромысло 1, имеющее доведенную опорную плоскость, на которой перемещается сферический винт 12 опоры 11.

Пятка 2 коромысла 1 опирается на микровинт 3, предназначенный для регулирования положения опорной плоскости, выставленной параллельно исследуемой поверхности.

Подвес 7 с помощью хомута 6 размещается на корпусе датчика. На переднем конце подвеса 7 закреплен переходник 9 с доведенной верхней плоскостью, находящейся непосредственно под иглой датчика. В отверстие переходника вставляют щуп 8 с закрепленным концом, который фиксируют в наконечнике винтом 10.

Контакт сферической поверхности винта 12 с опорной плоскостью опоры 11 обеспечивается двумя спиральными пружинами, надеваемыми на штифты подвеса и корпуса.

С помощью такого устройства определяются параметры волнистости — высота волнистости W_z , наибольшая высота волнистости W_{\max} и средний шаг волнистости.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие методы контроля шероховатости и волнистости применяются в промышленности?
2. В чем заключается принцип метода «светового сечения» и в каких приборах он применяется?
3. Охарактеризуйте принцип контактного (щупового) метода.
4. В чем состоит отличие профилометра от профилометра-профилографа?

4.4.10. Выбор средств измерений и контроля

Правильный выбор средств измерений и контроля обеспечивает получение достоверной информации об измеряемом объекте (а это гарантия качества изготавливаемых изделий) и позволяет оптимизировать затраты производства на контрольные операции.

Выбор средств измерений и контроля зависит от целого ряда факторов, таких как масштаб производства, организационно-технические формы контроля, принятые на производстве, конструктивные особенности объекта измерения и контроля, эконо-

мические и другие факторы. Р 50-609-39-01 определяет, что при выборе средств измерений и контроля должны учитываться:

- вид объекта контроля (деталь, сборочная единица и технологический процесс);
- вид контроля (сплошной, выборочный и др.);
- входной уровень дефектности контролируемой продукции;
- вероятность обнаружения брака на последующих этапах технологического процесса;
- вид контролируемого признака (геометрический размер, физический параметр и др.);
- номинальные значения и допуски контролируемых параметров;
- допускаемая погрешность измерения;
- конструктивные особенности объекта контроля (конфигурация, доступность и др.);
- транспортабельность средства и объекта контроля;
- производительность технического контроля;
- наличие средств контроля на предприятии;
- стоимость средств контроля;
- квалификация исполнителя контроля;
- целесообразность проектирования специальных средств контроля;
- дополнительные условия и характеристики.

Масштаб (объем) производства определяет вид средства измерений и контроля, необходимую производительность измерения и контроля, а следовательно, уровень его автоматизации или механизации.

Так, в индивидуальном и мелкосерийном производстве номенклатура выпускаемых изделий достаточно широкая, объем выпуска небольшой и часто изменяемый. Качество изделий зависит в основном от индивидуальных навыков и квалификации операторов и не гарантируется ходом технологического процесса. Поэтому в таком производстве особенно необходим тщательный пооперационный контроль изготавливаемых изделий, возможный при наличии соответствующих средств. Контролеры, занимающиеся таким видом деятельности, должны иметь достаточно высокую квалификацию.

При индивидуальном производстве, как правило, не проектируется специальная контрольно-измерительная оснастка, что объяс-

няется не только экономической нецелесообразностью, но и невозможностью задерживать изготовление изделий на длительные сроки, необходимые для проектирования, изготовления и отладки специальных средств измерений и контроля.

При серийном производстве, как правило, изготавливают взаимозаменяемые детали, узлы и изделия, номенклатура которых не меняется в течение продолжительного времени. Однородность качества деталей достигается применением специализированного оборудования, инструмента и оснастки, которые чаще всего бывают выполнены в виде сменных приспособлений и устройств к универсальным станкам. Работу ведут по отработанной технологии, поэтому пооперационный контроль необязателен. Контрольные операции выполняют после нескольких операций или по окончании изготовления деталей с помощью универсальных измерительных средств, специализированных контрольных приспособлений, жестких предельных калибров и шаблонов.

При массовом производстве номенклатура изделий постоянна: в больших количествах в течение длительного времени изготавливаются взаимозаменяемые детали, узлы и изделия. Высокое качество изделий обеспечивается отработанной технологией, применением специализированного оборудования, приспособлений и инструмента, а также введением контрольных операций, являющихся обязательной составной частью единого технологического процесса. В таком производстве широко используют высокопроизводительные механизированные и автоматические контрольно-измерительные средства. Применение контрольных автоматов должно быть экономически обосновано, так как их стоимость высока и для обслуживания требуются квалифицированные наладчики. Эти автоматы особенно эффективны при контроле деталей простой геометрической формы, небольшой массы, с малым числом контролируемых параметров и в особенности при многодиапазонной сортировке и селективной сборке.

Активные средства контроля целесообразно применять как в массовом, так и в серийном производстве.

Универсальные средства измерений и контроля в массовом производстве имеют ограниченное применение. Их используют преимущественно при наладке технологической оснастки.

С позиций организационно-технических форм контроля различают:

- **100%-ный контроль**, который назначается при сортировке деталей на размерные группы и применении селективной сборки, а также при измерении функцио-

нальных параметров, определяющих эксплуатационные показатели изделия в целом. В этих случаях в массовом производстве назначают специальные контрольно-сортировочные автоматы и устройства, а в индивидуальном и мелкосерийном — универсальные (реже специализированные) средства измерений с достаточно высокой точностью измерения;

- **выборочный контроль**, при котором устанавливают объем выборки в зависимости от стабильности технологического процесса, совокупности контролируемых признаков, задач и целей контрольных операций. При этом виде контроля назначают как специальные, так и универсальные средства измерений с допустимой погрешностью измерений;
- **статистический метод выборочного контроля**, применяемый для приемки готовых изделий (приемочный контроль) и для управления точностью в процессе производства (управляющий контроль). В первом случае выбор средств измерений во многом зависит от объема производства, точностных показателей процесса измерения, конструктивных особенностей объекта измерения, экономических и других факторов. Для управляющего контроля в условиях массового производства применяют различные средства автоматизации измерения, в том числе средства активного контроля, управляющие системы различного уровня.

Конструктивная форма, число контролируемых параметров, габаритные размеры и масса деталей также влияют на выбор средства измерений. Так, детали больших габаритных размеров и массы измеряют и контролируют переносными средствами измерений и контроля. При большом числе контролируемых параметров рекомендуется применять многомерные средства измерений и контроля.

При выборе средства измерений необходимо учитывать материал контролируемой детали, жесткость ее конструкции и шероховатость поверхности с позиций повреждаемости объекта измерения. Измерение тонкостенных деталей и деталей из легких сплавов и пластмасс следует выполнять бесконтактным методом или измерительными средствами с малыми измерительными усилиями.

Рассмотрим подробнее один из наиболее важных показателей выбора средств измерений и контроля — погрешность измерения.

Погрешность измерения в соответствии с РМГ 29—2013 — это разность между измеренным значением величины и опорным значением величины.

Опорное значение (величины) — значение величины, которое используют в качестве основы для сопоставления со значениями величин того же рода.

Необходимо отметить, что опорное значение величины может быть *истинным* значением величины, подлежащей измерению, в этом случае оно неизвестно, или *принятым* значением величины, в этом случае оно известно.

Опорное значение величины со связанной с ним неопределенностью (погрешностью) измерений обычно приводят:

- для материала, например, аттестованного стандартного образца;
- устройства, например, стабилизированного лазера;
- референтной методики измерений;
- сличения эталонов.

Точность средства измерений — качество средства измерений, отражающее близость к нулю его погрешности. Считается, что чем меньше погрешность, тем точнее средство измерений.

Погрешность зависит в основном от ряда причин, создающих суммарный эффект. Таких причин в зависимости от применяемого метода, объекта измерения и условий измерения может быть очень много, но не все они в одинаковой мере оказывают влияние на общую погрешность измерения (см. подразд. 4.1). В общем случае на погрешность измерения оказывают влияние следующие факторы:

- установка объекта измерения в средство измерений или установка измерительного средства на объект измерения (Δ_{κ});
- измерительное устройство и передаточные элементы при нормированных условиях ($\Delta_{и.у}$);
- установочные меры, используемые для настройки измерительных средств ($\Delta_{м}$);
- температурные колебания, возникающие от комплекса причин, обобщенных понятием «температурный режим» (Δ_{t});
- упругие деформации от воздействия усилий закрепления объекта измерения в средстве измерений и колебания измерительных усилий средств измерений ($\Delta_{\kappa.к}$);
- нарушение первичной настройки измерительных средств ($\Delta_{н}$);

- наличие шероховатости измеряемой поверхности ($\Delta_{ш}$);
- конструктивные особенности измерительных средств;
- субъективные погрешности, зависящие от оператора, и др.

Оценка погрешности измерения должна выполняться комплексно, с учетом самой погрешности измерения и условий измерений, при которых она должна проявиться.

Точность показаний средства измерений определяется суммарной погрешностью, составляющими которой являются систематические и случайные погрешности. Составляющие суммарной погрешности могут быть найдены по справочным данным или экспериментальным путем. Суммарную погрешность измерения определяют по формуле

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{\Delta_{к}^2 + \Delta_{и.у}^2 + \Delta_{м}^2 + \Delta_{t}^2 + \Delta_{к.к}^2 + \Delta_{ш}^2 + \Delta_{н}^2}.$$

Суммарная погрешность может составлять 8...30 % допуска контролируемого параметра. Ее величина зависит от назначения изделия и может быть равна: для ответственных изделий 8 %, для менее ответственных 12,5 и 20, для остальных 25...30 %. Средство измерений выбирают исходя из допустимой погрешности измерения $[\Delta]$ и расчетной суммарной погрешности Δ_{Σ} .

Допустимые погрешности измерения регламентированы ГОСТ 8.051—81 «Государственная система обеспечения единства измерений. Погрешности, допускаемые при измерении линейных размеров до 500 мм» в зависимости от номинальных размеров и допусков на изготовление измеряемого параметра. Допустимые погрешности измерения приняты равными:

для грубых допусков $[\Delta] = 0,2T$;

для остальных допусков $[\Delta] = 0,35T$,

где T — допуск контролируемого параметра, задаваемый конструктором.

Условие правильности выбора средства измерений

$$\Delta_{\Sigma} \leq [\Delta].$$

Если это условие не выполняется, нужно либо пересмотреть составляющие суммарной погрешности измерения и принять меры к их снижению, либо предусмотреть замену средства измерений или его элементов.

Экономические показатели выбора средств измерений занимают важное место в процедуре выбора и его обоснования. К ним относятся стоимость средства измерений, продолжительность его работы до ремонта, срок окупаемости, время настройки и время, затраченное на измерение, квалификация оператора и др.

4.4.11. Поверка средств измерений

Федеральным законом от 18.07.2011 № 242-ФЗ «Об обеспечении единства измерений» установлена сфера действия государственного метрологического контроля и надзора, согласно которому средства измерений, эксплуатируемые в сферах действия государственного метрологического контроля и надзора, подлежат обязательной поверке. Средства измерений, не подлежащие обязательной поверке, подвергаются калибровке.

Поверка — совокупность операций, выполняемых в целях подтверждения соответствия средства измерений метрологическим требованиям.

Калибровка средств измерений — совокупность операций, выполняемых в целях определения действительных значений метрологических характеристик средств измерений.

Если поверка является обязательной операцией, контролируемой органами Государственной метрологической службы, то калибровка — это добровольная функция, выполняемая либо метрологической службой предприятия, либо по его заявке любой другой организацией, способной выполнить такую работу.

Под *пригодностью средства измерений к применению* понимается его способность измерять с требуемой точностью в реальных условиях эксплуатации, погрешность средства измерений в реальных условиях применения определяется всем комплексом нормированных метрологических характеристик для данного средства измерений. Средство измерений только тогда признается пригодным, когда весь комплекс его метрологических характеристик удовлетворяет предъявленным к ним требованиям.

Средства измерений, предназначенные для применения в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, до ввода в эксплуатацию, а также после ремонта подлежат первичной поверке, а в процессе эксплуатации — периодической поверке. Юридические лица и индивидуальные предприниматели, применяющие средства измерений в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, обязаны своевременно представлять их на поверку.

Поверку средств измерений осуществляют аккредитованные в установленном порядке в области обеспечения единства измерений юридические лица и индивидуальные предприниматели.

Результаты поверки средства измерений удостоверяются знаком поверки и (или) свидетельством о поверке. Конструкция средства измерений должна обеспечивать возможность нанесе-

ния знака поверки в месте, доступном для просмотра. Если особенности конструкции или условия эксплуатации средства измерений не позволяют нанести знак поверки непосредственно на средство измерений, он наносится на свидетельство о поверке.

Порядок проведения поверки средств измерений, требования к знаку поверки и содержанию свидетельства о поверке устанавливаются федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по выработке государственной политики и нормативно-правовому регулированию в области обеспечения единства измерений. Сведения о результатах поверки средств измерений, предназначенных для применения в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, передаются в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений лицами, проводящими поверку средств измерений.

Средства измерений, не предназначенные для применения в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, могут подвергаться поверке в добровольном порядке. Требования к организации и порядку проведения поверки средств измерений установлены правилами по метрологии ГР 50.2.006-99 «ГСИ. Порядок проведения поверки средств измерений». Различают следующие **виды поверок**:

- первичная;
- периодическая;
- внеочередная;
- инспекционная;
- экспертная.

Первичная поверка проводится до ввода в эксплуатацию, а также после ремонта.

Периодическая поверка проводится в процессе эксплуатации.

Внеочередная поверка проводится вне зависимости от срока периодической поверки:

- при вводе в эксплуатацию средства измерений после длительного хранения (более одного межповерочного интервала);
- в случае повреждения клейма или утери свидетельства о поверке.

Инспекционная поверка производится для выявления пригодности к применению средства измерений при осуществлении государственного метрологического надзора.

Экспертная поверка проводится при возникновении разногласия по вопросам, относящимся к метрологическим характеристикам средства измерений.

4.5. УСЛОВИЯ ИЗМЕРЕНИЙ И КОНТРОЛЯ

В этом подразделе мы рассмотрим ряд вопросов, связанных с условиями, в которых выполняются измерения и контроль объектов, и их влиянием на погрешность измерения. Ведь каждое измерение выполняется в конкретных условиях, которые в свою очередь характеризуются одной, а чаще несколькими величинами. Это температура и влажность окружающей среды, давление и плотность, ускорение свободного падения и т. п. Все эти величины носят название **внешних влияющих величин**. Они часто оказывают существенное влияние на выбор средств измерений, контролируемый объект и на саму измеряемую величину.

Например, при измерении длины детали штриховыми средствами измерений (линейкой, рулеткой) немаловажное значение имеют температура окружающего воздуха, освещенность поверхности детали и линейки или рулетки. А если эта деталь изготовлена из определенных видов пластмасс, то имеет значение и влажность воздуха. Конечно, наиболее существенной влияющей величиной в данном примере является температура, так как любое изменение температуры окружающего воздуха приводит к изменению длины детали и длины линейки. И чем больше будет это изменение, тем более существенно исказятся результаты измерения.

Освещенность детали и шкалы линейки также влияет на результат измерений: при слабой освещенности оператор не сможет определить, совмещаются ли концы детали со штрихом линейки.

Поэтому вопросам нормирования условий проведения измерений и контроля уделяется серьезное внимание.

В ГОСТ 21964—76 «Внешние воздействующие факторы. Номенклатура и характеристики» все внешние воздействующие факторы подразделяются следующим образом:

климатические (температура, атмосферное давление, относительное давление, относительная влажность окружающей среды, ветер, туман, пыль, солнечное излучение);

электромагнитные (колебание напряжения, частота переменного электрического тока в сети, постоянные и переменные магнитные поля, электромагнитная совместимость и др.);

ионизирующие излучения естественного и искусственного происхождения;

механические (колебания, удары, линейные ускорения, механическое давление, сила и т. п.);

термические (тепловой удар, аэродинамический нагрев и т. п.);

специальные среды (кислотно-щелочные, отравляющих веществ, топлива и т. п.).

Для обеспечения единства измерений к условиям их проведения предъявляются жесткие требования. Для средств измерений конкретного типа в нормативных документах или по результатам их поверки (калибровки) устанавливаются единые **нормальные условия измерений**, т.е. это условия измерений, предписанные для оценивания характеристик средства измерений или измерительной системы или для сравнения результатов измерений. Значение величины, соответствующее нормальным условиям, называют **нормальным значением влияющей величины**, и оно принимается за номинальное.

Далее приведены номинальные значения широко распространенных влияющих величин, в том числе для линейно-угловых измерений.

Номинальные значения влияющих величин

| | |
|--|---|
| Температура для всех видов измерений, °С (К) | 20 (293) |
| Давление воздуха для линейных, угловых измерений, измерений массы, силы света, измерений в спектроскопии, кПа (мм рт. ст.) | 101,3 (760) |
| Относительная влажность воздуха для линейных, угловых измерений, измерений массы, измерений в спектроскопии, % | 58 |
| Плотность воздуха, кг/м ³ | 1,2 |
| Ускорение свободного падения, м/с ² | 9,8 |
| Магнитная индукция (напряженность магнитного поля) и напряженность электростатического поля для измерений параметров движения, магнитных и электрических величин | 0 |
| То же, для всех видов измерений, кроме указанных в предыдущем пункте | Соответствует характеристикам поля Земли в данном географическом районе |
| Относительная скорость движения внешней среды | 0 |

Однако при выполнении измерений бывает трудно и даже порой невозможно поддерживать установленные номинальные значения влияющих величин, поэтому определяют пределы возможных изменений для каждой влияющей величины. Эти пределы называют **нормальной областью значений влияющей величины**. Другими словами, нормальные условия измерений характеризуются

нормальной областью значений влияющих величин. Нормальные условия измерений устанавливаются в нормативных документах на СИ конкретного типа или при их поверке (калибровке).

Нормальные условия относятся к условиям измерений, при которых установленная *инструментальная неопределенность* или *погрешность* будет наименьшей.

При установлении нормальных условий приводится также область значений измеряемой величины.

Например, нормальная область значений температуры при линейных измерениях в зависимости от уровня точности и диапазона размеров не должна изменяться более чем на $\pm 0,1$ °С от установленной температуры +20 °С для точных качеств и ± 4 °С от установленной температуры +20 °С для грубых качеств, а для угловых измерений эта величина не должна превышать $\pm 3,5$ °С, т.е. нормальная область значений влияющей величины — температуры — должна находиться в диапазонах +19,9...+20,1 °С; +16...+24 °С и +16,5...+23,5 °С.

Аналогично устанавливаются нормальные области значений других влияющих величин.

В соответствии с ГОСТ 8.050—73 «Государственная система обеспечения единства измерений. Нормальные условия выполнения линейных и угловых измерений» требования к нормальным условиям зависят от допусков на измеряемую величину и требований к допустимой погрешности измерений.

При подготовке к измерениям необходимо установить **рабочее пространство** — часть пространства (окружающего средство измерений и объект измерений), в котором нормальная область значений влияющих величин находится в известных пределах. Если рабочее пространство не установлено, нормальные условия измерений обеспечиваются во всем помещении, где они выполняются.

Для обеспечения нормальных условий измерений стандарт устанавливает время выдержки объектов измерения (контроля) и средств измерений до начала измерений в условиях, соответствующих определенным требованиям, в течение 2...36 ч в зависимости от массы объекта измерения и требуемой точности измерения.

В машиностроении при точных измерениях для обеспечения нормальных условий применяются специальные средства защиты от воздействия влияющих величин. Так, влияние температуры исключают путем термостатирования — обеспечения определенной температуры в рабочем пространстве. Термостатировать можно

средства измерений, производственные помещения (цехи, лаборатории), камеры.

В целях устранения вибраций и сотрясений применяют амортизаторы — эластичные подвесы (струны, пружины и т. п.), губчатую резину и т. д.

Средством защиты от влияния магнитного поля Земли служат краны из магнитомягких материалов.

Для уменьшения влияния на результат измерения атмосферного давления применяют барокамеры.

Как уже отмечалось, учесть действие влияющих величин в совокупности сложно, а иногда и невозможно. ГОСТ 8.050—73 рекомендует учитывать это действие с помощью дополнительной погрешности или изменения показаний средств измерений. Для этого устанавливается **рабочая область значений влияющей величины** — область, в пределах которой нормируют дополнительную погрешность или изменение показаний средства измерений.

При выполнении измерений в сложных условиях, например при высокой и низкой температурах, определенной влажности, в агрессивных средах, обеспечить нормальные условия измерений невозможно. В таких ситуациях устанавливают особые, менее жесткие, чем обычно, условия выполнения измерений, называемые **рабочими условиями**. Это такие условия, при которых значения влияющих величин находятся в пределах рабочей области. Например, для измерительного конденсатора нормируют дополнительную погрешность, учитывающую отклонение температуры окружающего воздуха от нормальной.

При проектировании средств измерений и контроля определяются так называемые **предельные условия измерения**. Это условия измерений, характеризуемые экстремальными значениями измеряемой и влияющих величин, которые средство измерений может выдержать без разрушений и ухудшения его метрологических характеристик.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. С какой целью нормируются условия измерений и контроля?
2. С какими внешними воздействующими факторами встречаются при линейно-угловых измерениях?
3. Что такое нормальные условия измерений?
4. Какие номинальные значения влияющих величин установлены для линейно-угловых измерений?
5. Какие специальные средства защиты от воздействия влияющих величин применимы в машиностроении?

4.6. ПРАВОВЫЕ ОСНОВЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

4.6.1. Российская система измерений

Российская система измерений является эффективным инструментом обеспечения оценки качества продукции и услуг через нормативную правовую базу, метрологическое обеспечение производства и испытания. В ее основе лежат следующие аспекты:

- научные — метрология, со своими постулатами;
- нормативные — законы, подзаконные акты, стандарты по метрологии и производству измерительной техники;
- технические — средства измерений соответствующего качества (испытанные и исследованные);
- организационные — Государственная метрологическая служба и метрологические службы юридических и физических лиц.

Российская система измерений представляет собой организационные и функциональные объединения участников, проводящих измерения, и потребителей измерительной информации.

В Российскую систему измерений входят органы и службы, обеспечивающие единство измерений, разработчики, производители (поставщики) и пользователи средств измерений, действующие в соответствии с российским законодательством.

Основной целью российской системы измерений является содействие экономическому и социальному развитию общества путем защиты от неверных результатов измерений на основе конституционных норм, законов РФ, постановлений Правительства РФ и национальных стандартов.

Важнейшей задачей российской системы измерений для достижения этой цели является проведение единой технической политики по обеспечению единства измерений в масштабах всей страны, влияющих на уровень жизни и благосостояние граждан, на экономику и производство, правопорядок, безопасность, экологию, науку и технику, обороноспособность, а также на международное сотрудничество.

