



УЧЕБНИКИ
И УЧЕБНЫЕ
ПОСОБИЯ

ДЛЯ СТУДЕНТОВ ВЫСШИХ
УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

И.С. СЕРЫЙ

ВЗАИМО- ЗАМЕНЯЕМОСТЬ СТАНДАРТИЗАЦИЯ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

ИЗДАНИЕ ВТОРОЕ,
ПЕРЕРАБОТАННОЕ И ДОПОЛНЕННОЕ

Допущено Управлением высшего и среднего специального образования Государственного агропромышленного комитета СССР в качестве учебника для студентов высших учебных заведений по специальностям «Механизация сельского хозяйства», «Сельское хозяйство» и «Механизация гидромелиоративных работ».

МОСКВА ВО «АГРОПРОМИЗДАТ» 1987



ББК 30ц

С33

УДК 621—182.8+006:621.002+621:53.08 (075.8)

Рецензент: заведующий кафедрой «Основы взаимозаменяемости и технические измерения» Московского ордена Трудового Красного Знамени института инженеров сельскохозяйственного производства им. В. П. Горячкина кандидат технических наук доцент А. А. Куликов.

Серый И. С.

С33 Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Агропромиздат, 1987. — 367 с.: ил. — (Учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений).

Изложены общие принципы стандартизации, рассмотрены вопросы метрологии, даны конструкции приборов и методы измерений, обеспечивающие взаимозаменяемость, особенно в автотракторном и сельскохозяйственном машиностроении.

Второе издание учебника (первое вышло в 1981 г.) написано в соответствии с новой программой.

Для студентов сельскохозяйственных вузов по специальностям «Механизация сельского хозяйства», «Механизация гидромелиоративных работ» и «Сельское хозяйство».

С $\frac{3802040400-435}{035(01)-87}$ 181—87

ББК 30ц

© Издательство «Колос», 1981

© ВО «Агропромиздат», 1987, с изменениями

ПРЕДИСЛОВИЕ

Основные направления экономического и социального развития СССР на 1986—1990 годы и на период до 2000 года определяют конкретные плановые задания по реализации программных целей КПСС. Высшей целью экономической стратегии партии был и остается неуклонный подъем материального и культурного уровня жизни народа. Реализация этой цели в предстоящем периоде требует ускорения социально-экономического развития, всемерной интенсификации и повышения эффективности производства на базе научно-технического прогресса.

Для повышения технического уровня и качества продукции, роста производительности труда, экономии трудовых и материальных ресурсов необходимо во всех отраслях народного хозяйства развивать и совершенствовать системы стандартизации на основе внедрения достижений науки, техники и практического опыта.

Необходимо усилить действенное и активное влияние стандартов на выпуск продукции, соответствующей по своим технико-экономическим показателям высшему мировому уровню. В этих целях в широких масштабах вводится государственная приемка продукции.

Сегодня, когда для производства одной машины необходима кооперация между сотнями предприятий различных отраслей промышленности, вопросы качества продукции невозможно решить без расширения работ по совершенствованию системы взаимозаменяемости, метрологического обеспечения, улучшения методов и средств контроля продукции.

Поэтому подготовка современного инженера включает освоение широкого круга вопросов, связанных со стандартизацией, взаимозаменяемостью и техническими измерениями.

Курс «Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения» является логическим завершением цикла общетехнических курсов теории механизмов и машин, технологии металлов, сопротивления материалов, деталей машин. Если другие курсы цикла служат теоретической основой проектирования машин и механизмов, использования типовых деталей машин, расчетов их на прочность и жесткость, то данный курс рассматривает вопросы обеспечения точности геометрических параметров как необходимого условия взаимозаменяемости и таких важнейших показателей качества, как надежность и долговечность. Задачи повышения качества изготовления, эксплуатации и ремонта сельскохозяйственной техники можно рассматривать комплексно, исполь-

зую принципы стандартизации, взаимозаменяемости и контроля установленных технических условий.