Исходными предпосылками формирования и развития Российской системы измерений в современных условиях являются следующие положения:

- переход РФ на рыночные экономические отношения;
- признание целесообразности сохранения и управления хозяйственными, торговыми и научно-техническими отношениями и интеграции со странами СНГ, необходимость проведения с ними согласованной политики в области метрологии;
- признание необходимости интеграции экономики страны с европейской и мировой экономикой.

Обеспечение единства измерений было и остается важнейшей государственной функцией. До официального введения государственной системы обеспечения единства измерений метрологическая практика была ограничена основным, единственным объектом деятельности — средствами измерений (мерами и измерительными приборами). Создание Российской системы измерений было вызвано тем, что поддержание высокой точности средств измерений не гарантировало достижения требуемой точности результатов измерений.

Стремление России интегрироваться в мировое экономическое сообщество в области метрологии выдвигало введение новых форм организации метрологической деятельности, одной из которых является добровольная сертификация и калибровка средств измерений.

С 1 июля 2003 г. вступил в силу Федеральный закон «О техническом регулировании», который создал новый технический правовой механизм в России, обеспечивающий разработку, принятие, применение, исполнение обязательных требований (технических регламентов) и добровольных правил (стандартов) в отношении продукции на всех фазах жизненного цикла изделий, производственных процессов, работ и услуг.

Достижение целей технического регулирования, контроль за соблюдением требований, устанавливаемых техническими регламентами, не могут быть обеспечены без проведения испытаний и измерений в соответствии с положениями законодательной метрологии. Согласно ст. 7, п. 11 Федерального закона РФ «О техническом регулировании» «... со дня вступления в силу технического регламента утверждается в соответствии с требованиями законодательства РФ в области обеспечения единства измерений перечень документов по стандартизации, содержащих правила и методы исследований (испытаний) и измерений, в том числе правила отбора образцов, необходимые для применения и исполнения принятого технического регламента и осуществления оценки соответствия. В случае отсутствия указанных документов по стандартизации /.../ утверждаются в соответствии с требованиями законодательства РФ в области обеспечения единства измерений правила и методы ис-

следований (испытаний) и измерений, в том числе правила отбора образцов, необходимые для применения и исполнения принятого технического регламента и осуществления оценки соответствия. Проекты указанных правил и методов разрабатываются /.../ с использованием документов по стандартизации...».

4.6.2. Федеральный закон Российской Федерации «Об обеспечении единства измерений»

Федеральный закон «Об обеспечении единства измерений» от 26 июня 2008 г. № 102-ФЗ был принят Государственной Думой 11 июня 2008 г., одобрен Советом Федерации 18 июня 2008 г. и утвержден Президентом Российской Федерации 26 июня 2008 г.

Основная идея закона — обеспечение единства измерений внутри страны, а также во взаимоотношениях Российской Федерации и ее хозяйственных субъектов с зарубежными странами.

Целями настоящего закона являются:

- установление правовых основ единства измерений в Российской Федерации;
- защита прав и законных интересов граждан, общества и государства от отрицательных последствий недостоверных результатов измерений;
- обеспечение потребности граждан, общества и государства в получении объективных, достоверных и сопоставимых результатов измерений, используемых в целях защиты жизни и здоровья граждан, охраны окружающей среды, животного и растительного мира, обеспечении обороны и безопасности государства, в том числе экономической безопасности;
- содействие развитию экономики Российской Федерации и научно-техническому прогрессу.

Федеральный закон регулирует отношения, возникающие при проведении измерений, установлении и соблюдении требований к измерениям, единицам величин, эталонам единиц величин, стандартным образцам, средствам измерений, применению стандартных образцов, средств измерений, методик (методов) измерений, в том числе при выполнении работ и оказании услуг по обеспечению единства измерений.

Федеральный закон «Об обеспечении единства измерений» содержит 29 статей, объединенных в 10 глав.

В первой главе (ст. 1—4) «Общие положения» определены цели и сфера действия закона, правовые отношения, возникающие при выполнении измерений, установлении и соблюдении требований к измерениям, единицам величин, эталонам единиц величин, стандартным образцам, средствам измерений, методам (методам) измерений, а также при осуществлении деятельности по обеспечению единства измерений, в том числе при выполнении работ и оказании услуг по обеспечению единства измерений (ст. 1).

Эта же статья определяет сферу государственного регулирования обеспечения единства измерений при выполнении измерений, к которым установлены обязательные требования и которые выполняются:

- при осуществлении деятельности в области здравоохранения;
- осуществлении ветеринарной деятельности;
- осуществлении деятельности в области охраны окружающей среды;
- осуществлении деятельности по обеспечению безопасности при чрезвычайных ситуациях;
- выполнении работ по обеспечению безопасных условий и охраны труда;
- осуществлении производственного контроля за соблюдением установленных законодательством Российской Федерации требований промышленной безопасности к эксплуатации опасного производственного объекта;
- осуществлении торговли и товарообменных операций, выполнении работ по расфасовке товаров;
- выполнении государственных учетных операций;
- оказании услуг почтовой связи и учете объема оказанных услуг электросвязи операторами связи;
- осуществлении деятельности в области обороны и безопасности государства;
- осуществлении геодезической и картографической деятельности;
- осуществлении деятельности в области гидрометеорологии;
- проведении банковских, таможенных и налоговых операций;
- выполнении работ по оценке соответствия промышленной продукции и продукции других видов, а также иных

объектов установленным законодательством Российской Федерации обязательным требованиям;

- проведении официальных спортивных соревнований, обеспечении подготовки спортсменов высокого класса;
- выполнении поручений суда, органов прокуратуры, государственных органов исполнительной власти;
- осуществлении мероприятий государственного контроля (надзора).

К сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений относятся также измерения, предусмотренные законодательством РФ о техническом регулировании.

Сфера государственного регулирования обеспечения единства измерений распространяется также на единицы величин, эталоны единиц величин, стандартные образцы и средства измерений, к которым установлены обязательные требования.

Обязательные требования к измерениям, эталонам единиц величин, стандартным образцам и средствам измерений устанавливаются законодательством РФ об обеспечении единства измерений и законодательством РФ о техническом регулировании. Обязательные требования к единицам величин, выполнению работ и (или) оказанию услуг по обеспечению единства измерений устанавливаются законодательством РФ об обеспечении единства измерений.

Статья 2 устанавливает основные понятия в области обеспечения единства измерений. Некоторые из этих понятий:

- **аттестация методик (методов) измерений** — исследование и подтверждение соответствия методик (методов) измерений установленным метрологическим требованиям к измерениям;
- **государственный эталон единицы величины** — эталон единицы величины, находящийся в федеральной собственности;
- **единица величины** — фиксированное значение величины, которое принято за единицу данной величины и применяется для количественного выражения однородных с ней величин;
- **единство измерений** — состояние измерений, при котором их результаты выражены в допущенных к применению в Российской Федерации единицах величин, а показатели точности измерений не выходят за установленные границы;
- **измерение** — совокупность операций, выполняемых для определения количественного значения величины;

- **метрологические требования** — требования к влияющим на результат и показатели точности измерений характеристикам (параметрам) измерений, эталонов единиц величин, стандартных образцов, средств измерений, а также к условиям, при которых эти характеристики (параметры) должны быть обеспечены;
- **методика (метод) измерений** — совокупность конкретно описанных операций, выполнение которых обеспечивает получение результатов измерений с установленными показателями точности;
- **первичная референтная методика (метод) измерений** — референтная методика (метод) измерений, позволяющая получать результаты измерений без их прослеживаемости. Первичная референтная методика (метод) измерений, находящаяся в федеральной собственности, является государственной первичной референтной методикой (методом) измерений;
- **референтная методика (метод) измерений** — аттестованная методика (метод) измерений, используемая для оценки правильности результатов измерений, полученных с использованием других методик (методов) измерений одних и тех же величин;
- **прослеживаемость** — свойство эталона единицы величины или средства измерений, заключающееся в документально подтвержденном установлении их связи с государственным первичным эталоном соответствующей единицы величины посредством сличения эталонов единиц величин, поверки, калибровки средств измерений.

Статья 3 определяет положение о законодательстве Российской Федерации в области обеспечения единства измерений, а ст. 4 устанавливает приоритет международных договоров над действующим законодательством.

Вторая глава (ст. 5—10) устанавливает требования к измерениям, единицам величин, эталонам единиц величин, стандартным образцам, средствам измерений.

Так, ст. 5 определяет, что измерения, относящиеся к сфере государственного регулирования, должны выполняться по референтным методикам (методам) измерений, за исключением методик (методов) измерений, предназначенных для выполнения прямых измерений с применением средств измерений утвержденного

типа, прошедших поверку, а результаты измерений должны быть выражены в единицах величин, допущенных к применению в Российской Федерации.

В соответствии со ст. 6 должны применяться единицы величин Международной системы единиц. Разрешается применение внесистемных единиц величин, допущенных Правительством Российской Федерации. Характеристики и параметры продукции, поставляемой на экспорт, могут быть выражены в единицах величин, предусмотренных договором (контрактом) с заказчиком.

Единицы величин передаются средствам измерений, техническим системам и устройствам с измерительными функциями от эталонов единиц величин и стандартных образцов.

Статья 7 определяет требования к эталонам единиц величин. В ней, в частности, говорится, что государственные эталоны единиц величин образуют эталонную базу Российской Федерации. Государственные первичные эталоны единиц величин содержатся и применяются в государственных научных метрологических институтах, подлежат утверждению федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по оказанию государственных услуг и управлению государственным имуществом в области обеспечения единства измерений, подлежат сличению с эталонами единиц величин Международного бюро мер и весов и национальными эталонами единиц величин иностранных государств и не могут быть приватизированы.

В статьях 8 и 9 установлены требования к стандартным образцам и средствам измерений соответственно.

Статья 10 посвящена требованиям к техническим системам и устройствам с измерительными функциями.

Третья глава (ст. 11 — 17) определяет государственное регулирование в области обеспечения единства измерений. Оно осуществляется в следующих формах (ст. 11):

- 1) утверждение типа средства измерений или стандартных образцов;
- 2) поверка средств измерений;
- 3) метрологическая экспертиза;
- 4) государственный метрологический надзор;
- 5) аттестация методик (методов) измерений;
- 6) аккредитация юридических лиц и индивидуальных предпринимателей на выполнение работ и (или) оказание услуг в области обеспечения единства измерений.

Статья 12 посвящена утверждению типа стандартных образцов и средств измерений.

Установлено (ст. 13), что средства измерений, предназначенные для применения в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, до ввода в эксплуатацию, а также после ремонта подлежат первичной поверке, а в процессе эксплуатации — периодической поверке. Применяющие средства измерений в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений юридические лица и индивидуальные предприниматели обязаны своевременно представлять эти средства измерений на поверку. Поверку средств измерений осуществляют аккредитованные в установленном порядке в области обеспечения единства измерений юридические лица и индивидуальные предприниматели. Средства измерений, не предназначенные для применения в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, могут подвергаться поверке в добровольном порядке.

Статья 14 посвящена метрологической экспертизе. Определено, что содержащиеся в проектах нормативных актов Российской Федерации требования к измерениям, стандартным образцам и средствам измерений подлежат обязательной метрологической экспертизе, которая проводится государственными научными институтами. Метрологическая экспертиза может также проводиться в других случаях на добровольной основе.

Статья 15 посвящена вопросам государственного метрологического надзора, который осуществляется:

1) за соблюдением обязательных требований в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений к измерениям, единицам величин, а также к эталонам единиц величин, стандартным образцам, средствам измерений при их выпуске из производства, ввозе на территорию Российской Федерации, продаже и применении на территории Российской Федерации;

2) за наличием и соблюдением аттестованных методик (методов) измерений;

3) за соблюдением обязательных требований к отклонениям количества фасованных товаров в упаковках от заявленного значения.

Государственный метрологический надзор распространяется на деятельность юридических лиц и индивидуальных предпринимателей, осуществляющих:

- измерения, относящиеся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений;
- выпуск из производства предназначенных для применения в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений эталонов единиц величин, стан-

дартных образцов и средств измерений, а также их ввоз на территорию Российской Федерации, продажу и применение на территории Российской Федерации;

- расфасовку товаров.

Государственный метрологический надзор осуществляется федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции государственного метрологического надзора, а также другими органами федеральной исполнительной власти, уполномоченными Президентом или Правительством Российской Федерации на осуществление данного вида надзора в установленной сфере деятельности (ст. 16). Права и обязанности должностных лиц при осуществлении государственного метрологического надзора определяет ст. 17.

Четвертая глава «Калибровка средств измерений» (ст. 18) определяет, что средства измерений, не предназначенные для применения в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, могут в добровольном порядке подвергаться калибровке. Калибровка средств измерений выполняется с использованием эталонов единиц величин, прослеживаемых к государственным первичным эталонам соответствующих единиц величин, а при отсутствии соответствующих государственных первичных эталонов единиц величин — к национальным эталонам единиц величин иностранных государств.

Результаты калибровки средств измерений, выполненной аккредитованными в установленном порядке в области обеспечения единства измерений юридическими лицами или индивидуальными предпринимателями, могут быть использованы при проверке средств измерений в порядке, установленном федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по выработке государственной политики и нормативно-правовому регулированию в области обеспечения единства измерений.

Пятая глава «Аккредитация в области обеспечения единства измерений» (ст. 19) определяет цели аккредитации, виды работ и услуг, отнесенные к объектам аккредитации, принципы построения системы.

Шестая глава (ст. 20) определяет положение о федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений, порядок его создания и ведения.

Седьмая глава (ст. 21, 22) устанавливает организационные основы обеспечения единства измерений. Определено, что организационной основой обеспечения являются федеральные органы ис-

полнительной власти, государственные научные метрологические институты, государственные региональные центры метрологии, метрологические службы, организации, осуществляющие деятельность по обеспечению единства измерений.

Деятельность по обеспечению единства измерений основывается на законодательстве Российской Федерации об обеспечении единства измерений и осуществляется:

1) федеральными органами исполнительной власти, осуществляющими функции по выработке государственной политики и нормативно-правовому регулированию, оказанию государственных услуг, управлению государственным имуществом в области обеспечения единства измерений и государственному метрологическому надзору;

2) подведомственными федеральному органу исполнительной власти, осуществляющему функции по оказанию государственных услуг и управлению государственным имуществом в области обеспечения единства измерений, государственными научными метрологическими институтами и государственными региональными центрами метрологии;

3) Государственной службой времени, частоты и определения параметров вращения Земли, Государственной службой стандартных справочных данных о физических константах и свойствах веществ и материалов, Государственной службой стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов, руководство которыми осуществляет федеральный орган исполнительной власти, осуществляющий функции по оказанию государственных услуг и управлению государственным имуществом в области обеспечения единства измерений;

4) метрологическими службами, в том числе аккредитованными в установленном порядке в области обеспечения единства измерений юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями.

Определены основные задачи федеральных органов исполнительной власти, государственных научных метрологических институтов, государственных региональных центров метрологии, других субъектов, осуществляющих деятельность по обеспечению единства измерений.

Восьмая глава «Ответственность за нарушения законодательства Российской Федерации об обеспечении единства измерений» (ст. 23, 24) определяет, что юридические лица, их руководители и работники, индивидуальные предприниматели, допустившие нарушения законодательства Российской Федерации об обеспече-

нии единства измерений, необоснованно препятствующие осуществлению государственного метрологического надзора и (или) не исполняющие в установленный срок предписаний федеральных органов исполнительной власти, осуществляющих государственный метрологический надзор, об устранении выявленных нарушений, несут ответственность в соответствии с законодательством Российской Федерации.

Должностные лица федеральных органов исполнительной власти, осуществляющих функции по выработке государственной политики и нормативно-правовому регулированию, оказанию государственных услуг, управлению государственным имуществом в области обеспечения единства измерений, а также федеральных органов исполнительной власти, осуществляющих государственный метрологический надзор, и подведомственных им организаций несут ответственность в соответствии с законодательством Российской Федерации.

Девятая глава «Финансирование в области обеспечения единства измерений» (ст. 25, 26) определяет виды работ по обеспечению единства измерений, оплачиваемых из средств федерального бюджета, порядок и определение стоимости оплаты работ и (или) услуг по обеспечению единства измерений.

За счет средств федерального бюджета финансируются расходы:

- 1) на разработку, совершенствование, содержание государственных первичных эталонов единиц величин;
- 2) разработку и совершенствование государственных эталонов единиц величин;
- 3) фундаментальные исследования в области метрологии;
- 4) выполнение работ, связанных с деятельностью Государственной службы времени, частоты и определения параметров вращения Земли, Государственной службы стандартных справочных данных о физических константах и свойствах веществ и материалов, Государственной службы стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов;
- 5) разработку утверждаемых федеральными органами исполнительной власти нормативных документов в области обеспечения единства измерений;
- 6) выполнение работ по государственному метрологическому надзору;
- 7) проведение сличения государственных первичных эталонов единиц величин с эталонами единиц величин Международного бюро мер и весов и национальными эталонами единиц величин иностранных государств;

8) уплату взносов Российской Федерации в международные организации по метрологии;

9) создание и ведение Федерального информационного фонда по обеспечению единства измерений;

10) оплату работ привлекаемых на договорной основе федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим аккредитацию в области обеспечения единства измерений, экспертов по аккредитации.

Десятая глава «Заключительные положения» (ст. 27—29) определяет нормативно-правовые акты Российской Федерации, которые утратили силу после вступления в действие Федерального закона от 26 июня 2008 г. № 102-ФЗ и срок вступления в силу настоящего Федерального закона.

Установлено, что настоящий Федеральный закон вступает в силу по истечении ста восьмидесяти дней после дня его официального опубликования.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Расскажите о Российской системе измерений.
2. Что включает в себя система нормативно-правовых и технических актов РСИ?
3. Какова основная идея Федерального закона «Об обеспечении единства измерений»?
4. В каких формах осуществляется государственное регулирование в области обеспечения единства измерений?
5. Кем осуществляется деятельность по обеспечению единства измерений, основанная на законодательстве Российской Федерации об обеспечении единства измерений?

ДОПУСКИ РАЗМЕРОВ, ВХОДЯЩИХ В РАЗМЕРНЫЕ ЦЕПИ

5.1. ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Машины и механизмы, окружающие нас, состоят из сложных соединений, в которых участвуют множество различных деталей, взаимосвязанных между собой и имеющих свои линейные и диаметральные размеры. Чтобы обеспечить правильную работу всей машины или какого-либо ее узла, необходимо выдержать эти размеры в определенных, рационально подобранных пределах, так как изменение размера любой из множества деталей вызовет нарушение положения других деталей, составляющих этот узел (рис. 5.1).

Установление правильного соотношения линейных и диаметральных размеров и их предельных параметров необходимо для правильного построения технологического процесса обработки детали и для правильной сборки деталей в узлы и машины.

Для определения оптимального соотношения предельных взаимосвязанных размеров одной или нескольких деталей, входящих в этот сборочный узел, проводят размерный анализ, предварительно построив размерные цепи.

Согласно РД 50-635-87 «Цепи размерные. Основные понятия. Методы расчета линейных и угловых цепей» **размерной цепью** называют совокупность размеров, образующих замкнутый контур и непосредственно участвующих в решении поставленной задачи.

Если в такую совокупность входят размеры одной детали, то такую цепь называют **подетальной размерной цепью** (рис. 5.2), а если участвуют размеры нескольких деталей, то **сборочной размерной цепью** (см. рис. 5.1; рис. 5.3).

Для анализа размерной цепи необходимым условием является замкнутость размерного контура.

По взаимному расположению размеров и их характеру размерные цепи подразделяются на линейные, угловые, плоские и пространственные.

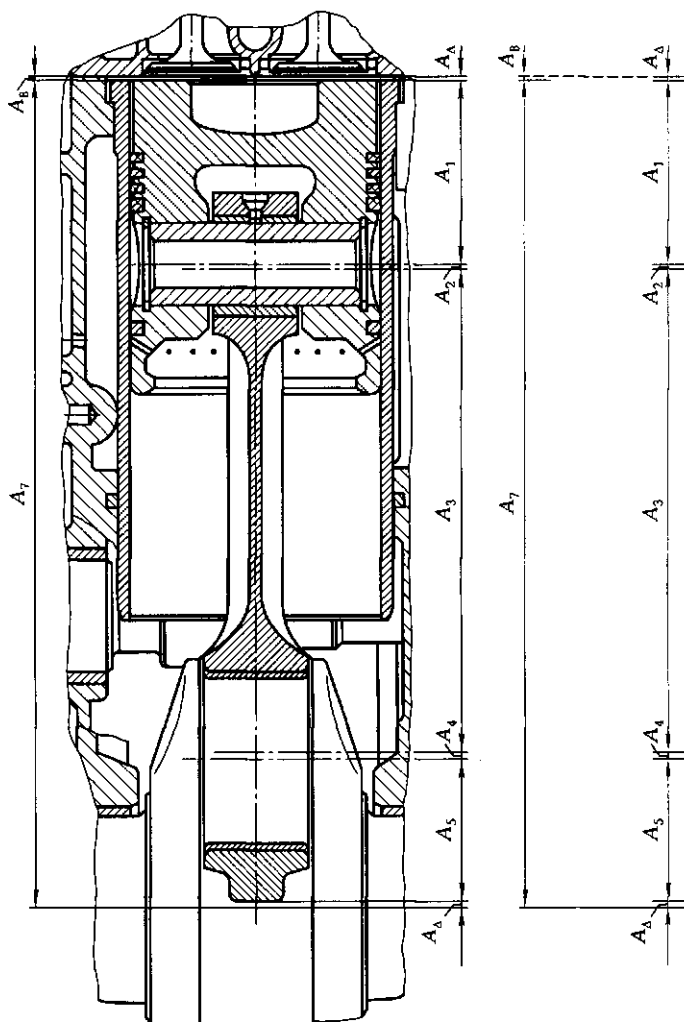


Рис. 5.1. Пример простановки размеров на шатунно-поршневом узле двигателя внутреннего сгорания

Размерные цепи, звеньями которых являются линейные размеры, называются **линейными**.

Размерные цепи, звеньями которых являются угловые размеры, называются **угловыми**.

Если все звенья цепи лежат в одной или в нескольких параллельных плоскостях, такую цепь называют **плоской**, а если звенья

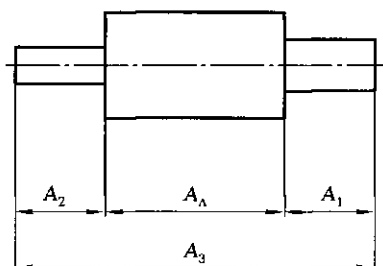


Рис. 5.2. Подetailная размерная цепь

цепи непараллельны одно другому и лежат в непараллельных плоскостях, то такую цепь называют **пространственной**.

По назначению размерные цепи подразделяют:

- на **конструкторские** — обеспечивают точность изделия на этапе его проектирования;
- **технологические** — выражают связь размеров обрабатываемой детали с технологическим процессом;
- **измерительные** — решают задачу измерения определенных звеньев, характеризующих точность изделия.

Размеры, составляющие размерную цепь, называются **звеньями**.