Цель дисциплины — выработка у будущих инженеров знаний и практических навыков использования и соблюдения требований комплексных систем общетехнических стандартов, выполнения точностных расчетов и метрологического обеспечения при изготовлении, эксплуатации и ремонте сельскохозяйственной техники.

В результате изучения курса и в соответствии с квалификационной характеристикой инженер-механик сельского хозяйства должен знать: основные положения, понятия и определения в области стандартизации; государственную систему стандартизации и ее роль в ускорении научно-технического прогресса, интенсификации производства, повышении качества сельскохозяйственной техники и экономической эффективности ее использования; основные вопросы теории взаимозаменяемости и технических измерений, правила обозначения норм точности в конструкторской и технологической документации; методики расчета и выбора стандартных посадок типовых соединений деталей машин; расчет размерных цепей; устройство средств измерения линейных и угловых величин, их настройку, правила эксплуатации и методику выбора. Инженер-механик должен иметь представление о Комплексной системе управления качеством продукции на этапах проектирования, выпуска, эксплуатации и ремонта, а также уметь практически выбирать точностные параметры по таблицам Единой системы допусков и посадок СЭВ, определять точностные показатели, используя современные методы расчета, обозначать нормы точности в сборочных и рабочих чертежах деталей, выбирать измерительные средства и пользоваться ими.

Знания, полученные при освоении курса, закрепляются при изучении специальных дисциплин («Технология сельскохозяйственного машиностроения», «Надежность и ремонт машин», «Эксплуатация машинно-тракторного парка» и др.), а также в процессе курсового и дипломного проектирования, поскольку организация производства, эксплуатации и ремонта машин основывается на обеспечении принципов стандартизации, взаимозаменяемости и использования надежных средств измерения.

Глава 1. СУЩНОСТЬ И ГОСУДАРСТВЕННАЯ СИСТЕМА СТАНДАРТИЗАЦИИ

На современном этапе развития науки и техники стандартизация охватывает все области жизни как на производстве, так и в быту. И каждый человек интуитивно представляет себе, что это такое. Однако дать краткое научное определение стандартизации невозможно.

Международной организацией по стандартизации (ИСО) принято следующее определение: «Стандартизация — установление и применение правил с целью упорядочения деятельности в определенной области на пользу и при участии всех заинтересованных сторон и, в частности, для достижения всеобщей оптимальной экономии при соблюдении условий эксплуатации (использования) и требований безопасности. Стандартизация основывается на объединенных достижениях науки, техники и практического опыта и определяет основу не только настоящего, но и будущего развития и должна осуществляться неразрывно с прогрессом».

§ 1. ВОЗНИКНОВЕНИЕ И РАЗВИТИЕ СТАНДАРТИЗАЦИИ

Потребность в «установлении и применении правил» появилась вместе с возникновением человеческого общества. Письменность, летосчисление, система счета, денежные единицы, единицы мер и весов — это первые шаги стандартизации.

Вместе с развитием производства развивалась стандартизация, способствовавшая, в свою очередь, более быстрому росту производительных сил.

Использование обработанных камней строго определенных (стандартных) размеров позволило соорудить в Древнем Египте пирамиды, имеющие правильную геометрическую форму. Камни массой в несколько тонн были настолько точно обработаны и так плотно прилегали один к другому, что между ними и сейчас нельзя просунуть иголку.

Стандартизованы были также детали катапульт. При этом размеры всех деталей зависели от одного главного параметра — длины стрелы, метаемой катапультой.

Применение 85 млн. стандартных кирпичей на строительстве Вавилонской башни высотой 90 м указывает на то, что существовали определенные правила при формовке и обжиге этих кирпичей.