Звено, которое является исходным при постановке задачи или получается последним в процессе обработки детали, ее измерения или сборки изделия, называют **закрывающим** (на рис. 5.3 это зазор S).

Таким звеном может быть звено, точность которого определяет точность изготовления детали в цепи или всего собранного узла.

Номинальный размер и точность закрывающего звена зависят от точности всех остальных звеньев цепи, которые называются **со-**

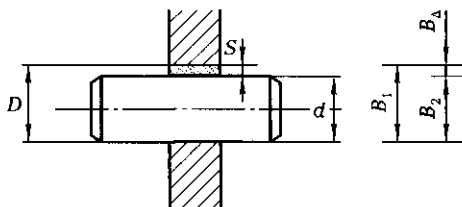


Рис. 5.3. Пример сборочной размерной цепи

ставляющими. Изменение их размеров приводит к изменению размеров замыкающего звена (но не должно вызывать изменения размеров исходного звена).

Исходным называют звено, к которому предъявляются основные требования — точность в соответствии с техническими условиями, и от которого зависит работоспособность узла. При сборке исходное звено, как правило, получается последним, поэтому оно также называется **замыкающим**.

Составляющие звенья обозначают на схемах или чертежах прописными буквами русского алфавита (А, Б, В, и т. д.) или строчными буквами греческого алфавита (кроме букв α , β , ω , ξ , λ) с соответствующим порядковым номером 1, 2, 3, ..., m . При этом замыкающее звено обозначается соответствующей буквой с индексом Δ (например, A_{Δ}).

Составляющие звенья могут быть увеличивающими и уменьшающими. **Увеличивающие** — это звенья, увеличение размеров которых приводит к увеличению замыкающего или исходного звена. На рис. 5.2 таким звеном будет A_3 .

Уменьшающие — это звенья, увеличение размеров которых приводит к уменьшению замыкающего или исходного звена. На рис. 5.2 такими звеньями будут A_1 и A_2 .

Размерную цепь удобно представлять в виде замкнутого векторного контура, в котором векторы направлены либо по часовой стрелке, либо против нее (рис. 5.4).

Уменьшающие звенья имеют направления, одинаковые с направлением замыкающего звена (\leftarrow), а увеличивающие — противоположные (\rightarrow). Анализ размерных цепей и их расчет проводят с целью определения числовой взаимосвязи размеров, обеспечивающих эксплуатационные требования и экономически целесообразную точность выполнения этих размеров; экономически выгодного вида взаимозаменяемости (полной или неполной); допусков размеров и рационального порядка их простановки на чертежах.

Задачи размерного анализа делятся на два вида:

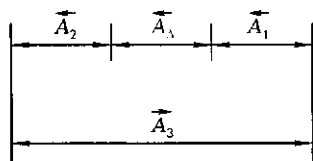


Рис. 5.4. Схема размерной цепи

- **прямая задача** решается при конструировании деталей и узлов для определения допусков и предельных отклонений составляющих звеньев по заданным номинальным размерам всех размеров цепи и заданным предельным размерам исходного звена;
- **обратная задача**, решение которой позволяет определить номинальный размер, предельные отклонения и допуск замыкающего или исходного звена по заданным номинальным размерам и предельным отклонениям составляющих звеньев. Задача решается, как правило, при проверке правильности решения прямой задачи.

5.2. МЕТОДЫ РАСЧЕТА РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ

Существует несколько методов решения прямой и обратной задач в условиях полной и неполной взаимозаменяемости. Наиболее распространены из них следующие методы:

- расчет на максимум — минимум (обеспечивает полную взаимозаменяемость);
- теоретико-вероятностный (обеспечивает неполную или частичную взаимозаменяемость);
- групповой взаимозаменяемости;
- одинаковой точности;
- равных допусков;
- регулирования;
- пригонки и др.

Рассмотрим некоторые из них на примере расчета размерной цепи подшипникового узла (рис. 5.5).

Метод расчета на максимум — минимум (обратная задача).

Известны: A_i ; ESA_i ; EIA_i ; TA_i .

Определить: A_Δ ; ESA_Δ ; EIA_Δ ; TA_Δ .

Расчет осуществляется в следующем порядке.

1. Составляется схема размерной цепи, определяется m — общее число звеньев цепи (рис. 5.6).

2. Определяется характер звеньев: A_Δ — замыкающее звено; A_1 — увеличивающее звено; A_2, A_3, A_4 — уменьшающие звенья. При этом: n — число увеличивающих звеньев; p — число уменьшающих звеньев; m — общее число звеньев, включая замыкающее. Тогда $n + p = m - 1$.

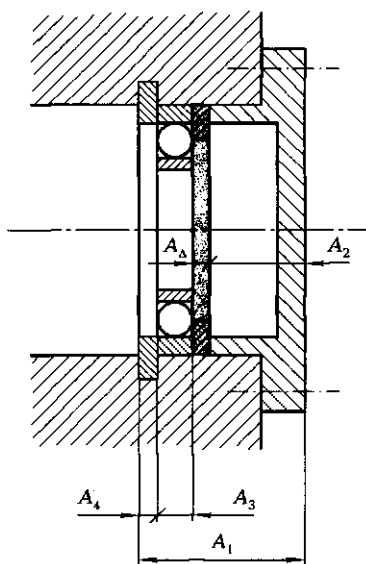


Рис. 5.5. Размерная цепь подшипникового узла

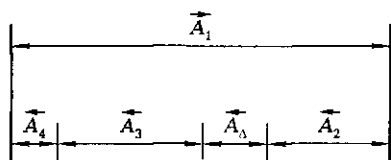


Рис. 5.6. Схема размерной цепи подшипникового узла с числом звеньев $m = 5$

3. Составляется уравнение номинальных размеров для частного случая:

$$A_{\Delta} = A_1 - (A_2 + A_3 + A_4),$$

в общем случае

$$A_{\Delta} = \sum_{i=1}^n A_{i\text{ув}} - \sum_{i=1}^n A_{i\text{ум}}.$$

4. Определяется допуск замыкающего звена, для чего составляется уравнение допусков:

$$TA_{\Delta} = A_{\Delta\text{max}} - A_{\Delta\text{min}},$$

а предельные размеры замыкающего звена равны

$$A_{\Delta\text{max}} = \sum_{i=1}^n A_{i\text{ув max}} - \sum_{i=1}^n A_{i\text{ум min}}; \quad (5.1)$$

$$A_{\Delta \min} = \sum_{i=1}^n A_{i_{\text{ув min}}} - \sum_{i=1}^n A_{i_{\text{ум max}}}. \quad (5.2)$$

Поскольку разность между предельными размерами звеньев есть их допуск, получим

$$TA_{\Delta} = \sum_{i=1}^n TA_{i_{\text{ув}}} - \sum_{i=1}^n TA_{i_{\text{ум}}},$$

а так как сумма увеличивающих и уменьшающих звеньев равна $n + p = m - 1$, то

$$TA_{\Delta} = \sum_{i=1}^n TA_i, \quad (5.3)$$

т.е. допуск замыкающего или исходного звена равен сумме допусков составляющих звеньев.

5. Находятся предельные размеры замыкающего звена, т.е. определяются его верхнее и нижнее отклонения. Согласно формуле (5.1)

$$A_{\Delta \max} = \sum_{i=1}^n A_{i_{\text{ув max}}} - \sum_{i=1}^p A_{i_{\text{ум min}}},$$

в то же время $A_{\Delta \max} = A_{\Delta} + ESA_{\Delta}$.

Тогда

$$ESA_{\Delta} = \sum_{i=1}^n ESA_{i_{\text{ув}}} - \sum_{i=1}^p EIA_{i_{\text{ум}}}.$$

По формуле (5.2) находим

$$A_{\Delta \min} = \sum_{i=1}^n A_{i_{\text{ув min}}} - \sum_{i=1}^p A_{i_{\text{ум max}}}$$

или

$$A_{\Delta \min} = A_{\Delta} + EIA_{\Delta}.$$

Тогда

$$EIA_{\Delta} = \sum_{i=1}^n EIA_{i_{\text{ув}}} - \sum_{i=1}^p ESA_{i_{\text{ум}}}.$$

Таким образом находятся предельные размеры замыкающего или исходного звена.

В соответствии с формулой (5.3) допуск замыкающего звена равен сумме допусков всех составляющих звеньев. Чтобы погрешность узла была минимальной, необходимо стремиться при проектировании и изготовлении деталей к минимальному числу звеньев цепи, т. е. должен соблюдаться **принцип кратчайшей цепи**.

При решении прямой задачи размерного анализа можно воспользоваться методом равных допусков, который удобно применять, если составляющие размеры цепи входят в один размерный интервал или в крайнем случае в соседние интервалы. Метод основан на предположении, что допуски всех составляющих звеньев равны, т. е.

$$TA_1 = TA_2 = \dots = TA_{m-1} = T_{\text{cp}} A_i.$$

Или согласно (5.3) имеем

$$TA_{\Delta} = \sum_{i=1}^{m-1} TA_i \quad \text{или} \quad TA_{\Delta} = TA_1 + TA_2 + \dots + T_{\text{cp}} A_i.$$

В связи с тем, что все допуски равны, можно эту же формулу представить в виде

$$TA_{\Delta} = (m - 1) T_{\text{cp}} A_i,$$

тогда допуск любого звена размерной цепи определяется как

$$T_{\text{cp}} A_i = TA_{\Delta} / (m - 1).$$

Найденный допуск желательно скорректировать до ближайших стандартных полей допусков.

Этот способ назначения полей допусков составляющих звеньев достаточно прост, но не совсем точен, поэтому его обычно применяют для предварительного назначения допусков.

Прямую задачу можно решить и другим методом — **одинаковой точности** (метод допусков одного качества точности). В этом случае условно принимаем, что все составляющие звенья цепи выполнены с допусками по одинаковому качеству точности.

Из предыдущих подразделов известно, что $TA = ki$, где i — единица допуска, зависящая от номинального размера и выражающаяся формулой $i = 0,45\sqrt[3]{D} + 0,001D$; k — число единиц допуска, зависящее от качества точности.

Используя формулу (5.3), получим

$$TA_{\Delta} = k_1 i_1 + k_2 i_2 + k_3 i_3 + \dots + k_{m-1} i_{m-1}.$$

А так как качества точности у всех звеньев приняты одинаковыми, то

$$k_1 = k_2 = k_3 = \dots = k_{m-1} = k_{\text{ср}}.$$

Тогда

$$TA_{\Delta} = k_{\text{ср}} \sum_{i=1}^{m-1} i_i,$$

откуда

$$k_{\text{ср}} = TA_{\Delta} / \sum_{i=1}^{m-1} i_i.$$

В предыдущих разделах мы уже определяли i для каждого числового интервала размеров и параметр k для каждого качества.

Полученное значение $k_{\text{ср}}$ редко бывает абсолютно точно равным какому-либо значению k , соответствующему конкретному качеству, поэтому мы выбираем ближайший качество и по таблицам ГОСТ 25347—2013 определяем допуски составляющих звеньев, обращая внимание на то, что допуски охватываемых размеров назначаем, как для основного вала, а допуски охватывающих размеров рассчитываем, как для основного отверстия.

В условиях массового и крупносерийного производства расчет размерных цепей изложенными выше методами часто не дает экономически выгодного результата. Поэтому в этих видах производства целесообразно использовать **теоретико-вероятностные методы** расчета, которые основаны на суммировании средних размеров, определенных с учетом случайных погрешностей.

При этом замыкающее звено размерной цепи принимается за случайную величину, являющуюся суммой независимых случайных переменных размеров составляющих звеньев. Вместо алгебраического суммирования допусков, которое мы использовали в рассмотренных выше методах, применяется квадратическое суммирование. Для риска появления брака в 0,27 % формула для определения допуска замыкающего звена будет выглядеть так:

$$TA_{\Delta} = \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} (TA_i)^2}.$$

Погрешности изготовления деталей различных размеров или их сборки могут подчиняться различным математическим законам (закону нормального распределения, закону равной вероятности,

закону треугольника и др.). Чаще всего они подчиняются закону нормального распределения. Поэтому в расчеты вводят различные коэффициенты, связывающие законы равной вероятности и треугольника с законом нормального распределения.

Для подробного ознакомления с другими методами целесообразно изучить документ РД 50-635-87 «Методические указания. Цепи размерные. Основные понятия. Методы расчета линейных и угловых цепей».

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое размерная цепь? Назовите виды размерных цепей.
2. Как можно подразделить размерные цепи по их назначению?
3. Какие звенья цепи называются составляющими, увеличивающими и уменьшающими?
4. Что называют замыкающим звеном?
5. Что такое исходное звено?
6. Каковы особенности решения прямой и обратной задач размерного анализа?
7. Какими методами решаются задачи размерного анализа?
8. В какой последовательности нужно проводить размерный анализ методом максимума—минимума?
9. В чем заключаются особенности решения размерных цепей методом равных допусков?
10. Как провести размерный анализ методом одинаковой точности (одного качества)?

ДОПУСКИ, ПОСАДКИ И КОНТРОЛЬ КОНИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ И СОЕДИНЕНИЙ

6.1. ДОПУСКИ УГЛОВ КОНУСОВ

Гладкие конические соединения, которые образуются внутренним конусом (конус — втулка) и наружным (конус — вал), имеют разнообразное применение. По сравнению с цилиндрическими соединениями они обладают рядом преимуществ: могут передавать большие крутящие моменты, чем посадки с натягом, но при этом имеют возможность частой разборки и сборки узла, обеспечивают хорошее центрирование соединения и его герметичность, а также возможность регулирования натягов или зазоров.

Конусы, как наружные так и внутренние, характеризуются диаметром большого основания D (рис. 6.1), диаметром малого основания d , углом конуса α , углом $\alpha/2$ и длиной конуса L .

Основные элементы конусов связаны соотношением

$$\frac{(D-d)}{L} 2\text{tg}\alpha/2 = C$$

или

$$\frac{C}{2} = \text{tg}\alpha/2 = \frac{0,5(D-d)}{L} = i,$$

где C — конусность; i — уклон.

Конусность является основным параметром конического сопряжения и на чертежах обозначается знаком ∇ , который ставится острым концом по направлению к вершине конуса. Например, $C = 1 : 30$ говорит о том, что разность диаметров D и d равна 1 мм на длине 30 мм.

По своему назначению и конструкции конусы могут быть:

- **центрирующими** — для обеспечения высокой точности центрирования;

- **силовыми** — для передачи крутящих моментов;
- **герметичными** — для ликвидации возможностей утечки жидкостей и газов;
- **закрепительными** — для крепления деталей в строго определенном положении с помощью различных клиньев, конических штифтов, болтов и т.д.;
- **уплотнительными** — для уплотнения конических сопряжений;
- **регулирующими** — для изменения скоростей вращения в различных фрикционных и других механизмах;
- **свободными** — например, различные обтекатели скоростных машин.

ГОСТ 8908—81 «Основные нормы взаимозаменяемости. Нормальные углы и допуски углов» регламентирует допуски углов конусов и ряды нормальных углов. Этим же стандартом установлено 17 степеней точности допусков углов: 1, 2, 3, ..., 17, из которых 17-ю степень точности имеет самый грубый допуск. Обозначая допуск угла определенной точности символом АТ, добавляют цифровую индексацию степени точности, например, АТ1, АТ3 и т.д.

Следует иметь в виду, что допуск каждой последующей степени точности увеличивается в 1,6 раза.

Широкое распространение на практике угловых размеров привело к необходимости их регламентирования. ГОСТ 8908—81 стандартизирует нормальные углы и подразделяет их на три ряда:

ряд 1 — 0°, 5°, 15°, 20°, 30°, 45°, 60°, 90°, 120°;

ряд 2 — 30', 1°, 2°, 3°, 4°, 6°, 7°, 8°, 10°, 40', 75°;

ряд 3 — 15', 45', 1° 30', 2° 30', 9°, 12°, 18°, 22°, 25°, 35°, 50°, 55°, 65°, 70°, 80°, 85°, 100°, 110°, 135°, 150°, 165°, 180°, 270°, 360°.

При выборе углов первый ряд предпочитают второму, а второй ряд — третьему.

В целях достижения взаимозаменяемости конических изделий или сопряжений ГОСТ Р 53440—2009

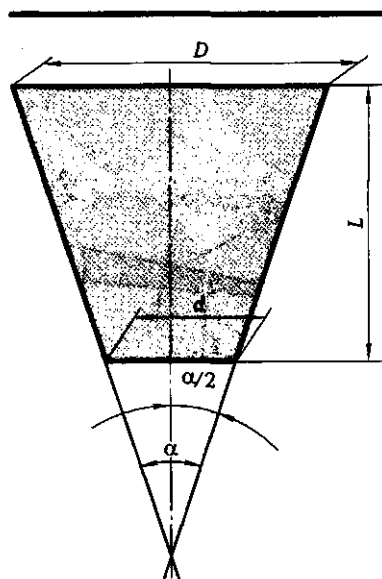


Рис. 6.1. Параметры конуса

(ИСО 1119:1998) «Основные нормы взаимозаменяемости. Характеристики изделий геометрические. Нормальные конусности и углы конусов» устанавливает ряды нормальных конусностей.

При определении допусков используется связь между размерами D , d , L и α . Допустимые величины параметров конусов не могут назначаться независимо друг от друга. Например, можно задать предельные размеры и допустимые отклонения параметров D , L и α . В этом случае предельные параметры d определяют из геометрических соотношений уже заданных параметров. Таким образом, допусками ограничивают только три из указанных четырех параметра (D , d , L , α).

Назначение допусков углов конуса согласно ГОСТ 8908—81 зависит от длины конуса L (для конусов с конусностью не более 1 : 3, (рис. 6.2)) и от длины образующей L_1 (для конусов с конусностью более 1 : 3 (рис. 6.3)).

При конусности не более 1 : 3 длина конуса L приблизительно принимается равной длине образующей L_1 (разность значений не более 2 %).

Допуски углов призматических элементов деталей следует назначать в зависимости от номинальной длины L_1 меньшей стороны угла (рис. 6.4).

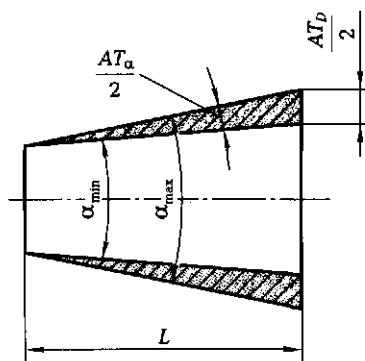


Рис. 6.2. Допуски угла конуса с конусностью $\leq 1 : 3$

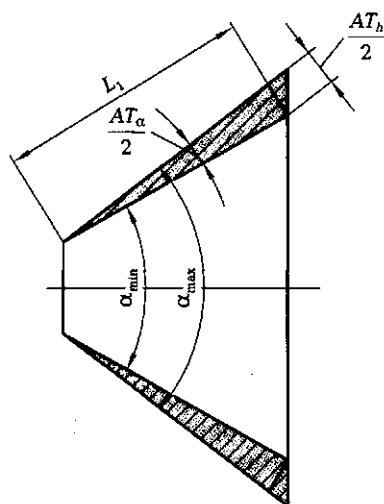
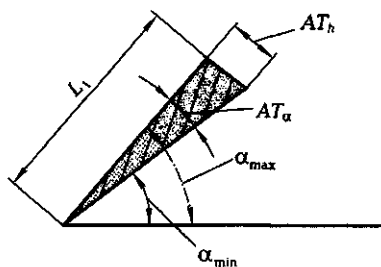


Рис. 6.3. Допуски угла конуса с конусностью $> 1 : 3$

Рис. 6.4. Допуски углов призматических элементов



Стандарт определяет следующие допуски углов:

AT — допуск угла (разность между наибольшим и наименьшим предельными углами);

AT_α — допуск угла, выраженный в угловых единицах;

AT'_α — округленное значение допуска угла в градусах, минутах, секундах;

AT_h — допуск угла, выраженный отрезком на перпендикуляре к стороне угла, противостоящего углу AT_α на расстоянии L_1 от вершины этого угла (практически этот отрезок равен длине дуги радиуса L_1 , стягивающей угол AT_α);

AT_D — допуск угла конуса, выраженный допуском на разности диаметров в двух нормальных к оси сечения конуса плоскостях на заданном расстоянии L между ними (определяется по перпендикуляру к оси конуса).

Следует иметь в виду, что значение

$$AT_h = AT_\alpha L_1 \cdot 10^{-3};$$

$$AT_D = AT_\alpha L \cdot 10^{-3},$$

здесь AT_h измеряется в микрометрах; AT_α — в микроградусах, L — в миллиметрах.

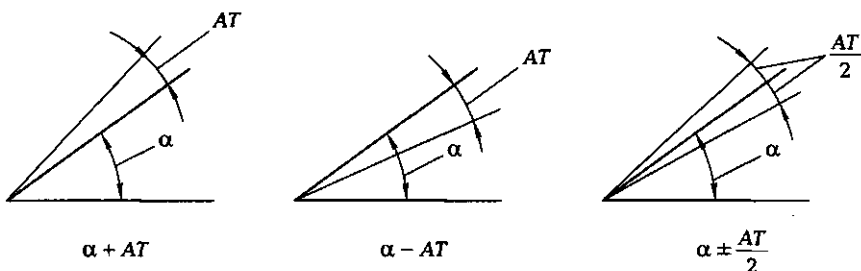


Рис. 6.5. Схема расположения допусков углов:

α — номинальный угол конуса

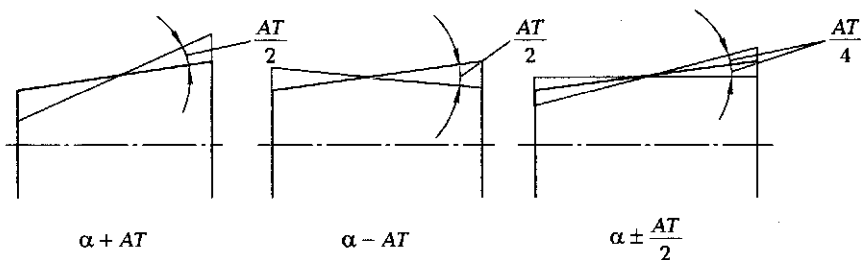


Рис. 6.6. Схема расположения допусков углов и конусов:
 α — номинальный угол конуса

Для конусов с конусностью более $1:3 AT_D$ следует определять по формуле

$$AT_D = \frac{AT}{\cos(\alpha/2)},$$

где α — номинальный угол конуса.

Допуски углов могут быть расположены в «плюс» ($+AT$), в «минус» ($-AT$) или симметрично ($\pm AT/2$) относительно номинального угла (рис. 6.5, 6.6).

6.2. ДОПУСКИ И ПОСАДКИ КОНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

Система допусков конусов предполагает два способа нормирования допусков диаметра конуса.