В эпоху Возрождения развитие широких экономических связей вызвало большую потребность в морских торговых судах и боевых кораблях для их защиты. В Венеции еще в XV веке постройка судов и кораблей была организована в одном потоке. Унифицированные корпуса, т. е. одинаковые и для торговых судов и для боевых кораблей, спускали на воду и вводили в узкий канал, по обеим сторонам которого размещались рабочие с материалами, снаряжением. По мере продвижения по каналу корпус оснащали унифицированным оборудованием, а боевые корабли — и вооружением. В конце канала на судно грузили пресную воду, продовольствие, команда поднимала флаг и судно уходило в море. Скорость судов и боевых кораблей была одинаковой, что позволяло в бою держаться всем вместе. Запасные «стандартные» детали, такие как мачты, рули, хранили на складах венецианских консульств.

Затем этот опыт был забыт, и снова к нему вернулись только в середине XX века.

В России началом стандартизации можно считать введение в 1535 г. Иваном IV Указа о стандартных калибрах — кружал для контроля размеров ядер к пушкам.

В кораблестроении с 1701 г. указами Петра I и сената были определены образцы галер, брандеров, якорей, предметов корабельного снаряжения и вооружения. Это способствовало более быстрому развитию соответствующих отечественных производств и позволило в короткий срок создать русский флот.

Развитие железнодорожного транспорта в России в конце XIX и начале XX веков вызвало необходимость стандартизации ширины колеи, окраски вагонов, высоты сцепных устройств, диаметров колес, различных материалов и изделий, используемых при строительстве и эксплуатации железных дорог.

Однако дореволюционная Россия своих национальных стандартов не имела. Иностранные фирмы, которым принадлежало множество предприятий, и иностранные специалисты не были заинтересованы в создании русских стандартов. Кроме того, в России не было единства мер, крайне необходимого для развития стандартизации. В России одновременно действовали три системы мер: аршинная, дюймовая и метрическая.

Поэтому важнейшей предпосылкой создания советской системы стандартизации явился декрет Совета Народных Комиссаров от 14 сентября 1918 г., подписанный В. И. Лениным, о введении в нашей стране метрической системы мер и весов.

Организационно советская стандартизация оформилась 15 сентября 1925 г., когда был создан Комитет стандартизации при Совете Труда и Обороне. Первым председателем Комитета стандартизации стал В. В. Куйбышев, который рассматривал стандартизацию как важнейшее средство рационализации и реконструкции народного хозяйства. Он подчеркивал, что нам необходимы не вообще стандарты, а стандарты творческие, способные изменить характер производства. Эта задача является актуальной и сейчас.

В нашей стране всеми работами в области стандартизации руководит высший орган — Государственный комитет СССР по стандартам (Госстандарт). Он использует сеть научно-исследовательских институтов по стандартизации и метрологии и привлекает к этой работе отраслевые научно-исследовательские институты, промышленные предприятия и высшие учебные заведения.

Для объединения работ по стандартизации в нашей стране на всех уровнях управления народным хозяйством разработана и действует Государственная система стандартизации (ГСС), которая представляет собой комплекс взаимоувязанных правил и положений, определяющих цели и задачи стандартизации, категории и виды стандартов, порядок их разработки, утверждения и внедрения, а также контроля за их внедрением и соблюдением. Государственная система стандартизации оформлена в виде комплекса стандартов ГСС—85.

Стандартизация определена как деятельность, заключающаяся в нахождении решений для повторя-

ющихся задач в сфере науки, техники и экономики, направленная на достижение оптимальной степени упорядочения в определенной области.

1 Стандарт — нормативно-технический документ, устанавливающий требования к группам однородной продукции и в необходимых случаях требования к конкретной продукции и правилам ее разработки, производства и применения.

§ 2. ОСНОВНЫЕ ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ СТАНДАРТИЗАЦИИ. КАТЕГОРИИ И ВИДЫ СТАНДАРТОВ. ОБЪЕКТЫ СТАНДАРТИЗАЦИИ

Основные цели и задачи стандартизации в нашей стране находятся в полном соответствии с целями и задачами, решаемыми советским народом под руководством КПСС, по созданию материально-технической базы коммунизма.

Основные цели стандартизации — ускорение технического прогресса, повышение эффективности общественного производства и производительности труда, в том числе инженерного и управленческого, улучшение качества продукции и обеспечение его оптимального уровня. Эти цели можно выделить как главные, наиболее общие. Важная цель стандартизации — увязка требований к продукции с потребностями обороны страны. Достижение этих целей требует, в свою очередь, постоянного совершенствования организации управления народным хозяйством и установления рациональной номенклатуры выпускаемой продукции, развития специализации в области проектирования и производства продукции, рационального использования производственных фондов и экономии материальных и трудовых ресурсов.

В условиях борьбы за осуществление широкой Программы мира стандартизация должна способствовать развитию международного, экономического, технического, культурного сотрудничества, созданию условий для широкого развития экспорта товаров высокого качества, отвечающих требованиям мирового рынка.

Целью стандартизации является также обеспечение охраны здоровья населения и безопасности труда работающих.

Из этого перечня основных целей стандартизации следует, что от ее развития в значительной степени зависит успешное решение задач, стоящих перед всем народным хозяйством страны.

В практической работе по стандартизации приходится решать большое число более конкретных задач, способствующих успешному достижению поставленных целей. Так, борьба за повышение эффективности производства в различных отраслях народного хозяйства требует в масштабах всей страны разработки норм, определенных методов в области проектирования и производства продукции с целью обеспечения ее оптимального качества и исключения нерационального многообразия видов, марок и типоразмеров.

Чтобы повысить производительность инженерного и управленческого труда, необходимо: установить единые системы документации, в том числе унифицированные, используемые в автоматизированных системах управления, а также системы классификации и кодирования технико-экономической информации; разработать стандарты на виды носителей информации, форм и систем организации производства и технических средств научной организации труда; установить единые термины и обозначения в важнейших областях науки и техники, а также в отраслях народного хозяйства.

Чтобы обеспечить охрану здоровья населения и безопасность труда работающих, следует установить системы стандартов безопасности труда, системы стандартов в области охраны природы и улучшения использования природных ресурсов.

Для улучшения качества продукции и обеспечения его оптимального уровня необходимо, в свою очередь, решить ряд задач: определить единую систему показателей качества продукции, методы и средства контроля и испытаний; обеспечить единство и достоверность измерений в стране; разработать методы и средства измерений высшей точности.

Все эти задачи в зависимости от их содержания можно решать в масштабах всей страны, отдельной союзной республики, некоторых отраслей народного хозяйства, отдельной отрасли и даже отдельных производственных объединений или предприятий. Поэтому

в нашей стране установлены следующие категории нормативно-технической документации:

государственные стандарты Союза ССР—ГОСТ;

отраслевые стандарты — ОСТ;

республиканские стандарты — РСТ;

технические условия — ТУ.

Государственные стандарты утверждаются постановлениями Госстандарта или Госстроя СССР в порядке, установленном Госстандартом СССР. Утвержденным Государственным стандартам присваивают обозначения, состоящие из индекса (ГОСТ), регистрационного номера и двух последних цифр года утверждения или пересмотра (например, ГОСТ 2789—73). Отраслевые стандарты утверждают министерства (ведомства), и им присваиваются обозначения, состоящие из индекса (ОСТ), условного цифрового обозначения министерства (ведомства), регистрационного номера и двух последних цифр года утверждения или пересмотра (например, ОСТ 25789—78). Республиканские стандарты утверждаются постановлениями советов министров союзных республик или по их поручениям госпланами союзных республик. Утвержденным республиканским стандартам присваиваются обозначения, состоящие из индекса (РСТ), сокращенного названия республики, регистрационного номера и двух последних цифр года утверждения или пересмотра (например, РСТ РСФСР 150—78). Стандарт предприятий утверждает руководство предприятия, и ему присваивают обозначения, состоящие из индекса (СТП), регистрационного номера и двух последних цифр года утверждения или пересмотра (например, СТП 251—78).