Способ 1 — допуск на диаметр конуса T_D (рис. 6.7), устанавливаемый по квалитетам точности согласно ГОСТ 25346—2013, оди-

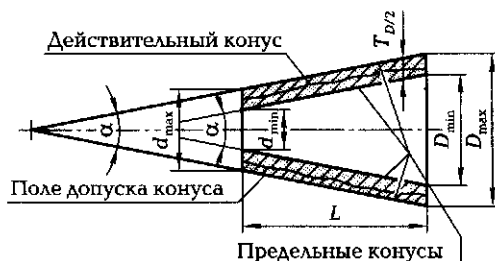


Рис. 6.7. Действительный и предельные конусы

наков в любом поперечном сечении конуса и определяет два предельных конуса (наружный и внутренний), между которыми должны находиться все точки поверхности действительного конуса. Этот же допуск ограничивает отклонения угла конуса и отклоне-

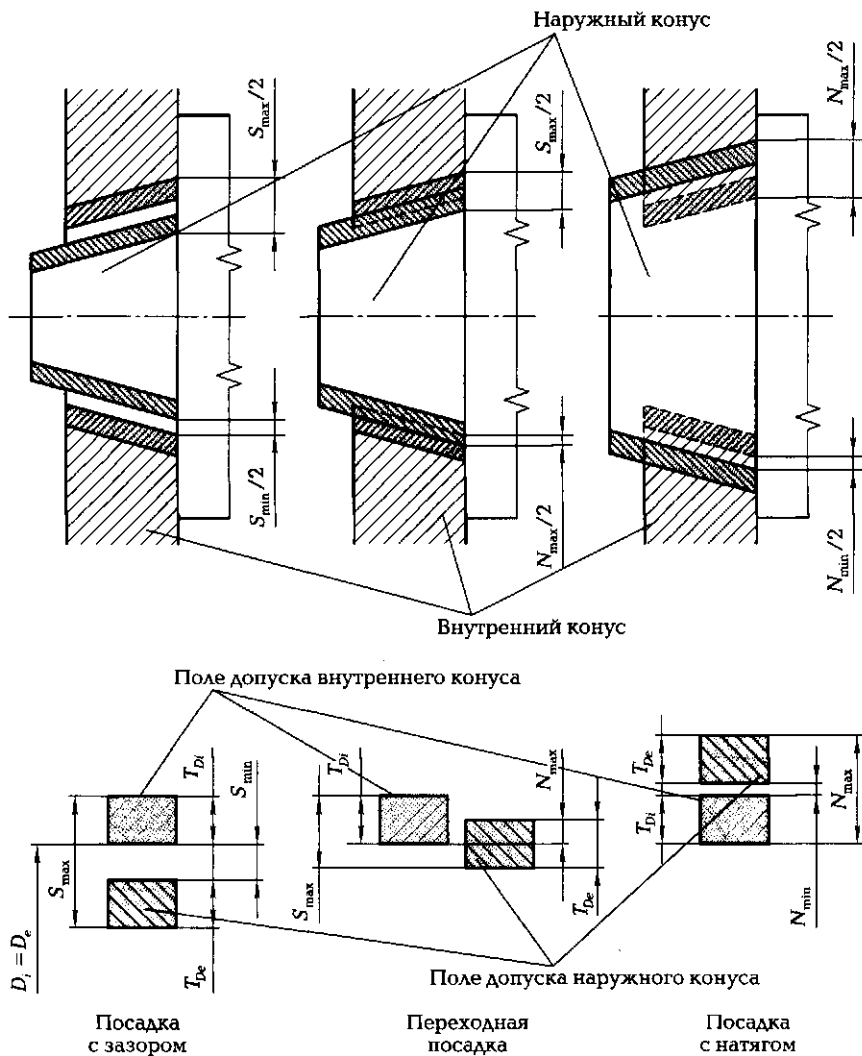


Рис. 6.8. Посадки с фиксацией путем совмещения конструктивных элементов сопрягаемых конусов

ния формы конуса, если только они не ограничены меньшими допусками.

Способ 2 — задается допуск T_{DS} на диаметр в конкретном сечении. Этот допуск не ограничивает форму конуса и его угол. В этом

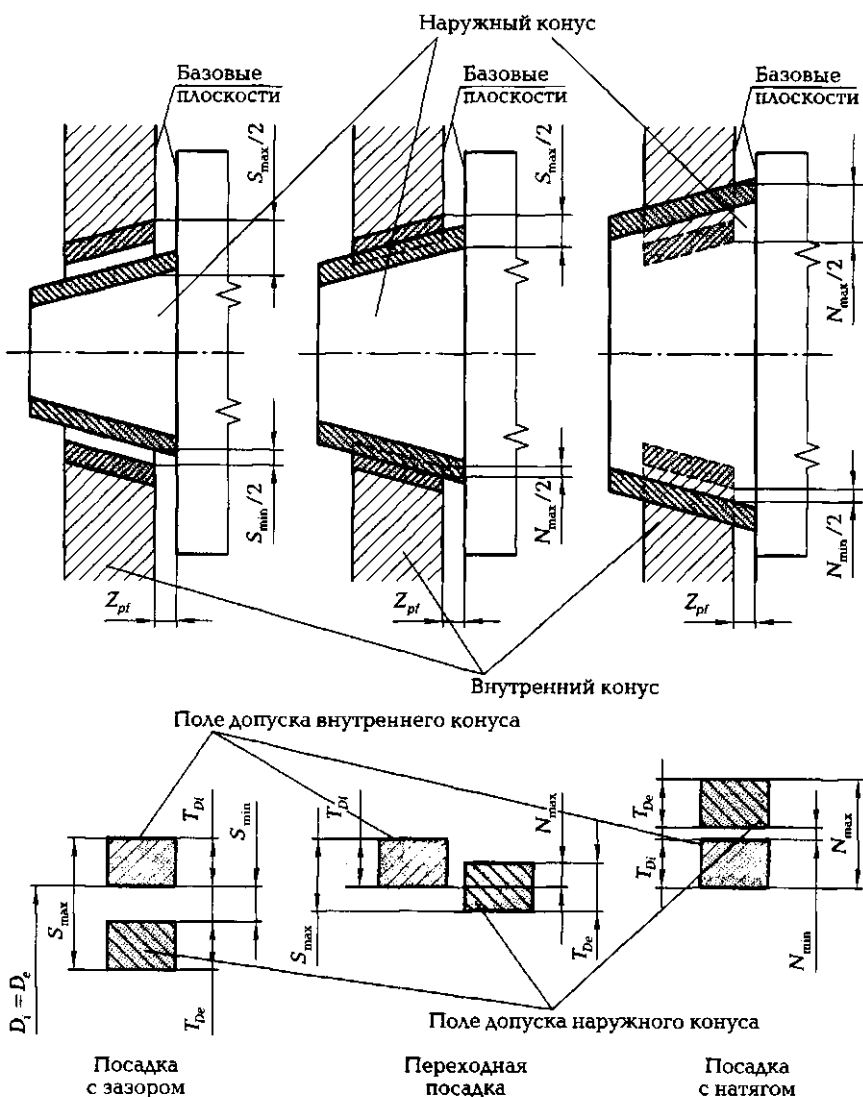


Рис. 6.9. Посадки с фиксацией по заданному осевому расстоянию

случае допуск T_F формы конуса равен сумме допусков круглости поперечного сечения конуса и прямолинейности его образующих.

Допуски на диаметр конуса T_D и T_{DS} устанавливаются по стандартам согласно ГОСТ 25346—2013. Они выбираются по диаметру большого основания конуса или диаметру в заданном сечении конуса соответственно.

В зависимости от того, как соединяются два конических изделия (наружный и внутренний конусы) при одинаковом номинальном угле конуса и при различном способе фиксации осевого положения, посадки могут быть с зазором, с натягом или переходные.

Характер посадки зависит от изменения базового расстояния, т.е. осевого расстояния между базовыми плоскостями сопрягаемых конусов.

В зависимости от способа фиксации осевого расположения сопрягаемых конусов посадки могут быть:

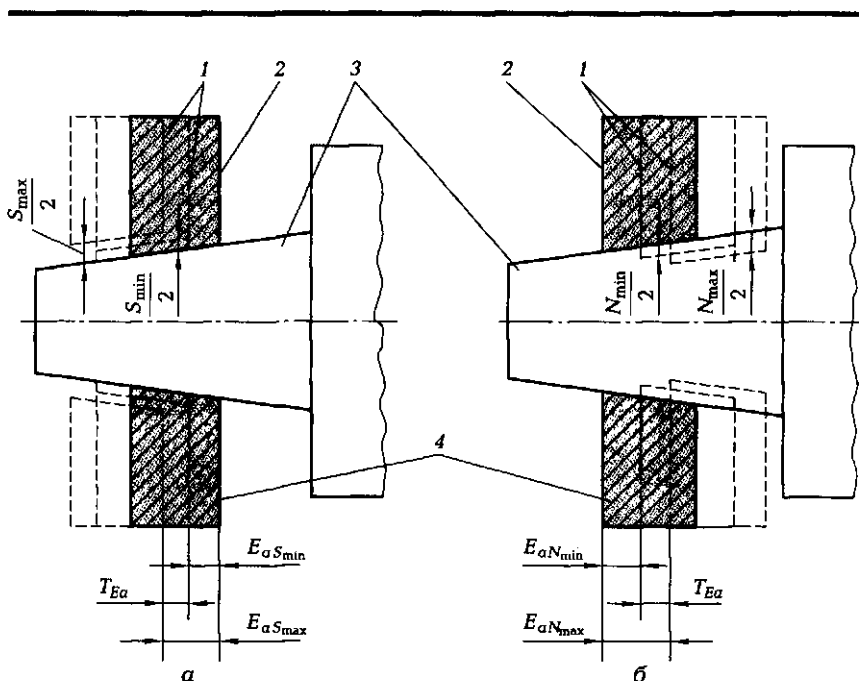


Рис. 6.10. Посадки с фиксацией по заданному осевому смещению:

a — посадка с зазором; *b* — посадка с натягом; 1 — конечное положение; 2 — начальное положение; 3 — наружный конус; 4 — внутренний конус

- с фиксацией путем совмещения конструктивных элементов сопрягаемых конусов (рис. 6.8);
- с фиксацией по заданному осевому расстоянию (рис. 6.9);
- с фиксацией по заданному осевому смещению (рис. 6.10);
- с фиксацией по заданному усилию запрессовки (рис. 6.11).

Для получения различных посадок ГОСТ 25307—82 «Основные нормы взаимозаменяемости. Система допусков и посадок для конических соединений» устанавливает основные отклонения:

для наружных конусов $d, e, f, g, h, js, k, m, n, p, r, s, t, u, x, z$;

для внутренних конусов H, Js, N .

Поля допусков образуются 4—12-м квалитетами.

ГОСТ 2.320—82 «Единая система конструкторской документации. Правила нанесения размеров, допусков и посадок конусов» устанавливает следующие правила нанесения допусков и посадок на чертежах (рис. 6.12):

- при назначении конуса конусностью предельные отклонения необходимо указывать под обозначением конусности числовыми значениями AT (рис. 6.12, а, б), условными (рис. 6.12, в) либо смешанными (рис. 6.12, г);
- при назначении конуса углом конуса предельные отклонения необходимо указывать числовыми значениями непосредственно после номинального размера (см. рис. 6.12, в);

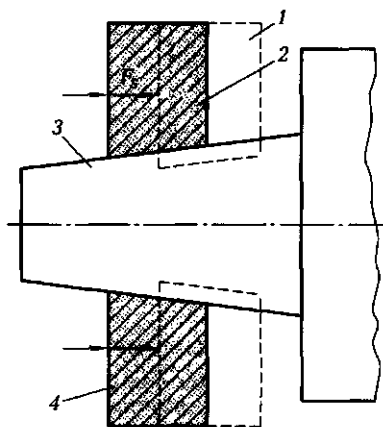


Рис. 6.11. Посадки с фиксацией по заданному усилию запрессовки:

1 — конечное положение; 2 — начальное положение; 3 — наружный конус; 4 — внутренний конус

- при условии назначения допуска T диаметра конуса в любом сечении значение конусности или угла конуса необходимо заключить в прямоугольную рамку. Таким же образом обозначается и расстояние от базовой плоскости до плоскости в заданном сечении (см. рис. 6.12, г).

В различных отраслях промышленности используются разнообразные конические соединения, но наиболее распространены инструментальные конусы, выпускаемые двух типов:

- **метрические конусы** с круглым значением конусности, т.е. $k = 1 : 20 = 0,05$, что соответствует углу $2\alpha = 2^\circ 51' 51''$. Номера конусов (4, 6, 80, 100, 120, 160 и 200) соответствуют размерам их базового диаметра D в миллиметрах (рис. 6.13);

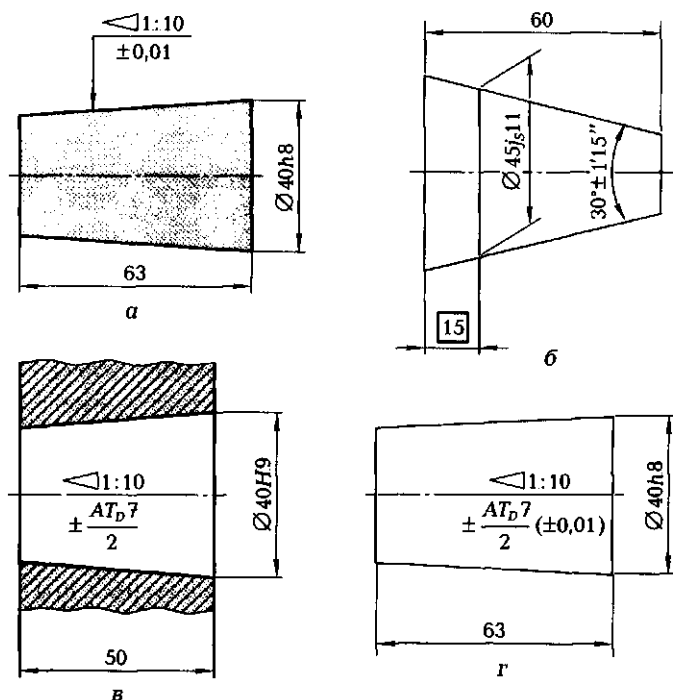


Рис. 6.12. Способы обозначения допусков конусов на чертежах:

а, б — выражение числовым способом; в — выражение условным способом; г — выражение смешанным способом

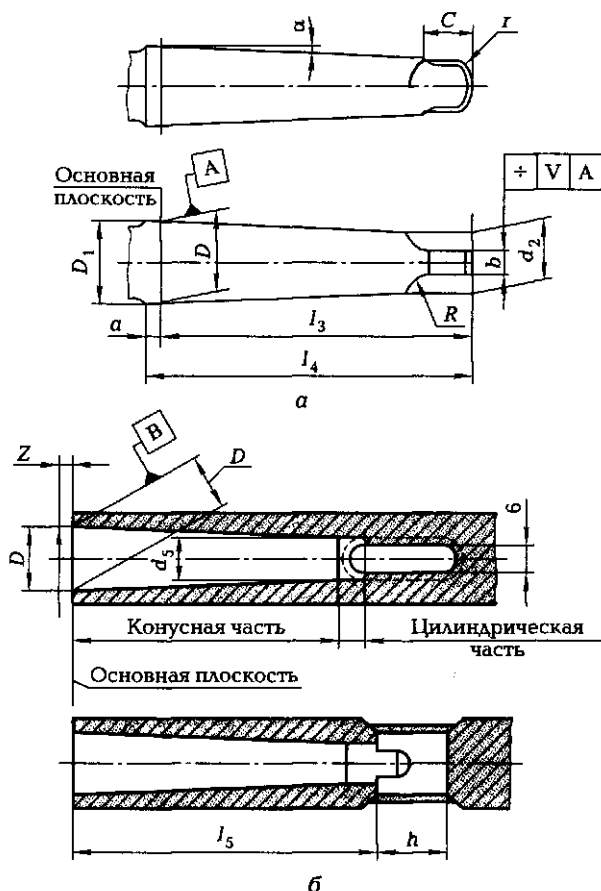


Рис. 6.13. Инструментальные конусы:
 а — конус-вал; б — конус-втулка

- **конусы Морзе** с некруглыми значениями конусности и угла конуса. Значение угла близко к 3° . Номера конусов Морзе (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6) никак не связаны с его линейными размерами. Базовый диаметр D растет от конуса 0 ($D = 9,045$ мм) к конусу 6 ($D = 63,348$ мм).

Как для метрических, так и для конусов Морзе базовым диаметром является диаметр D .

Конструктивно инструментальные конусы могут быть с лапкой и с резьбовым отверстием. Эти конусы применяются для кониче-

ских хвостовиков режущего инструмента, отверстий шпинделей станков, переходных втулок, различных оправок.

Существуют различные методы измерения углов и конусов:

- основные на использовании предельных мер — угловых плиток, шаблонов, угольников, калибров;
- обеспечивающие определение величины углов и конусов в дуговой мере с использованием оптических угломеров, угломеров со штриховым нониусом, оптических делительных головок и т.д.;
- косвенные, смысл которых заключается в определении линейных размеров, связанных с измеряемым углом, с помощью синусных линеек, шариков, роликов и т.д.

6.3. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ И КОНТРОЛЯ УГЛОВ И КОНУСОВ

Существуют следующие методы измерения и контроля углов и конусов:

- *метод сравнения с жесткими контрольными инструментами* — угловыми мерами, угольниками, конусными калибрами и шаблонами;
- *абсолютный гониометрический метод*, основанный на использовании приборов с угломерной шкалой (нониусные, индикаторные и оптические угломеры);
- *косвенный тригонометрический метод*, основанный на определении линейных размеров, связанных с измеряемым углом тригонометрической функцией (синусные линейки и конусомеры).

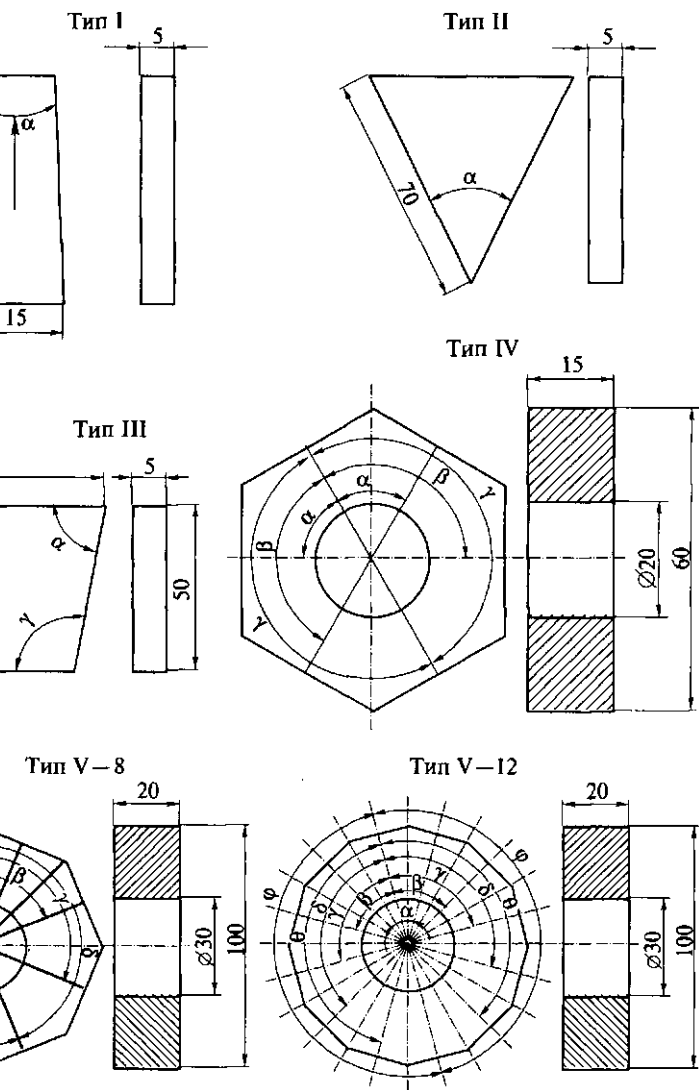
Краткая характеристика средств измерений и контроля углов и конусов представлена в табл. 6.1.

Рассмотрим некоторые из них.

Угловые меры и угольники. *Меры угловые* призматические предназначены для передачи единицы плоского угла от эталонов к изделию. Они чаще всего применяются при лекальных работах, а также для поверки и калибровки средств измерения и контроля. Угловые меры (рис. 6.14) могут быть однозначными и многозначными и представляют из себя геометрическую фигуру в виде прямой призмы с доведенными поверхностями, являющиеся сторонами рабочего угла.

Таблица 6.1. Средства измерений и контроля углов и конусов

| Название | Точность измерения | Пределы измерений | Назначение |
|---|---|--|---|
| Синусная линейка (ГОСТ 4046—80) | ±1,5' для угла 4° ±2' до 10° ±2,5' до 20° ±3,5' до 30° ±6' до 45° 0,03 ... 0,05 мм | Расстояние между осями 100 ... 150 мм. Измерение наружных углов 0 ... 45° | Измерение углов кали- бров, линеек и точных деталей |
| Линейка поверочная (ГОСТ 8026—92) | 0,02 ... 0,2 мм/м | Цена деления 0,01 ... 0,15 мм/м. Рабочая длина 100 ... 250 мм | Контроль отклонения деталей от плоскостности, прямолинейности, при разметке и др. Измерение малых угловых отклонений от горизон- тального и вертикального положения приборов, устройств, элементов кон- струкций и др. |
| Мера угловая призматиче- ская (палтка) (ГОСТ 2875—88) | ±3 ... ±30' | Тип I: 1' ... 9' Тип II: 10 ... 75° 50' | Проверка угломерных средств измерения, точ- ной разметки, точного измерения углов |
| Угломер с нониусом типов УН и УМ (ГОСТ 5378—88) | 2 ... 10' | 0 ... 180° (наружных углов), 40 ... 180° (внутренних углов) | Тип УН для измерения наружных и внутренних углов, тип УМ — для на- ружных |
| Угольники поверочные 90 (ГОСТ 3749—77) | 1 ... 10 мкм | 90° | Проверка перпендикуляр- ности |



овые меры

в соответствии с ГОСТ 2875—88 призматические угловые меры делятся на пять типов: I, II, III, IV, V с рабочими углами α , β , γ . Тип I имеет номинальные размеры угла α : от 1 до 29' через 2' и от 1 до 9° с градацией через 1°. Типы II, III, IV, V имеют номинальные размеры угла α : от 10 до 75°50' с градацией

значений угла $15''$, $1'$, $10'$, 1° , $15^\circ 10'$. Соответствующим ГОСТ установлены номинальные размеры рабочих углов α , β , γ , δ для плиток типа III, призм типа IV и призм типа V.

По точности изготовления различают угловые меры трех классов: 0, 1, 2. Допускаемые отклонения рабочих углов, а также допускаемые отклонения от плоскостности и расположения измерительных поверхностей регламентируются в зависимости от типа мер и класса точности.

Так, допускаемые отклонения рабочих углов находятся в пределах от ± 3 до $\pm 5''$ для мер 0-го класса и в пределах $\pm 30''$ — для мер 2-го класса. Допускаемые отклонения от плоскостности установлены в пределах от 0,10 до 0,30 мкм.

Угловые меры комплектуются в наборы и могут поставяться в виде отдельных мер всех классов.

Рабочие поверхности угловых мер обладают свойством притираемости, т.е. из них могут создаваться блоки. С этой целью, а также для получения внутренних углов предусмотрены специальные принадлежности и лекальные линейки, которые комплектуются в набор принадлежностей. При составлении блоков угловых мер необходимо соблюдать те же правила, что и при составлении блоков из плоскопараллельных концевых мер длины (см. подразд. 4.4.1).

Угольники поверочные — угловая мера с рабочим углом 90° . При контроле с помощью угольников оценивается величина просвета между угольником и контролируемой деталью. Просвет определяется на глаз или сравнением с просветом, созданным при помощи концевых мер длины и лекальной линейкой, а также набором щупов.

В соответствии с ГОСТ 3749—77 угольники различаются:

- по конструктивным признакам — шесть типов (рис. 6.16);
- по точности — три класса (0, 1, 2).

Лекальные угольники (типы УЛ, УЛП, УЛШ и УЛЦ) изготавливаются закаленными классов 0 и 1 и применяются для лекальных и инструментальных работ (рис. 6.15, а, б).

Слесарные угольники типов УП и УШ (рис. 6.15, в, г) применяются для нормальных работ в машиностроении и приборостроении.

Допускаемые отклонения угольников установлены в зависимости от их класса и высоты H . Так, для угольника 1-го класса с высотой 160 мм отклонение от перпендикулярности измерительных поверхностей к опорам не должно превышать 7 мкм, отклонение от плоскостности и прямолинейности измерительных поверхно-

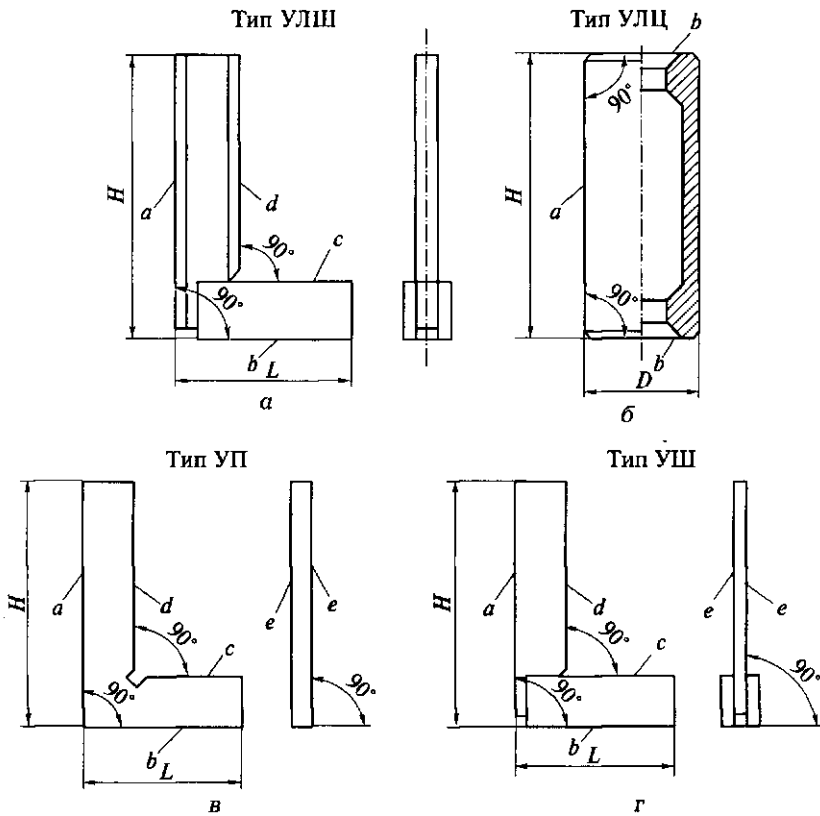


Рис. 6.15. Угольники поверочные:

а и б — лекальные угольники; в и г — слесарные угольники

стей должны находиться в пределах 3 мкм. Для угольника с высотой 400 мм эти значения составят соответственно: 12 и 5 мкм, а для аналогичных угольников 2-го класса — 30 и 10 мкм.

Угломерные приборы основаны на прямом измерении углов с помощью угломерной шкалы. Наиболее известными средствами измерения из этого ряда являются:

- угломеры с нониусом;
- оптические делительные головки (см. подразд. 4.4.4);
- оптические угломеры;
- уровни;
- гониометры и ряд других.

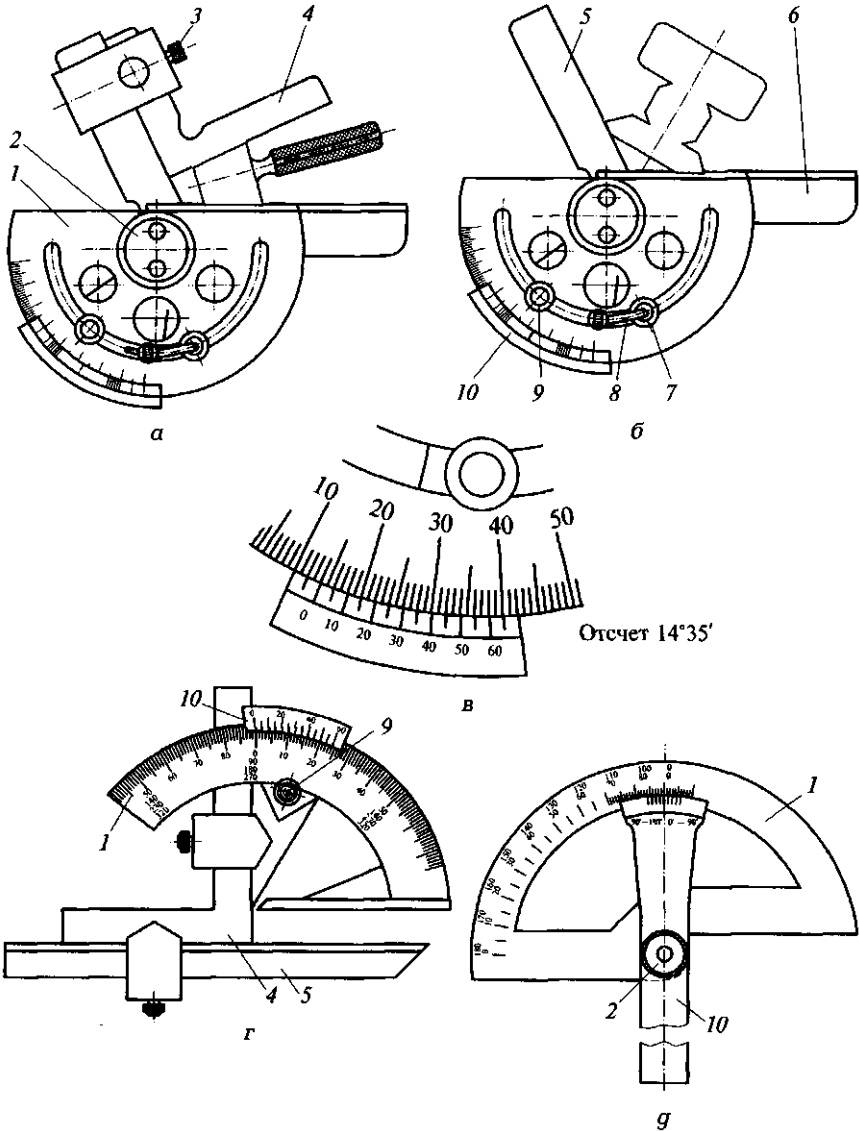


Рис. 6.16. Угломеры с нониусом:

а и б — угломеры типа УН; в — порядок отсчета по нониусу; г и д — угломеры типа УМ; 1 — полудиск; 2 — ось; 3 — винт зажима угольника; 4 — добавочный угольник; 5 — подвижная линейка; 6 — неподвижная линейка; 7 и 8 — устройства для микрометрической подачи; 9 — стопорный винт; 10 — нониус

Угломеры с нониусом (ГОСТ 5378—88) предназначены для измерения угловых размеров и разметки деталей. Угломеры выпускаются двух типов:

1) *угломеры типа УН* (рис. 6.16, а, б) предназначены для измерения наружных углов от 0 до 180°, внутренних углов от 40 до 180° и имеют величину отсчета по нониусу 2' и 5'. Угломер состоит из следующих основных деталей: полудиска (сектора) 1, неподвижной линейки 6, подвижной линейки 5, зажимного винта 3, нониуса 10, стопорного винта 9, устройства для микрометрической подачи 7 и 8, добавочного угольника 4, зажима добавочного угольника 3. Для измерения углов от 0 до 90° на линейку 6 устанавливается угольник 4. Измерение углов от 90 до 180° производится без угольника 4. Порядок отсчета на угловом нониусе угломера аналогичен отсчету на линейном нониусе штангенциркуля (рис. 6.16, в);

2) *угломеры типа УМ* предназначены для измерения наружных углов от 0 до 180° и имеют величину отсчета по нониусу 2' и 5' (рис. 6.16, г) и 15' (рис. 6.16, г). Предел допускаемой погрешности угломера равен величине отсчета по нониусу.

Для косвенных измерений углов при контрольно-измерительных работах, а также в процессе механической обработки применяют **синусные линейки**. Линейки выпускают трех типов (ГОСТ 4046—80):

- 1) тип ЛС (рис. 6.17, а) без опорной плиты с одним наклоном;
- 2) тип ЛСО (рис. 6.17, б) с опорной плитой с одним наклоном;
- 3) тип ЛСД (рис. 6.17, в) с опорной плитой с двумя наклонами.

Синусная линейка типа ЛС представляет собой стол 1, установленный на двух роликовых опорах 2. Боковые планки 3 и передняя планка 5 служат упорами для деталей, которые прикрепляются к поверхности стола прижимами с помощью резьбовых отверстий 4.

Синусные линейки выпускаются классов точности 1 и 2. Расстояние L между осями роликов может составлять 100, 200, 300 и 500 мм.

Измерение углов конусов на синусной линейке представлено на рис. 6.18. Стол 3, на котором закреплен конус 1, устанавливают на требуемый номинальный угол α к плоскости поверочной плиты 5 с помощью концевых мер длины 4. Размер блока концевых мер определяют по формуле

$$h = L \sin \alpha,$$

где α — угол поворота линейки; h — размер установочного блока концевых мер, мм; L — расстояние между осями роликов линейки, мм.

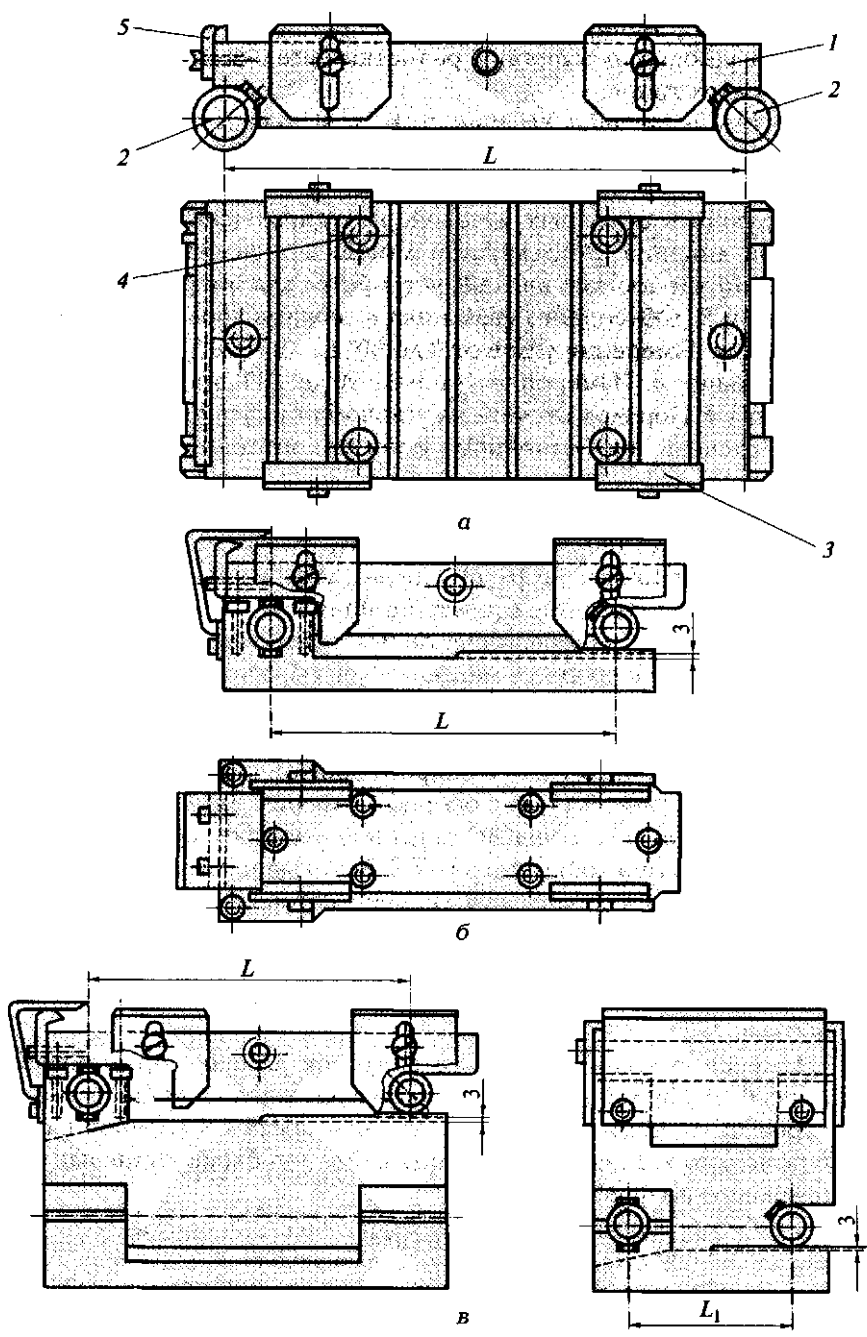


Рис. 6.17. Синусные линейки:

а — тип I; б — тип II; в — тип III: 1 — стол; 2 — роликовые опоры; 3 — боковые планки; 4 — резьбовые отверстия; 5 — передняя планка

Индикатором 2, укрепленным на штативе, определяют разность положений δ_h поверхности конуса на длине l . Отклонение угла при вершине конуса рассчитывают по формуле

$$\delta_\alpha = 2 \cdot 10^5 \delta_h / l (").$$

Действительный угол проверяемого конуса α_k определяют как

$$\alpha_k = \alpha \pm \delta_\alpha \pm \Delta_\alpha,$$

где Δ_α — погрешность измерения синусной линейкой, которая зависит от угла α , погрешности блока концевых мер длины и погрешности расстояния между осями роликов L .

Так, погрешности измерения углов синусными линейками с расстоянием между осями роликов 200 мм:

- для измеряемых углов до 15° составляет $3''$;
- при измерении углов до 45° — $10''$;
- при измерении углов до 60° — $17''$;
- при измерении углов до 80° — $52''$.

Пределы допускаемой погрешности линейек при установке их на углы до 45° не должны превышать для 1-го класса $\pm 10''$, а для 2-го класса — $\pm 15''$.

Стандарты:

ГОСТ 4046—80 «Линейки синусные. Технические условия»;

ГОСТ 8026—92 «Линейки поверочные. Технические условия»;

ГОСТ 9392—89 «Уровни рамные и брусковые. Технические условия»;

ГОСТ 11196—74 «Уровни с микрометрической подачей ампулы. Технические условия»;

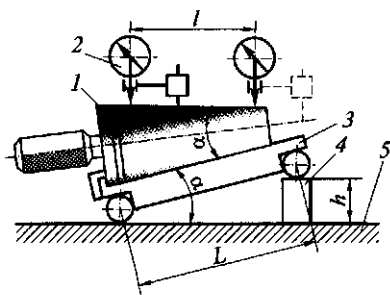


Рис. 6.18. Измерение углов конусов на синусной линейке:

- 1 — измеряемый конус; 2 — индикатор; 3 — стол; 4 — блок концевых мер длины; 5 — поверочная плита

ГОСТ 2875—88 «Меры плоского угла призматические. Общие технические условия»;

ГОСТ 5378—88 «Угломеры с нониусом. Технические условия»;

ГОСТ 3749—77 «Угольники поверочные 90 град. Технические условия».

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назовите основные элементы конусов и конических сопряжений.
2. Как можно классифицировать конические соединения по конструкции и назначению?
3. Какие элементы конусов, углов и соединений регламентирует ГОСТ 8908—81?
4. Какие бывают посадки у конических соединений и каковы способы нормирования допусков диаметра конуса?
5. В чем заключается различие между инструментальными конусами?

ДОПУСКИ, ПОСАДКИ И КОНТРОЛЬ РЕЗЬБОВЫХ ДЕТАЛЕЙ И СОЕДИНЕНИЙ

7.1. ХАРАКТЕРИСТИКА КРЕПЕЖНЫХ РЕЗЬБ

В зависимости от эксплуатационного назначения резьбы делятся на две группы:

- 1) крепежные резьбы общего применения;
- 2) специальные резьбы с узкой областью применения (прямоугольные, конические, трапецеидальные и т. д.).

В свою очередь резьбы первой группы можно подразделить на следующие виды:

- **крепежные** (метрические и дюймовые), используемые в разъемных соединениях деталей машин, обеспечивающих плотность соединений и неподвижность стыков;
- **кинематические**, применяемые для точного взаимного перемещения деталей машин при наименьшем трении (ходовые винты, винты суппортов станков и измерительных приборов) или для преобразования вращательного движения в прямолинейное (домкраты, прессы и т. д.);
- **трубные**, предназначенные для обеспечения герметичности соединений трубопроводов с их арматурой.

Кроме того, резьбы можно классифицировать по форме профиля (треугольные, трапецеидальные, прямоугольные);

числу заходов (однозаходные и многозаходные);

форме винтовой поверхности (цилиндрические и конические);

направлению винтовой линии (правые и левые).

Основными требованиями ко всем резьбам независимо от их назначения являются долговечность и свинчиваемость без дополнительной пригонки.

ГОСТ 9150—2002 «Основные нормы взаимозаменяемости. Резьба метрическая. Профиль» и ГОСТ 24705—2004 «Основные нормы

взаимозаменяемости. Резьба метрическая. Основные размеры» регламентируют основные параметры и размеры метрической резьбы общего назначения с диаметрами и шагами, соответствующими ГОСТ 8724—2002 «Основные нормы взаимозаменяемости. Резьба метрическая. Диаметры и шаги» (рис. 7.1):

- d — наружный диаметр наружной резьбы (болт);
- D — наружный диаметр внутренней резьбы (гайка);
- d_2 — средний диаметр болта;
- D_2 — средний диаметр гайки;
- d_1 — внутренний диаметр болта;
- D_1 — внутренний диаметр гайки;
- d_3 — внутренний диаметр болта по дну впадины;
- P — шаг резьбы;
- H — высота исходного треугольника;
- α — угол профиля резьбы.

Кроме того, установлены следующие параметры:

- β и γ — угол наклона сторон профиля;
- φ — угол подъема резьбы;
- H_1 — рабочая высота профиля;
- l — длина свинчивания.

ГОСТ 24705—2004 предусматривает общий для болта и гайки основной профиль и номинальные размеры наружного, среднего и внутреннего диаметров. По этому же стандарту предусмотрены плоские срезы на расстоянии $H/8$ от вершины теоретического

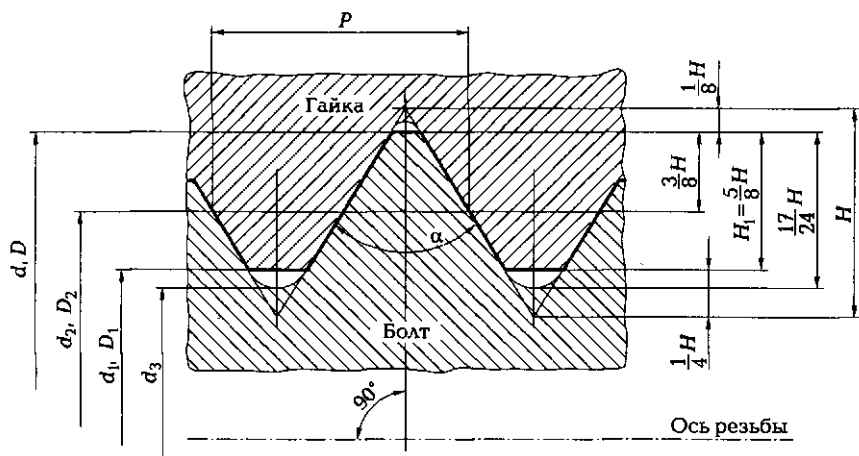


Рис. 7.1. Основные параметры резьбы

профиля наружного диаметра болта и на $H/4$ по внутреннему диаметру гайки. Такой профиль болта и гайки в резьбовом соединении позволяет повысить его прочность, увеличить самоторможение резьбы и упростить технологию ее образования.

Широкое распространение резьбовых соединений вызывает особые требования к их взаимозаменяемости.

Взаимозаменяемость и точность резьбовых сопряжений зависят от точности выполнения наружного, внутреннего и среднего диаметров резьбы болта и гайки, размеров шага и половины угла профиля резьбы.

Болт и гайка сопрягаются между собой по боковым сторонам профиля, поэтому предельные контуры резьбовых изделий должны иметь четкие ограничения.

Свинчиваемость резьбы обеспечивается в том случае, если действительный контур каждой детали не выходит за предельный контур (предельный контур ограничивает максимальную высоту (величину) снимаемого металла при обработке).

Отклонения размеров в резьбовой детали на чертежах и схемах откладываются перпендикулярно оси резьбы.

Основным посадочным размером является средний диаметр, который определяет характер соединений. При сопряжении наружных диаметров болта и гайки, т.е. по впадинам и выступам резьбы, для исключения заклинивания резьбы предусматриваются зазоры.

Стандартом предусмотрены следующие ограничения резьбового профиля (рис. 7.2):

допуски на средний диаметр болта и гайки — Td_2 и TD_2 ;

допуск на наружный диаметр болта — Td ;

допуск на внутренний диаметр гайки — TD_1 .

Нижнее отклонение e_i внутреннего диаметра d_1 наружной резьбы (болта) не устанавливается. Диаметр d_1 косвенно ограничивается геометрической формой и равен или меньше номинального значения.

Верхнее отклонение ES наружного диаметра D внутренней резьбы (гайки) также не устанавливается и косвенно ограничивается геометрической формой профиля. Диаметр D равен номинальному значению или больше него.

Таким образом, допуски на наружный диаметр D гайки TD и внутренний диаметр d_1 болта Td_1 не устанавливаются.

На шаг P и половину угла профиля $\alpha/2$ резьбы допуски отдельно не устанавливаются, так как погрешность их изготовления тесно связана с действительным средним диаметром.