Стандарты в Советском Союзе обязательны в пределах сферы их действия, области и условий применения.

Государственные стандарты обязательны к применению во всех отраслях народного хозяйства и на всей территории СССР.

Отраслевые стандарты обязательны для всех организаций и предприятий данной отрасли (например, тракторное и сельскохозяйственное машиностроение, автомобильная промышленность), а также для предприятий и организаций других отраслей, использующих продукцию этой отрасли. Их устанавливают

на продукцию, не относящуюся к объектам государственной стандартизации, на технологические процессы, оснастку и нормы отраслевого применения.

Республиканские стандарты обязательны для всех предприятий и организаций республиканского и местного подчинения данной союзной республики независимо от их ведомственной подчиненности. Их устанавливают на продукцию, выпускаемую предприятиями союзно-республиканского и местного подчинения, за исключением продукции, относящейся к объектам государственной и отраслевой стандартизации.

Технические условия — это нормативно-технические документы, устанавливающие требования к конкретной продукции (моделям, маркам).

Стандарты предприятий разрабатывают для организации производства, взаимосвязи производственных процессов, установления требований к технической оснастке и инструменту, технологическим нормам и технологическим процессам, применяемым только на данном предприятии.

Как видно, область применения и сфера действия стандартов в значительной степени зависят от объекта стандартизации.

Объектами стандартизации в самом общем виде являются конкретная продукция, нормы, правила, требования, методы, термины, обозначения и т. п., имеющие перспективу многократного применения в науке, технике, промышленности и сельскохозяйственном производстве, строительстве, на транспорте, в культуре, здравоохранении, других сферах народного хозяйства, а также в международной торговле.

Государственные стандарты устанавливают преимущественно на объекты межотраслевого применения, необходимые для единства и взаимосвязи различных областей науки и техники, производства и культуры, а также на требования к продукции массового и крупносерийного производства широкого и межотраслевого применения. В частности, объектами государственной стандартизации являются:

общетехнические и организационно-методические правила и нормы (предпочтительные числа, допуски и посадки, параметры резьб, шпоночных и шлицевых соединений, нормы точности зубчатых передач, ряды

номинальных частот и напряжений электрического тока и т. д.);

общие требования, показатели, нормы качества продукции, методы их контроля;

основные эксплуатационные свойства и технические характеристики групп однородной продукции межотраслевого применения (ряды основных параметров насосов, нормы точности металлорежущих станков);

межотраслевые требования и нормы техники безопасности и производственной санитарии;

научно-технические термины, определения и обозначения;

единицы физических величин;

методы и средства поверки средств измерений;

системы конструкторской, технологической, эксплуатационной и ремонтной документации; системы документации в области организации и управления производством;

важнейшие виды продукции.

Объектами отраслевой стандартизации могут быть:

машины, оборудование, приборы, аппараты и другие изделия серийного и мелкосерийного производства;

некоторые виды продукции ограниченного применения;

детали и сборочные единицы, технологическая оснастка и инструмент, технологические нормы и типовые технологические процессы внутриотраслевого использования.

Отраслевые стандарты могут также ограничивать государственные стандарты (по номенклатуре, типоразмерам и т. п.). При этом конкретные типоразмеры изделий, например включенные в отраслевые стандарты, должны соответствовать типоразмерам ограничиваемого государственного стандарта.

Объектами республиканской стандартизации могут быть:

правила и нормы, специфичные для отраслей народного хозяйства союзной республики;

сырье, материалы, топливо и полезные ископаемые внутриреспубликанского производства и применения;

нормы и требования на некоторые работы и услуги по обслуживанию населения и организаций;

национальные и марочные изделия, выпускаемые

предприятиями республиканского и местного подчинения.