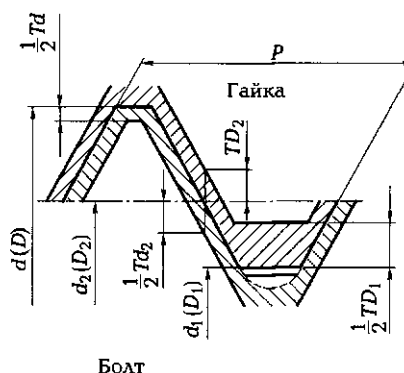


Рис. 7.2. Допуски отдельных параметров резьбового профиля

При изготовлении резьбовых изделий неизбежно появление погрешности резьбового профиля и его размеров, отклонения от круглости, цилиндричности болта и гайки и т. д.

В процессе нарезания резьбы возникают погрешности шага, которые подразделяются на прогрессивные и местные.

Прогрессивные погрешности возрастают пропорционально числу витков и возникают из-за кинематической погрешности элементов станка.

Местные погрешности образуются вследствие местного износа резьбы ходового винта станка, неоднородности материала заготовки, погрешностей шага резьбонарезного инструмента и т. д.

На рис. 7.3 представлены прогрессивные погрешности шага ΔP_n при нарезании резьбы, которые могут быть компенсированы соответствующим изменением среднего диаметра резьбы.

Для свинчивания болта с гайкой необходимо уменьшить средний диаметр болта d_2 или увеличить средний диаметр гайки D_2 на величину f_p — диаметральную компенсацию погрешности шага.

Необходимое изменение диаметров можно рассчитать из треугольника abc (см. рис. 7.3):

$$f_p = \Delta P_n \operatorname{ctg}(\alpha/2),$$

где ΔP_n — накопленная погрешность n шагов.

Диаметральная компенсация шага характеризует изменение средних диаметров резьбы болта и гайки, численно равна разности их значений и зависит от накопленной погрешности шага.

Погрешность угла профиля может быть вызвана погрешностями профиля резьбонарезного инструмента, его установки, переко-

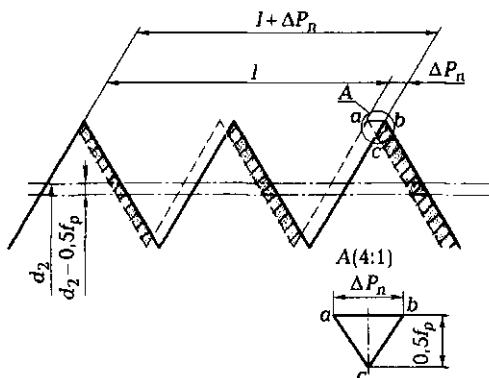


Рис. 7.3. Схема компенсации погрешностей шага резьбы

сом оси детали и т.д. Анализируя погрешность угла профиля, обычно рассматривают половину угла профиля $\alpha/2$ (для метрической резьбы $\alpha/2 = 30^\circ$). Эту погрешность также можно компенсировать изменением средних диаметров болта и гайки.

На рис. 7.4 представлена схема диаметральной компенсации погрешности половины угла профиля для метрической резьбы. Эту погрешность можно определить по формуле

$$f_\alpha = 0,36P\Delta(\alpha/2),$$

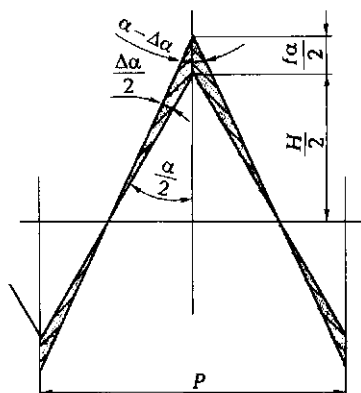


Рис. 7.4. Схема диаметральной компенсации погрешности половины угла профиля

где $\Delta\alpha/2$ — отклонение половины угла профиля резьбы болта или гайки (т.е. разность между действительными и номинальными значениями $\alpha/2$).

Таким образом, при наличии погрешностей шага и угла профиля свинчиваемость резьбы обеспечивается только в том случае, если зазор между средними диаметрами болта и гайки больше суммарной величины диаметральной компенсации погрешностей шага и половины угла профиля болта и гайки.

Для упрощения контроля и расчета допусков резьб используется понятие «приведенный средний диаметр», который равен:

для внутренней резьбы

$$D_{2\text{ пр}} = D_{2\text{ изм}} - (f_p + f_\alpha);$$

для наружной резьбы

$$d_{2\text{ пр}} = d_{2\text{ изм}} + (f_p + f_\alpha),$$

где $d_{2\text{ изм}}$, $D_{2\text{ изм}}$ — измеренные (действительные) средние диаметры болта и гайки.

Как уже отмечалось, основными параметрами, характеризующими характер резьбового сопряжения, его точность и прочность, являются средний диаметр, шаг и угол профиля резьбы. Учитывая, что эти параметры между собой связаны, отдельно их не нормируют (за исключением резьб с натягом, резьбовых калибров и резьбонарезного инструмента). Устанавливают суммарный допуск на средний диаметр болта Td_2 и гайки TD_2 :

$$Td_2(TD_2) = \Delta d_2(\Delta D_2) + f_p + f_\alpha,$$

где $\Delta d_2(\Delta D_2)$ — допускаемые отклонения самого среднего диаметра; f_p , f_α — диаметральные компенсации погрешности шага и угла профиля.

Таким образом, приведенный средний диаметр резьбы равен номинальному, если $f_p + f_\alpha = 0$. Исходя из этого можно считать, что номинальный средний диаметр является наибольшим приведенным для болта и наименьшим приведенным для гайки.

Следовательно, суммарный допуск Td_2 (TD_2) ограничивает: для наружной резьбы — наибольший приведенный средний диаметр (верхний предел) и наименьший средний диаметр (нижний предел); для внутренней резьбы — наименьший приведенный средний диаметр (нижний предел) и наибольший средний диаметр (верхний предел).

При контроле резьбовое изделие считается годным, если приведенный средний диаметр не выходит за указанные пределы.

Система допусков и посадок метрической резьбы регламентирована ГОСТ 16093—2004 «Основные нормы взаимозаменяемости. Резьба метрическая. Допуски. Посадки с зазором», ГОСТ 4608—81 «Основные нормы взаимозаменяемости. Резьба метрическая. Посадки с натягом», ГОСТ 24834—81 «Основные нормы взаимозаменяемости. Резьба метрическая. Переходные посадки», которые позволяют обеспечить широкое распространение резьб, облегчающих сборку соединений.

В зависимости от характера соединений по боковым сторонам (по среднему диаметру) посадки резьбовых сопряжений бывают с зазором, с натягом и переходные.

Допуски диаметров резьбы устанавливаются 10 степеней точности, которые обозначаются цифрами от 1 до 10 (10-я степень — наиболее низкая).

7.2. РЕЗЬБОВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ С ЗАЗОРОМ

Соединения с зазором выполняют как в системе отверстия (предпочтительнее), так и в системе вала. При изготовлении используют следующие степени точности:

для наружной резьбы по d — 4, 6; по d_2 — 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10*;

для внутренней резьбы по D_1 — 4, 5, 6, 7, 8; по D_2 — 4, 5, 6, 7, 8, 9* (* — для изделий из пластмасс).

Для получения посадок резьбовых изделий с зазором согласно ГОСТ 16093—2004 предусмотрены пять основных отклонений d , e , f , g , h для наружной резьбы и четыре E , F , G , H для внутренней (рис. 7.5).

Поле допуска диаметра резьбы образуют сочетанием основного отклонения, обозначаемого буквой, с допуском по принятой степени точности. В отличие от гладких цилиндрических сопряжений цифра степени точности пишется на первом месте. Например: 5H, 6G, 6e, 6f.

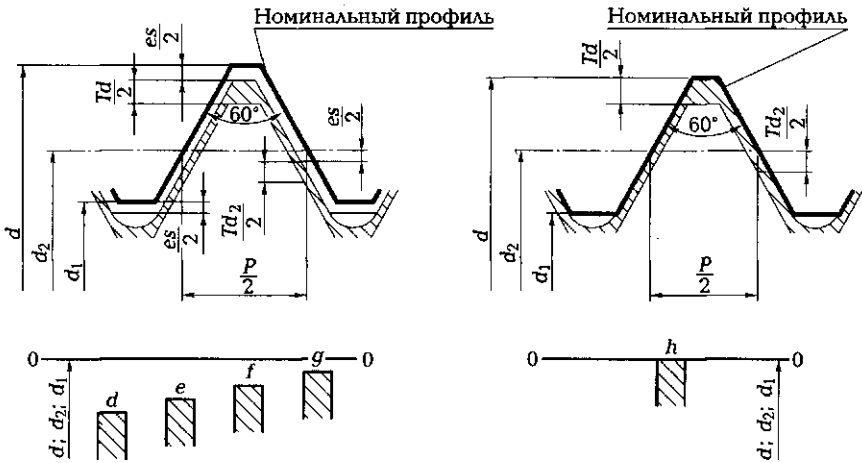
Выбор степени точности зависит от длины свинчивания и условий эксплуатации резьбового сопряжения. Длина свинчивания может относиться к одной из трех групп: S — короткие, N — нормальные и L — длинные. Обозначение группы длин свинчивания «нормальная» N в обозначении резьбы не указывается.

Существуют таблицы соответствия длины свинчивания и допустимой точности. Если длина свинчивания отличается от одной из указанных групп, ее отмечают в обозначении резьбового изделия.

Поля допусков наружной резьбы

С основными отклонениями d, e, f, g

С основным отклонением h



Поля допусков внутренней резьбы

С основными отклонениями E, F, G

С основным отклонением H

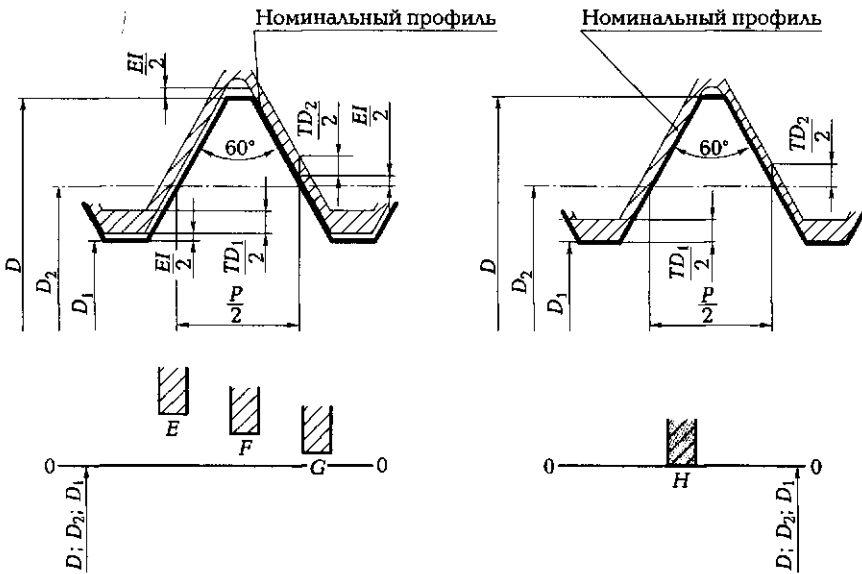


Рис. 7.5. Схемы расположения полей допусков посадок с зазором

Поля допусков болтов и гаек установлены для трех классов точности: точного, среднего и грубого (табл. 7.1).

Само понятие «классы точности» — условное и применяется для сравнительной оценки точности резьбы. Кроме того, при одном и том же классе точности допуск среднего диаметра следует увеличивать при длине свинчивания L и уменьшать при длине свинчивания S на одну степень по сравнению с допусками, принятыми для нормальной длины свинчивания N .

Следует также отметить, что допуск среднего диаметра является суммарным, а основным рядом допусков для всего диапазона размеров резьбы принят ряд степени точности 6. Допуски остальных степеней точности определяются умножением на соответствующие коэффициенты, приведенные в ГОСТ 16093—2004. При этом допуск на средний диаметр гайки TD_2 больше допуска среднего диаметра болта Td_2 на 1/3.

На сборочных чертежах и в технической документации посадки резьбовых сопряжений обозначают дробью, где в числителе указывают поля допусков гайки, в знаменателе — поля допусков болта, а само поле допуска резьбы следует за обозначением размера резьбы, например:

$$M10 \times 1 - \frac{5H6H}{5g6g} - 30,$$

где M — резьба метрическая; 1 — шаг резьбы (мелкий); $5H$ — допуск среднего диаметра TD_2 гайки; $6H$ — допуск внутреннего диаметра TD_1 гайки; $5g$ — допуск среднего диаметра Td_2 болта; $6g$ — допуск наружного диаметра Td болта; 30 — длина свинчивания (если отличается от N , S , L).

Условное обозначение для внутренней резьбы $M10 \times 1 - 5H6H - 30$ и для болта $M10 \times 1 - 5g6g - 30$.

Если обозначение поля допуска диаметра выступов совпадает с допуском среднего диаметра, например $5H5H$ для гайки или $5g5g$ для болта, то его в обозначении поля допуска резьбы не повторяют:

$$M10 \times 1 - \frac{5H}{5g} - 30.$$

Если шаг резьбы крупный, то его можно не указывать, например:

$$M10 - \frac{5H}{5g} - 30.$$

Таблица 7.1. Поля допусков, болтов и гаек

| Деталь | Класс точности | Поле допуска при длине свинчивания | | | | | | | | | | |
|--------|-----------------------------|------------------------------------|--------|------|------|-----------|-----------|------|--------|--------|--------|--------|
| | | S | | N | | | | | | L | | |
| Болт | Точный Средний Грубый | — | (3h4h) | — | — | — | (4g) | 4h | — | — | — | (5h4h) |
| | | 5g6g | (5h6h) | — | 6e | 6f | <u>6g</u> | 6h | (7e6e) | 7g6g | (7h6h) | |
| | | — | — | (6d) | (8e) | — | 8g | 8h | — | (9g8g) | — | |
| Гайка | Точный Средний Грубый | — | 4H | — | — | 5H | 5H | — | — | — | 6H | |
| | | (5G) | 5H | 6G | (7G) | <u>6H</u> | 7H | (7G) | (7G) | 7H | | |
| | | — | — | — | — | 7H | — | — | (8G) | 8H | | |

Примечание. Поля допусков, заключенные в рамки, рекомендуются для предпочтительного применения; поля допусков, заключенные в скобки, применять не рекомендуется.

7.3. РЕЗЬБЫ С НАТЯГОМ

В технике широко используются резьбовые соединения с натягом по среднему диаметру. Эти соединения применяют в тех случаях, когда необходимо обеспечить герметичность и не допустить самоотвинчивания шпилек под действием резких перепадов температуры, вибраций и т.д. Например, шпильку вворачивают в корпус двигателя (гнездо) так туго, чтобы она не проворачивалась при затяжке и отвинчивании гайки, накрунутой на другой конец шпильки.

Сопряжения с натягом выполняют в системе отверстия, что вызвано технологическими особенностями обработки и преимуществами системы отверстия перед системой вала.

Для посадок с натягом необходимо устанавливать более жесткие допуски, чем при соединениях с зазором, поэтому для резьб с натягом допуск на средний диаметр резьбы (TD), (Td_2) установлен для гнезд по степени точности 2, а для шпилек — по степеням точности 2, 3 (рис. 7.6).

Кроме того, для получения стабильного натяга резьбовые изделия сортируют на группы, и на сборку поступают детали из одноименных групп. Маркировка числа групп сортировки предусмотрена после указания допусков элементов резьбы в скобках, например:

$$M12 - \frac{2H5C|2|}{5p|2|}.$$

Допускается применение посадок без сортировки деталей на группы.

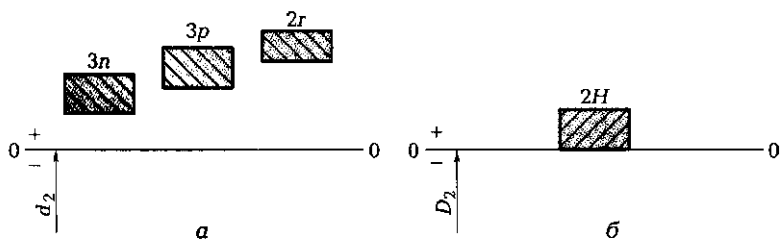


Рис. 7.6. Расположение полей допусков резьбы с натягом:
а — гнезд; б — шпилька

Выбор посадок в сопряжениях с натягом зависит от материала, из которого изготовлен корпус, т. е. гнездо. Так, корпуса чугунные или из алюминиевых сплавов предполагают использование посадок

$$\frac{2H5D}{2r} \text{ или } \frac{2H5C}{2r};$$

корпуса из магниевых сплавов

$$\frac{2H5D}{3p} \text{ или } \frac{2H5C}{3p};$$

корпуса стальные или из титановых сплавов

$$\frac{2H4D}{3n} \text{ или } \frac{2H4C}{3n}.$$

Допуск среднего диаметра таких резьб является не суммарным, а допуском на средний диаметр. Отклонения половины угла профиля и шага нормируются отдельно.

По наружному и внутреннему диаметрам предусмотрены зазоры, предотвращающие заклинивание резьбы. При назначении этих зазоров следует учитывать, что после свинчивания гнезда и шпильки вследствие остаточной деформации витков диаметр шпильки увеличивается, а внутренний диаметр резьбы гнезда уменьшается пропорционально увеличению натяга. В результате действительные зазоры по наружному и внутреннему диаметрам оказываются меньше нормируемых.

Для повышения циклической прочности шпилек необходимо, чтобы зазор по внутреннему и наружному диаметрам обеспечивался и после свинчивания деталей.

Переходные посадки резьбовых сопряжений установлены по ГОСТ 24834—81.

7.4. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ РЕЗЬБЫ

Резьбовые изделия контролируются в основном двумя методами: дифференцированным и комплексным.

Дифференцированный метод контроля заключается в измерении каждого элемента резьбы в отдельности (наружного и вну-

треннего диаметров, среднего диаметра, шага и угла профиля). Метод достаточно трудоемок, поэтому его применяют для контроля точных резьб: резьбовых калибров, ходовых винтов станков, метчиков и т. д.

Комплексным методом контроля выявляют степень соответствия действительного контура резьбы предельному. Для комплексного метода используют предельные резьбовые калибры, проекторы и шаблоны с предельными контурами.

Калибры подразделяют на рабочие, приемные и контрольные.

Рабочие гладкие и резьбовые проходные (ПР) и непроходные (НЕ) калибры применяют для контроля изделий непосредственно на рабочем месте в процессе производства.

Приемные калибры используют для контроля изделий представителями завода-заказчика и контролерами ОТК.

Контрольные калибры предназначены для контроля и установки размеров рабочих калибр-колец или калибр-пробок.

Принцип контроля резьбы с помощью калибров заключается в следующем.

Если рабочий резьбовой проходной калибр свинчивается с проверяемой резьбы, то это значит, что приведенный средний диаметр, а также диаметры (наименьший внутренний для болта и наибольший наружный для гайки) не выходят за пределы поля допуска.

В случае годности резьбы непроходные резьбовые калибры, которыми проверяют только средний диаметр, не должны свинчиваться с резьбой более чем на два витка.

При изготовлении резьбовых калибров допусками ограничиваются все пять параметров резьбы: средний, наружный и внутренний диаметры, шаг и угол профиля.

При дифференцированном методе контроля используют универсальные средства измерения: инструментальные микроскопы и горизонтальные оптиметры — для измерения наружных и внутренних диаметров, шага и угла профиля; микрометры с тремя проволочками, штихмасы с резьбовыми вставками — для измерения среднего диаметра.

Основные параметры резьбы: собственно средний диаметр, наружный и внутренний диаметры, шаг и угол профиля можно контролировать с помощью универсальных или специализированных контрольных средств. Средний диаметр наружной резьбы контролируют с помощью универсальных средств без дополнительных приспособлений или с использованием резьбовых вставок, ножей, проволочек, роликов, а для внутренней резьбы — еще и шариков

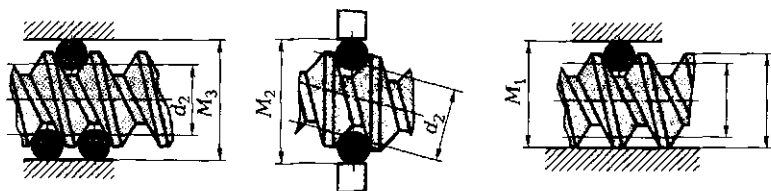


Рис. 7.7. Метод измерения среднего диаметра с помощью проволочек

или оттисков. Для измерения среднего диаметра наружной резьбы часто применяют метод трех, двух или одной проволочек. Цилиндрические элементы заданного диаметра (проволочки) закладывают во впадины резьбы, измеряют размер M , зависящий от среднего диаметра резьбы d_2 и диаметра $d_{\text{п}}$ проволочек (рис. 7.7).

Измерение размера M можно проводить различными средствами, например, используют длиномеры, оптиметры, микрометры и др.

Шаг резьбы измеряют с помощью универсальных или специальных средств. Из универсальных средств используют главным

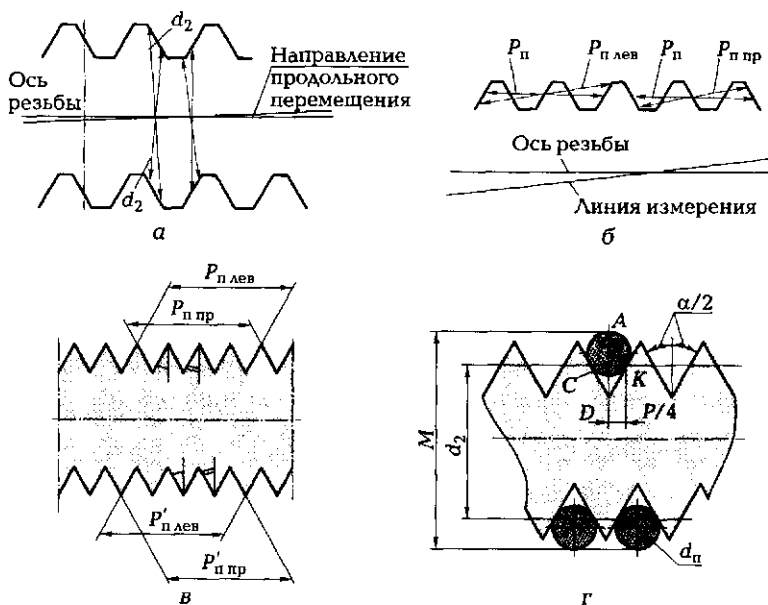


Рис. 7.8. Схемы измерения параметров резьбы:

а — среднего диаметра; б — шага; в — половины угла профиля; г — среднего диаметра тремя проволочками

образом микроскопы, перекрестия которых последовательно наводят на правые и левые стороны профиля резьбы. Это делается для того, чтобы исключить погрешность от перекоса оси резьбы относительно линии измерения в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Шаг необходимо измерять по правым и левым сторонам профиля и с обеих его сторон для повышения точности измерений. На рис. 7.8 показаны схемы измерения указанных параметров.

Шаг резьбы можно измерять также методом сравнения либо с образцовой деталью, либо со штриховой мерой. Современные информационно-измерительные приборы позволяют измерять все параметры резьбы и проводить анализ полученной информации с использованием компьютерной техники.

Как правило, проводят многократные измерения в целях уменьшения погрешности измерения.

Большое распространение получили автоматические средства контроля отдельных элементов резьбы (например, автомат БВ-538), которые значительно сокращают продолжительность измерения и обеспечивают высокую достоверность результатов измерения при измерении среднего диаметра.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. На какие группы делятся резьбы по эксплуатационному признаку?
2. Какие основные параметры резьбы регламентированы ГОСТ 9150—2002?
3. Какие элементы резьбы ограничиваются допусками?
4. Что такое приведенный средний диаметр?
5. Какие посадки используются в резьбовых соединениях?
6. Каковы основные степени точности в соединениях с зазором?
7. Где и как используются резьбовые соединения с натягом?
8. Какими бывают длины свинчивания?
9. Как обозначаются резьбовые соединения на чертежах?

ДОПУСКИ, ПОСАДКИ И КОНТРОЛЬ ШПОНОЧНЫХ И ШЛИЦЕВЫХ ДЕТАЛЕЙ И СОЕДИНЕНИЙ

8.1. ШПОНОЧНЫЕ ДЕТАЛИ И СОЕДИНЕНИЯ

Для передачи крутящих моментов при соединении различных шкивов, рукояток, зубчатых колес, втулок в машиностроении часто используют шпоночные и шлицевые соединения. Шпоночные соединения применяют также для фиксации деталей в определенном положении в сборочном узле или в машине.

Шлицевые соединения, в отличие от шпоночных, обеспечивают более высокое центрирование деталей и передают большие крутящие моменты.

Шпоночные соединения отличаются простотой, компактностью, удобством разборки и сборки соединений. Шпонки бывают призматические, сегментные, клиновые и тангенциальные.

Наибольшее распространение получили призматические шпонки, которые могут быть трех исполнений (рис. 8.1):

- закрытые по обоим концам (исполнение А);
- прямоугольные (исполнение В);
- с закруглением на одном конце (исполнение С).

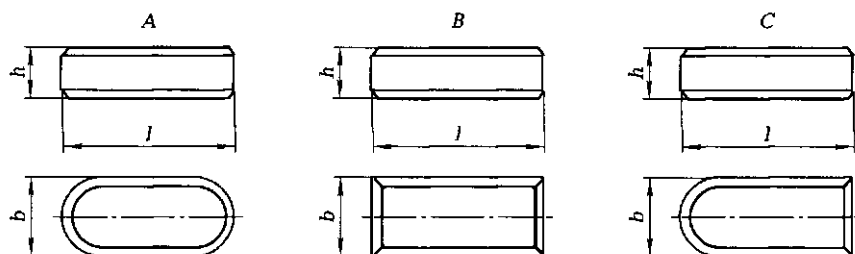


Рис. 8.1. Виды призматических шпонок:

а — исполнение А; *б* — исполнение В; *в* — исполнение С

Призматические и сегментные шпонки передают рабочие усилия боковыми сторонами, а по высоте между пазом втулки и шпонкой предусматривается гарантированный зазор. Шпонки должны надежно крепиться в пазу вала и не выпадать из него, а сам паз при этом располагаться симметрично относительно оси вала (рис. 8.2).

Шпоночные соединения выполняются в системе вала, что позволяет изготавливать шпонки централизованно.

Предельные отклонения размеров шпонок нормируются ГОСТ 23360—78 «Основные нормы взаимозаменяемости. Соединения шпоночные с призматическими шпонками. Размеры шпонок и сечений пазов. Допуски и посадки». Предельные отклонения ширины шпонки b приняты по $h9$, а для высоты шпонки h — по $h11$. На длину шпонки и глубину пазов назначаются отклонения по $h14$.

Выбор посадок для деталей шпоночного соединения производится в зависимости от эксплуатационного назначения узла. Стандартом установлено три вида соединений (рис. 8.3): свободное, нормальное и плотное.

Приняты следующие предельные отклонения размеров для ширины шпонки и ширины пазов вала и втулки:

- при свободном соединении** — ширина шпонки $h9$,
 ширина паза вала $H9$,
 ширина паза втулки $D10$;
- при нормальном соединении** — ширина шпонки $h9$,
 ширина паза вала $N9$,
 ширина паза втулки $Js9$;

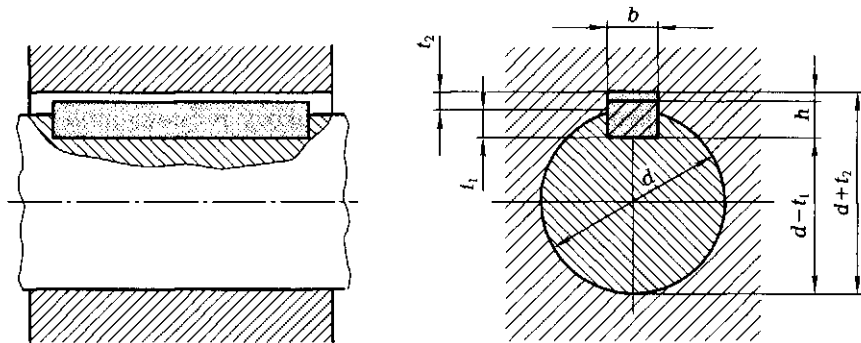


Рис. 8.2. Основные элементы шпоночного соединения

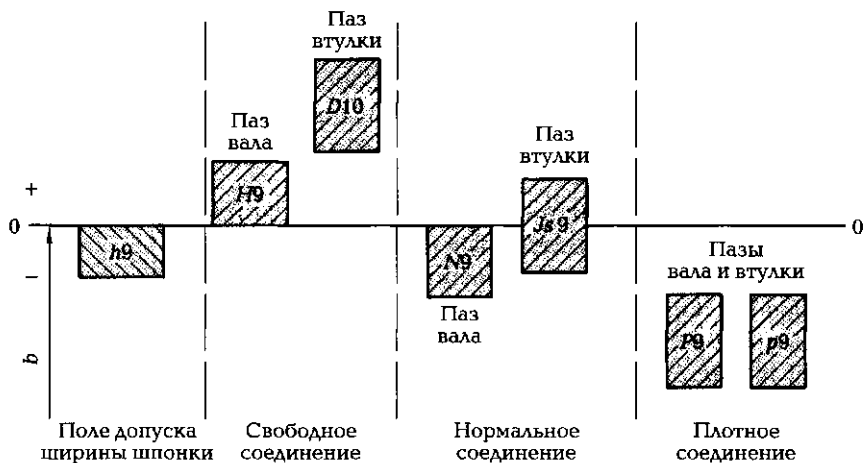


Рис. 8.3. Схема расположения полей допусков по ширине шпонки

при плотном соединении — ширина шпонки $h9$,
 ширина паза вала $P9$,
 ширина паза втулки $p9$.

Выбирая вид соединения, следует иметь в виду, что свободное соединение обеспечивает подвижность сопряженных деталей при условиях затрудненной сборки; нормальное соединение — неподвижность разъемных соединений при хороших условиях сборки; плотное соединение целесообразно при реверсивных нагрузках с напрессовкой деталей при сборке.

Шпоночные соединения имеют ряд недостатков: они не могут передавать большие крутящие моменты, обеспечивают центрирование хуже, чем шлицевые соединения, нагрузка между шпонками распределяется неравномерно. Кроме того, возможны смятие и срез шпонок, что может привести к перекосу и смещению втулок или другим неблагоприятным последствиям.

Для контроля пазовых и шпоночных соединений используются калибры пазовые шпоночные, калибры пазовые, калибр-пробки комплексные шпоночные и калибр-призмы шпоночные. Эти калибры изготавливают по ГОСТ 2015—84 «Калибры гладкие нерегулируемые. Технические требования».

Допуски калибров для шпоночных соединений устанавливаются по ГОСТ 24109—80 «Калибры для шпоночных соединений. Допуски».

8.2. ШЛИЦЕВЫЕ ДЕТАЛИ И СОЕДИНЕНИЯ

В связи с ростом требований к качеству изделий, их долговечности и обеспечению высокой точности центрирования и передачи больших крутящих моментов все более широкое применение находят шлицевые соединения.

По профилю зуба шлицевые соединения делятся на **прямобоочные, эвольвентные, треугольные**.

Прямобоочные шлицевые соединения более распространены, однако эвольвентные соединения имеют ряд преимуществ: они могут передавать большие, чем прямобоочные, крутящие моменты, имеют меньшую концентрацию напряжений, проще в изготовлении, лучше центрируют сопрягаемые детали, более долговечны.

Шлицевые соединения с треугольным профилем применяют для передачи небольших крутящих моментов при тонкостенных втулках и посадках с натягом.

Для прямобоочных шлицевых соединений в зависимости от передаваемых нагрузок при одном и том же номинальном диаметре сопряжений предусмотрены три серии соединений: **легкая, средняя и тяжелая** (при этом средний диаметр не меняется, а меняется только число и высота зубьев). Число зубьев у прямобоочных соединений бывает четным:

у легкой и средней серии 6, 8, 10;

у тяжелой серии 10, 16, 20.

Согласно ГОСТ 1139—80 «Основные нормы взаимозаменяемости. Соединения шлицевые прямобоочные. Размеры и допуски» и

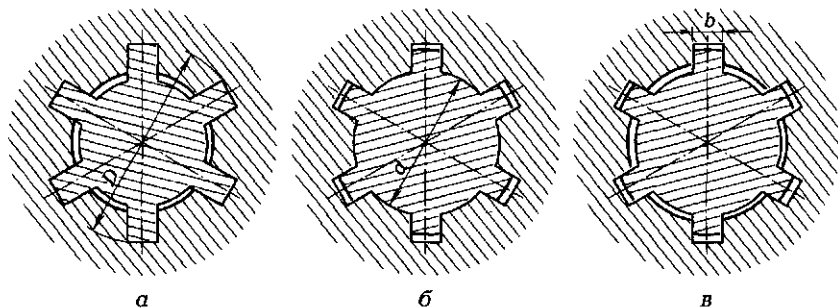


Рис. 8.4. Виды центрирования прямобоочных шлицевых соединений:
а — центрирование по наружному диаметру; б — центрирование по внутреннему диаметру; в — центрирование по боковым сторонам зубьев

ГОСТ 25346 — 2013 в зависимости от эксплуатационных требований и технологии изготовления шлицов возможны три способа центрирования (рис. 8.4): по наружному диаметру — D (рис. 8.4, а); по внутреннему диаметру — d (рис. 8.4, б); по боковым сторонам зубьев — b (рис. 8.4, в).

Способ центрирования по внутреннему диаметру d обеспечивает точное центрирование и подвижность соединений при высокой твердости материала, из которого изготовлена втулка.

При центрировании по наружному диаметру D подвижность соединений не предусматривается, а сопрягаемые детали термически не обрабатываются.

Способ центрирования по боковым сторонам зубьев b используется редко, в основном при передаче больших крутящих моментов и при знакопеременных нагрузках (реверсивном вращении). Этот способ позволяет равномерно распределить нагрузки между зубьями, но не обеспечивает высокой точности центрирования.

Посадки строятся в системе отверстия и обеспечивают соединения одновременно по двум поверхностям: d и b , D и b или только по b . Предпочтение отдано системе отверстия, потому что в этом случае резко сокращается номенклатура дорогостоящих протяжек, которыми обрабатывают шлицевые втулки.

Стандартом установлено большое число посадок для сопряжения вала и втулки. Рассмотрим наиболее предпочтительные из них:

- при центрировании по внутреннему диаметру d следует использовать посадки по внутреннему диаметру d :

$$\frac{H7}{f7}; \frac{H7}{gb}$$

посадки по ширине зуба b :

$$\frac{D9}{h8}; \frac{D9}{h9}; \frac{D9}{j7}; \frac{D9}{k7}; \frac{F10}{e8}; \frac{F10}{f9}; \frac{F10}{h7}; \frac{E10}{j7};$$

- при центрировании по наружному диаметру D необходимо выбирать посадки по наружному диаметру D :

$$\frac{H7}{f7}; \frac{H7}{j6};$$

посадки по ширине зуба b :

$$\frac{F8}{f7}; \frac{F8}{f8}; \frac{F8}{j7}; \frac{D9}{j7};$$

- при центрировании по боковым поверхностям зубьев b используют посадки по b :

$$\frac{F8}{j7}; \frac{D9}{e8}; \frac{D9}{f8}; \frac{F10}{d9}; \frac{F10}{f8}; \frac{F10}{k7}.$$

Для нецентрирующих диаметров установлены следующие поля допусков: при центрировании по d или b : $d_{\text{вала}} — a11$ и $D_{\text{втулки}} — H12$; при центрировании по D или b : $d_{\text{вала}} — a11$ и $d_{\text{втулки}} — H11$.

Необходимо научиться расшифровывать условные обозначения шлицевых соединений на чертежах, в которых содержатся сведения о виде центрирования, числе зубьев и параметры d , D , или b .

Например:

$$d - 8 \times 36 \frac{H7}{e8} \times 40 \frac{H12}{a11} \times 7 \frac{D9}{f8},$$

где d — вид центрирования по внутреннему диаметру; 8 — число шлицов; $\frac{H7}{e8}$ — внутренний диаметр $d = 36$ мм и посадка по этому диаметру

диаметру $\frac{H7}{e8}$; $40 \frac{H12}{a11}$ — наружный диаметр $D = 40$ мм и посадка

по этому диаметру $\frac{H12}{a11}$; $7 \frac{D9}{f8}$ — ширина шлица 7 мм и посадка по размеру $b — \frac{D9}{f8}$.

При этом условное обозначение шлицевого вала будет выглядеть таким образом: $d - 8 \times 36e8 \times 40a11 \times 7f8$, а шлицевой втулки: $d - 8 \times 36H7 \times 40H12 \times 7D9$.

Рассмотрим другой пример:

$$D - 8 \times 36 \times 40 \frac{H7}{f7} \times 7 \frac{D9}{j7},$$

где D — вид центрирования по наружному диаметру; 8 — число шлицов; 36 — внутренний диаметр с посадкой $36 \frac{H11}{a11}$; 40 — на-

ружный диаметр с посадкой по $D — \frac{H7}{f7}$; $7 \frac{D9}{j7}$ — ширина шлица и посадка по этому размеру.

Пример условного обозначения при центрировании по b :

$$b - 8 \times 36 \times 40 \frac{H12}{a11} \times 7 \frac{D9}{js}.$$

Широкое распространение в технике получили шлицевые соединения с эвольвентными профилями по ГОСТ 6033—80 «Основные нормы взаимозаменяемости. Соединения шлицевые эвольвентные с углом профиля 30 град. Размеры, допуски и измеряемые величины», который рассматривает соединения с модулем от 0,5 до 3 мм и числом зубьев от 8 до 65.

Особая форма зуба (шлица) предполагает и другие способы центрирования, а именно центрирование по боковым поверхностям зубьев (рис. 8.5, а) или по наружному диаметру (рис. 8.5, б).

При центрировании по боковым сторонам установлены допуски на ширину впадины втулки l и толщину зуба вала S , которые имеют общий номинальный размер по дуге делительной окружности.

Для размера l установлено одно основное отклонение H с выполнением по 7, 9 или 11-й степени точности, т. е. $H7$, $H9$, $H11$.

Для параметра S (толщина зуба вала) установлено десять основных отклонений: a , c , d , f , g , h , k , n , p , r и допуски по 7, 8, 9, 10 и 11-й степеням точности. Соединения с центрированием по боковым сторонам зуба выполняются в системе отверстия.

Возможно центрирование и по наружному диаметру D . При этом посадки выбираются так же, как и для гладких цилиндрических соединений. Окружности впадин втулки D_i имеют допуск по $H7$ или $H8$, а окружности вершин зубьев вала выполняются с допусками $h6$, $js6$, $h6$ или $f7$.

При обозначении шлицевых соединений с эвольвентным профилем указываются номинальный диаметр D соединения, его модуль m и обозначение посадки, помещаемое после размеров центрирующих элементов, затем номер стандарта.

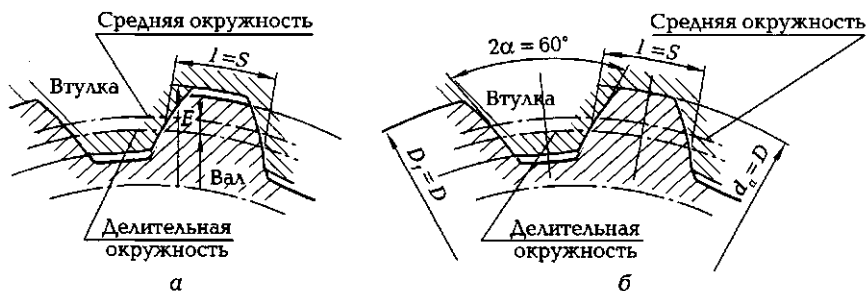


Рис. 8.5. Виды центрирования эвольвентных шлицевых соединений:
 а — центрирование по боковым сторонам зубьев; б — центрирование по наружному диаметру

Например:

1) $50 \times 2 \times \frac{H9}{g9}$ ГОСТ 6033—80, где 50 — номинальный диаметр соединения ($D = 50$ мм); 2 — модуль зуба; $\frac{H9}{g9}$ — центрирование по боковым сторонам с посадкой $\frac{H9}{g9}$;

2) $50 \times \frac{H7}{g6} \times 2$ ГОСТ 6033 — 80, где 50 — номинальный диаметр соединения; $\frac{H7}{g6}$ центрирование по D с посадкой $\frac{H7}{g6}$; 2 — модуль зуба.

Шлицевые соединения контролируются калибрами.

Наружный и внутренний диаметры валов и отверстий проверяются предельными калибрами, допуски которых устанавливаются по ГОСТ 24853—81 «Калибры гладкие для размеров до 500 мм. Допуски» в соответствии с номинальными размерами и допусками проверяемых диаметров.

Гладкие калибры для шлицевых соединений изготавливают по ГОСТ 2015—84.

Комплексные калибры (калибр-пробки и калибр-кольца) для шлицевых соединений изготавливают по ГОСТ 24959—81 «Калибры для шлицевых соединений. Технические условия».

Допуски комплексных калибров для шлицевых прямобоочных соединений устанавливают по ГОСТ 7951—80 «Калибры для контроля шлицевых прямобоочных соединений. Допуски».

Калибр-пробки (скобы) гладкие шлицевые прямобоочные используются для контроля наружного (внутреннего) диаметра шлицевых отверстий с прямобоочным профилем.

Виды и основные размеры комплексных калибров (калибр-пробки и калибр-кольца) устанавливают по ГОСТ 24960—81 «Калибры комплексные для контроля шлицевых прямобоочных соединений. Виды, основные размеры».

При этом в качестве проходных калибров используют комплексные калибры, а в качестве непроходных — поэлементные калибры: гладкие пробки, неполные гладкие пробки, пластины, предельные скобы.

Непроходным калибром проверяют каждый элемент профиля не менее трех раз. Изделие бракуют в случае хотя бы одного прохода калибра через контролируемый элемент.

Толщина зубьев и ширина впадины деталей эвольвентного шлицевого соединения проверяются средствами для контроля зуб-

чатых колес или с помощью калиброванных роликов, закладываемых во впадины зубьев.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Для чего предназначены шпоночные и шлицевые соединения?
2. Какие бывают шпонки?
3. Как нормируются допуски элементов шпоночного соединения?
4. В какой системе выполняются шпоночные соединения и какие бывают виды соединений?
5. Какие преимущества имеют шлицевые прямобочные соединения по сравнению с эвольвентными?
6. Расскажите об основных способах центрирования прямобочных соединений.
7. В какой системе и какие предпочтительные посадки используют в прямобочных шлицевых соединениях?
8. Какие виды центрирования используют при изготовлении эвольвентных шлицевых соединений?

ДОПУСКИ И КОНТРОЛЬ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС И ПЕРЕДАЧ

9.1. РАЗНОВИДНОСТИ ПЕРЕДАЧ ПО НАЗНАЧЕНИЮ

Наибольшее распространение в промышленности имеют зубчатые колеса с эвольвентным профилем зуба, который получают при механической обработке заготовок методом обкатывания (без скольжения) зуборезного инструмента.

По своему назначению зубчатые передачи можно разделить на 4 группы:

- отсчетные;
- силовые;
- скоростные;
- общего назначения.

Отсчетные (кинематические) передачи чаще всего используются в измерительных приборах, часах, счетно-решающих машинах, различных делительных механизмах и т. д., т. е. там, где требуется высокая согласованность углов поворота ведомого и ведущего колес, где основным показателем является высокая кинематическая точность.

Силовые передачи передают большие усилия при небольших скоростях вращения. Зубчатые колеса изготавливают с зубьями большой длины и большим модулем.

При работе зубчатых колес должна максимально использоваться площадь контакта зубьев, что и является основным эксплуатационным требованием к этим передачам.

Скоростные передачи используются в передачах с большими окружными скоростями (более 100 м/с). Такие передачи должны работать без вибраций и бесшумно.

Основное требование к этим передачам — плавность работы, что достигается высокой точностью изготовления формы и взаимного расположения зубьев колеса.

- накопленная погрешность шага зубчатого колеса;
- радиальное биение зубчатого венца;
- колебание длины общей нормали;
- колебание измерительного межосевого расстояния за один оборот зубчатого колеса;
- колебание измерительного межосевого расстояния на одном зубе.

При проектировании зубчатого колеса и передачи назначаются некоторые из этих параметров, но не все.

К параметрам норм плавности относятся:

- циклическая погрешность колеса и передачи;
- местные кинематические погрешности зубчатого колеса и передачи;
- отклонение шага зацепления;
- погрешность профиля зуба.

Для улучшения плавности работы передачи часто используют зубчатые колеса с модифицированным профилем головки зуба (рис. 9.2), при этом линия модификации представляет собой прямую, коэффициент модификации h_g должен быть не более 0,45, а коэффициент глубины модификации Δ — не более 0,02. В этом случае обеспечивается плавное вхождение зубьев в зацепление, улучшаются условия смазки передачи, снижаются шумность и динамические нагрузки в передаче.

Для тяжелонагруженных передач, работающих с невысокими скоростями, в целях повышения долговечности колес и их износостойкости нормируют контакт зубьев в передаче. При этом нормируются площадь и расположение области прилегания боковых поверхностей зубьев сопряженных колес. Неполное или неравномерное прилегание поверхностей зубчатых колес приводит к их интенсивному износу.

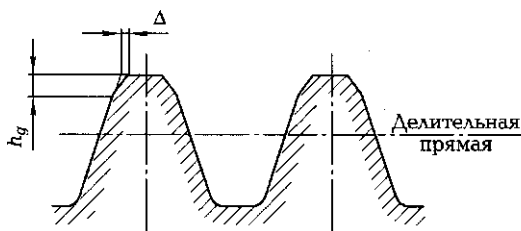


Рис. 9.2. Схема исходного контура с модификацией профиля головки зуба

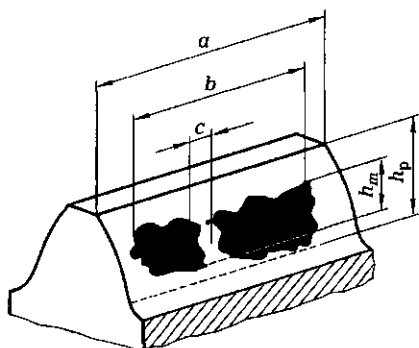


Рис. 9.3. Схема пятна контакта зубьев в передаче

Полнота контакта нормируется комплексным показателем — площадью суммарного пятна контакта (рис. 9.3), которое задается в процентном отношении как по длине зуба, так и по высоте:

по длине зуба — отношением суммарной длины пятна к общей длине зуба, %:

$$\frac{a-c}{b} 100;$$

по высоте зуба — отношением высоты следов прилегания к общей высоте зуба, %:

$$\frac{h_m}{h_p} 100.$$

Кроме суммарного пятна контакта на полноту контакта зубьев влияет взаимное расположение зубьев в передаче, т. е.:

- отклонение их осевых шагов от нормали;
- суммарная погрешность контактной линии;
- погрешность направления зубьев;
- отклонение от параллельности осей зубчатых колес в передаче и их перекос.

Для нормальной работы зубчатой передачи между активными боковыми поверхностями сопряженных колес должен быть зазор. Он необходим:

- для компенсации погрешностей изготовления и монтажа колес (эти погрешности могут быть вызваны неточностью подшипников и посадочных мест и т. д.);

- исключения заклинивания передачи в результате тепловых деформаций;
- обеспечения смазки, без которой невозможно нормальное функционирование передачи.

Боковой зазор определяют в сечении, перпендикулярном направлению зубьев, в плоскости, касательной к основным цилиндрам (рис. 9.4).

Стандартом установлен наименьший гарантированный зазор — $j_{n \min}$. Величина $j_{n \min}$ не зависит от степени точности колеса, а определяется условиями работы передачи (скоростью, нагревом, смазкой).

Предусмотрено шесть видов сопряжений с различной величиной $j_{n \min}$: *A, B, C, D, E, H* (рис. 9.5).

Как правило, вид сопряжения соответствует определенной степени точности по нормам плавности; например, при 3—12-й степенях точности используют вид сопряжения *A*, при 3—11-й — *B*, при 3—9-й — *C*, при 3—8-й — *D* и при 3—7-й — *E* и *H*.

На боковой зазор установлен допуск T_{jn} , величина которого зависит от вида сопряжения и точности передачи и увеличивается с увеличением бокового зазора.

Установлено восемь видов допусков T_{jn} на боковой зазор: *x, y, z, a, b, c, d, h*.

Как правило, определенным видам сопряжений соответствует и определенный вид допуска. Например, *H* и *E* соответствует вид допуска *h*; *D, C, B* и *A* соответствуют виды допусков *d, c, b, a*.

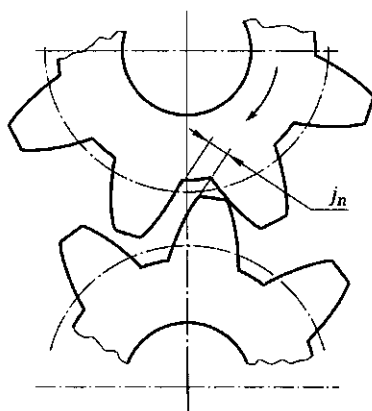


Рис. 9.4. Схема бокового зазора j_n в передаче

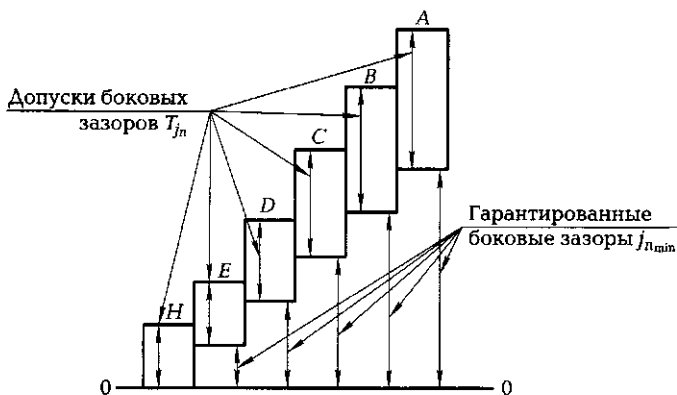


Рис. 9.5. Виды сопряжений и виды допусков T_{jn} на боковой зазор

Однако допускается изменять это соответствие, используя допуски x , y и z .

Стандартами установлено шесть классов отклонения межосевого расстояния, которые обозначаются римскими цифрами от I до VI (VI класс — при самой низкой точности). Сопряжениям H и E соответствует II класс отклонений межосевого расстояния, сопряжениям D , C , B и A — III, IV, V, VI класс соответственно. I класс зарезервирован для очень точных колес, получение которых пока технологически невозможно.

Гарантированный боковой зазор в передаче обеспечивается при изготовлении зубчатых колес путем **дополнительного смещения** профиля зуборезного инструмента к центру нарезаемого колеса на величину E_{HS} (относительно **номинального положения исходного контура**, рис. 9.6).

На величину E_{HS} установлен допуск T_H , величина которого зависит от допуска на радиальное биение. Кроме того, установлены допуски на длину общей нормали T_{wm} (рис. 9.7, а), а также предельные отклонения измерительного межосевого расстояния: $+E_{a''_s}$ — верхнее и $-E_{a''_i}$ — нижнее (рис. 9.7, б).

Условное обозначение зубчатых колес на чертежах должно включать в себя степень точности по нормам кинематической точности, плавности, контакта, а также вид сопряжения и вид допуска на боковой зазор. Например:

$$8 - 7 - 6 - C_b - II \text{ (ГОСТ 1643—81),}$$

где 8 — степень точности по нормам кинематической точности; 7 — степень точности по нормам плавности; 6 — степень точности

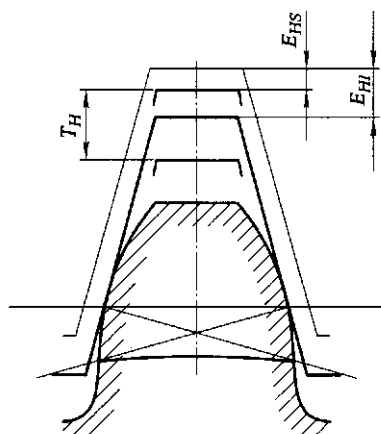


Рис. 9.6. Схема исходного контура после дополнительного смещения

по нормам контакта; C — вид сопряжения; b — вид допуска на боковой зазор; Π — класс отклонений межосевого расстояния.

Если на чертеже встретится более короткая запись условного обозначения, например $7 - B$ (ГОСТ 1643—81), то это означает, что данная передача имеет степень точности по нормам кинематической точности — 7, нормам плавности 7, нормам контакта 7, вид

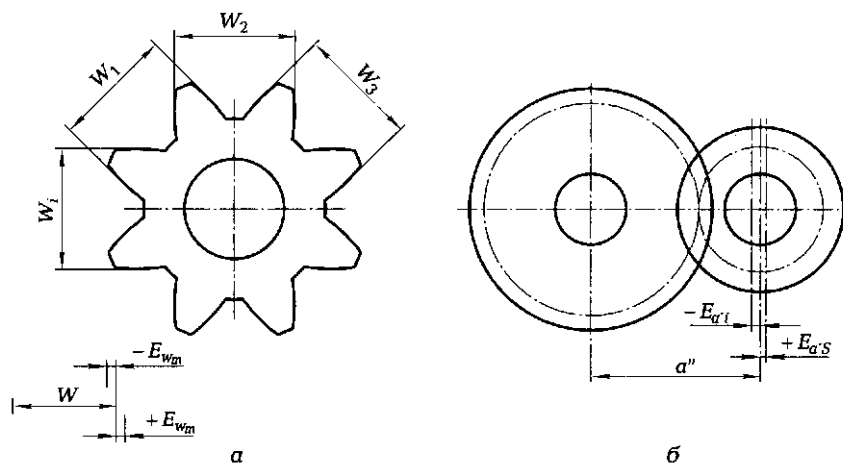


Рис. 9.7. Схема предельных отклонений:

a — длины общей нормали; b — измерительного межосевого расстояния

сопряжения V , вид допуска на боковой зазор b , класс межосевого расстояния V .

Таким образом, вид допуска на боковой зазор и класс отклонений межосевого расстояния проставляются только в том случае, если они не соответствуют виду сопряжения.

При контроле зубчатых колес в первую очередь следует отдавать предпочтение тем нормам, которые определяют назначение передачи. В процессе изготовления зубчатых колес и их последующего контроля используют приборы и оборудование для непосредственного контроля, а также для настройки зубообрабатывающего оборудования.

Для контроля колес в зависимости от типа производства, степени точности колес, их назначения и габарита ГОСТ 5368—81 «Приборы для измерения цилиндрических зубчатых колес. Типы и основные параметры. Нормы точности» устанавливает несколько комплексов контролируемых параметров. После выбора комплекса контролируемых параметров следует использовать такие методы контроля, которые максимально имитируют условия эксплуатации колес. Поэтому чаще проверяют колесо в зацеплении с измерительным колесом, чем отдельные параметры непосредственно на колесе.

Например, отдельные нормы кинематической точности, в частности колебание измерительного межосевого расстояния, можно контролировать на межцентромерах (рис. 9.8).

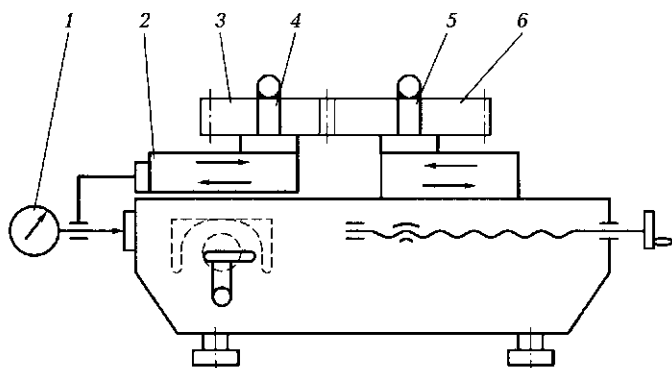


Рис. 9.8. Схема межцентромера:

1 — регистрирующий элемент; 2 — подвижная подпружиненная каретка; 3 — проверяемое колесо; 4 и 5 — шпиндели; 6 — измерительное колесо

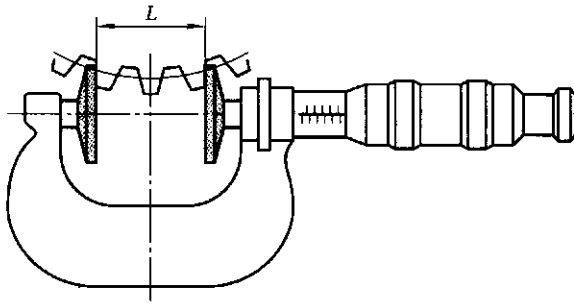


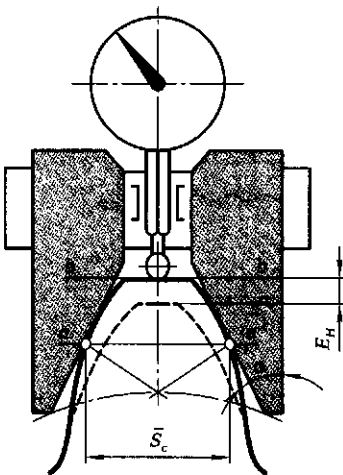
Рис. 9.9. Измерение длины общей нормали зубомерным микрометром

Эти приборы достаточно просты. На шпиндели 4 и 5 устанавливают проверяемое колесо 3 и измерительное колесо 6, которое является эталонным.

Колесо 6 со шпинделем 5 закрепляется на подвижной каретке, а колесо 3 — на подвижной подпружиненной каретке 2. Все неточности изготовления проверяемого колеса фиксируются регистрирующими элементами 1 при вращении зубчатой пары.

Колебание длины общей нормали измеряют с помощью зубомерных микрометров (рис. 9.9). Длину общей нормали можно проверить в любом месте зубчатого венца без предварительного базирования, лишь рассчитав необходимое число зубьев.

Без особого труда определяется и радиальное биение зубчатого венца на биенимерах.



Отдельные параметры норм плавности проверяют на эвольвентомерах, накладных шагомерах.

Размер пятна контакта и положение пятна на зубе контролируют по краске. Тонкий слой краски наносят на измерительное колесо и затем, после обработки его сопряженным про-

Рис. 9.10. Схема измерения смещения исходного контура инструмента для создания бокового зазора

веряемым колесом, измеряют площадь отпечатков, оставленных на проверяемом колесе.

Боковой зазор собранной передачи проверяют с помощью тонких свинцовых проволочек, которые закладывают и прокатывают между зубьями проверяемых колес. По их толщине после деформации судят о действительном боковом зазоре. Кроме того, боковой зазор можно проверить с помощью щупов.

При контроле отдельного колеса боковой зазор проверяют путем измерения толщины зуба \bar{S}_c , которая должна быть меньше номинального значения из-за смещения исходного контура режущего инструмента к центру нарезаемого колеса. Эти измерения можно провести с помощью тангенциальных зубомеров (рис. 9.10).

Номенклатура средств измерения и контроля зубчатых колес и передач огромна и она постоянно пополняется.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как подразделяются зубчатые передачи в зависимости от их назначения?
2. Какие особенности имеют отсчетные и силовые передачи?
3. Каковы основные требования к скоростным передачам и передачам общего назначения?
4. Сколько степеней точности установлено стандартом?
5. Какие группы независимых норм допусков вы знаете?
6. Сколько видов сопряжений и видов допусков на боковой зазор установлено стандартом?
7. Приведите примеры способов обозначения на чертежах точностных требований к колесам.

Список литературы

Зайцев С.А. Допуски и технические измерения / С.А. Зайцев, А.Д. Куранов, А.Н. Толстов. — М. : Издательский центр «Академия», 2017.

Измерения в промышленности : справ. изд. : в 3 кн. : [пер с нем.] / под ред. П.Профоса. — М. : Металлургия, 1990.

Колчков В.И. Метрология, стандартизация и сертификация : учебник / В.И. Колчков. — М. : ФОРУМ ; Инфра-М, 2013.

Контрольно-измерительные приборы и инструменты / [С.А. Зайцев, Д.Д. Грибанов, А.Н. Толстов, Р.В. Меркулов]. — М. : Издательский центр «Академия», 2018.

Лифиц И.М. Стандартизация, метрология и сертификация / И.М. Лифиц. — М. : Юрайт-Издат, 2007.

Марков Н.Н. Конструкция, расчет и эксплуатация контрольно-измерительных инструментов и приборов / Н.Н. Марков, Г.М. Ганевский. — М. : Машиностроение, 1993.

Машиностроение : энциклопедия. — Т. I—5 : Стандартизация и сертификация в машиностроении / [Г.П. Воронин, Ж.Н. Буденная, И.А. Коровкин и др.] ; под общ. ред. Г.П. Воронина. — М. : Машиностроение, 2000.

Метрология / [О.В. Бавыкин, О.Ф. Вячеславова и др.] ; под общ. ред. С.А. Зайцева. — М. : ФОРУМ ; ИНФРА-М, 2019.

Метрология, стандартизация и сертификация в машиностроении / [С.А. Зайцев, А.Н. Толстов, Д.Д. Грибанов, А.Д. Куранов]. — М. : Издательский центр «Академия», 2018.

Никифоров А.Д. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения / А.Д. Никифоров. — М. : Высш. шк., 2000.

Стандартизация и техническое регулирование / [Д.Д. Грибанов, С.А. Зайцев, А.В. Каргашов и др.]. — М. : Изд-во МГТУ «МАМИ», 2006.

Технический контроль в машиностроении. Справочник проектировщика / [В.Н. Чупырин, И.М. Дунаев, В.Г. Шолкин и др.] ; под общ. ред. В.Н. Чупырина, Л.Д. Никифорова. — М. : Машиностроение, 1987.

Якушев А.И. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения / А.И. Якушев, Л.Н. Воронцов, Н.М. Федотов. — М. : Машиностроение, 1987.

| | |
|---|-----------|
| Предисловие..... | 4 |
| Глава 1. Основы стандартизации..... | 5 |
| 1.1. Нормативно-правовая основа стандартизации..... | 5 |
| 1.2. Принципы стандартизации..... | 11 |
| 1.3. Документы в области стандартизации..... | 17 |
| Глава 2. Качество продукции..... | 28 |
| 2.1. Основные понятия и определения..... | 28 |
| 2.2. Управление качеством..... | 33 |
| Глава 3. Взаимозаменяемость деталей, узлов и механизмов..... | 35 |
| 3.1. Основные понятия о взаимозаменяемости деталей, узлов и механизмов..... | 35 |
| 3.2. Понятия о погрешности и точности размера..... | 39 |
| 3.3. Предпочтительные числа и ряды предпочтительных чисел..... | 41 |
| 3.4. Понятие о геометрических элементах и их характеристиках..... | 48 |
| 3.5. Геометрические характеристики изделий. Система допусков ИСО на линейные размеры..... | 56 |
| 3.5.1. Основные термины и определения..... | 57 |
| 3.5.2. Понятия о посадках..... | 61 |
| 3.5.3. Расчет посадок по предельным отклонениям..... | 65 |
| 3.5.4. Система посадок ИСО на гладкие цилиндрические соединения..... | 68 |
| 3.5.5. Условное обозначение посадок и классов допуска на чертежах..... | 83 |
| 3.5.6. Общая характеристика наиболее распространенных посадок..... | 83 |
| 3.5.7. Методы выбора посадок..... | 85 |
| 3.5.8. Порядок выбора и назначения квалитетов точности и посадок..... | 85 |
| 3.6. Взаимозаменяемость деталей по форме, ориентации, месторасположению и биению поверхностей..... | 92 |
| 3.6.1. Виды геометрических допусков..... | 92 |
| 3.6.2. Отклонения формы цилиндрических поверхностей..... | 112 |
| 3.6.3. Отклонения формы плоских поверхностей..... | 115 |
| 3.6.4. Указание геометрических допусков на чертежах..... | 116 |
| 3.6.5. Требование максимума материала. Требование минимума | |

| | |
|---|------------|
| материала. Требование взаимодействия | 122 |
| 3.7. Волнистость и шероховатость поверхности | 128 |
| 3.7.1. Основные термины и определения | 128 |
| 3.7.2. Обозначение шероховатости поверхности на чертежах | 134 |
| 3.7.3. Влияние волнистости и шероховатости поверхности на эксплуатационные свойства узлов и механизмов | 137 |
| Глава 4. Технические измерения | 142 |
| 4.1. Основные понятия по метрологии | 142 |
| 4.2. Основные понятия о метрологическом обеспечении изделий | 163 |
| 4.3. Средства измерений | 168 |
| 4.3.1. Термины и определения | 168 |
| 4.3.2. Классификация средств измерений по определяющим признакам | 171 |
| 4.3.3. Обобщенная структурная схема средств измерений | 175 |
| 4.3.4. Требования, предъявляемые к средствам измерений | 181 |
| 4.3.5. Метрологические характеристики средств измерений | 184 |
| 4.4. Средства измерений и контроля линейных размеров | 194 |
| 4.4.1. Плоскопараллельные концевые меры длины | 194 |
| 4.4.2. Измерительные линейки, штангенинструмент и микрометрический инструмент | 199 |
| 4.4.3. Средства измерений с механическим преобразованием | 209 |
| 4.4.4. Средства измерений с оптическими оптико-механическим преобразованием | 217 |
| 4.4.5. Средства измерений с пневматическим преобразованием | 227 |
| 4.4.6. Контроль калибрами | 232 |
| 4.4.7. Поверочные линейки и плиты | 239 |
| 4.4.8. Автоматические средства контроля | 244 |
| 4.4.9. Средства измерений и контроля волнистости и шероховатости | 262 |
| 4.4.10. Выбор средств измерений и контроля | 272 |
| 4.4.11. Проверка средств измерений | 278 |
| 4.5. Условия измерений и контроля | 280 |
| 4.6. Правовые основы обеспечения единства измерений в Российской Федерации | 284 |
| 4.6.1. Российская система измерений | 284 |
| 4.6.2. Федеральный закон Российской Федерации «Об обеспечении единства измерений» | 286 |
| Глава 5. Допуски размеров, входящих в размерные цепи | 296 |
| 5.1. Термины и определения | 296 |
| 5.2. Методы расчета размерных цепей | 300 |
| Глава 6. Допуски, посадки и контроль конических деталей и соединений | 306 |
| 6.1. Допуски углов конусов | 306 |
| 6.2. Допуски и посадки конических соединений | 310 |
| 6.3. Методы и средства измерений и контроля углов и конусов | 317 |

| | |
|---|-----|
| Глава 7. Допуски, посадки и контроль резьбовых деталей и соединений | 327 |
| 7.1. Характеристика крепежных резьб | 327 |
| 7.2. Резьбовые соединения с зазором..... | 333 |
| 7.3. Резьбы с натягом | 337 |
| 7.4. Методы и средства контроля резьбы..... | 338 |
| Глава 8. Допуски, посадки и контроль шпоночных и шлицевых деталей и соединений | 342 |
| 8.1. Шпоночные детали и соединения | 342 |
| 8.2. Шлицевые детали и соединения | 345 |
| Глава 9. Допуски и контроль зубчатых колес и передач | 351 |
| 9.1. Разновидности передач по назначению | 351 |
| 9.2. Допуски зубчатых колес и передач..... | 352 |
| Список литературы..... | 362 |

Учебное издание

**Зайцев Сергей Алексеевич,
Толстов Андрей Николаевич**

Технические измерения

Учебник

3-е издание, исправленное

Редактор *В. А. Савосик*

Компьютерная верстка: *Р. Ю. Волкова*

Корректор *Г. Н. Петрова*

Изд. № 103119187. Подписано в печать 25.03.2019. Формат 60 × 90/16.
Гарнитура «Балтика». Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 23,0.
Тираж 2500 экз. Заказ № 4515.

ООО «Издательский центр «Академия». www.academia-moscow.ru
129085, Москва, пр-т Мира, 101В, стр. 1.
Тел./факс: (495) 648-0507, 616-00-29.
Сертификат соответствия № РОСС RU.АД77.Н02114 от 31.05.2018.

Отпечатано в Акционерном обществе «Рыбинский Дом печати»
152901, г. Рыбинск, ул. Чкалова, 8.
e-mail: printing@r-d-p.ru www.r-d-p.ru

ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

ISBN 978-5-4468-8115-4



9 785446 881154

Издательский центр «Академия»
www.academia-moscow.ru