Объектами стандартизации на предприятии могут быть, например:

детали и сборочные единицы, являющиеся составными частями изготавливаемых изделий;

нормы и правила в области организации и управления производством, а также управления качеством продукции;

технологическая оснастка и инструмент;

технологические нормы, требования и типовые технологические схемы;

поверочные схемы предприятия.

Стандарты предприятий могут также ограничивать государственные, отраслевые или республиканские стандарты по применяемой номенклатуре деталей, сборочных единиц, материалам и требованиям с учетом особенностей данного предприятия. При этом ссылки в документации следует давать на соответствующие ограничиваемые стандарты.

На продукцию в зависимости от назначения установлены следующие виды стандартов: технических условий; общих технических требований; параметров и размеров; типов, основных параметров и размеров; конструкции и размеров; марок; сортамента; правил приемки; методов контроля (испытаний, анализа, измерений); правил маркировки, упаковки, транспортирования и хранения; правил эксплуатации и ремонта; типовых технологических процессов.

Общетехнические и организационно-методические стандарты на виды не подразделяются.

§ 3. ПОРЯДОК РАЗРАБОТКИ, УТВЕРЖДЕНИЯ И ВНЕДРЕНИЯ СТАНДАРТОВ

Работы по стандартизации в нашей стране ведут на основе перспективных (долгосрочных — на 10...15 лет, пятилетних) и годовых планов, которые, являясь составной частью государственных планов, увязывают с планами проведения соответствующих научно-исследовательских, опытно-конструкторских и экспериментальных работ. Благодаря планированию координируют деятельность всех организаций, занимающихся вопросами стандартизации, что позволяет добиться

максимальной эффективности и комплексности в работах по стандартизации.

Для организационно-методического единообразия установлены четыре стадии разработки стандартов всех категорий:

1-я стадия — разработка стандарта и утверждение технического задания;

2-я стадия — разработка проекта стандарта (первой редакции) и рассылка его на отзыв;

3-я стадия — обработка отзывов, разработка проекта стандарта (окончательной редакции) и представление его на утверждение;

4-я стадия — утверждение и государственная регистрация стандарта.

При утверждении стандарта устанавливается срок его введения, т. е. дата, с которой наступает его действие.

Стандарты внедряют на основе планов основных мероприятий по их вводу, в которых предусматривается материально-техническая и организационная подготовка предприятий, обеспечивающая своевременное внедрение стандартов. Планы по государственным и отраслевым стандартам составляют министерства и ведомства, а по республиканским стандартам — госпланы союзных республик. Стандарты предприятий внедряют на основе организационно-технических мероприятий, разрабатываемых непосредственно предприятием.

Стандарт считается внедренным, если установленные им нормы, показатели, требования применяют в соответствии с областью его распространения. Стандарт на поставляемую продукцию считается внедренным, если выпускаемая продукция соответствует всем требованиям данного стандарта.

Госстандарт СССР и его органы осуществляют государственный надзор за внедрением и соблюдением стандартов и технических условий на государственных и кооперативных промышленных и сельскохозяйственных предприятиях, в проектных и конструкторских организациях, на транспорте и в торговле, в учреждениях здравоохранения и связи, на базах и складах организаций, занимающихся сбытом продукции. Государственный надзор за соблюдением стандартов и технических условий проводится на стадиях проекти-

рования, испытаний, производства, хранения, транспортирования, применения и ремонта продукции.

Министерства (ведомства) осуществляют ведомственный контроль за качеством продукции, внедрением и соблюдением стандартов и технических условий, а также за состоянием и применением средств измерений на предприятиях, в научно-исследовательских институтах, конструкторских и других организациях.

Госстандарт закрепляет государственные, отраслевые и республиканские стандарты за соответствующими министерствами, советами министров и госпланами союзных республик, а те, в свою очередь, закрепляют их за головными, базовыми и другими организациями по стандартизации или предприятиями. Эти организации и предприятия должны систематически, как правило, не реже одного раза в пять лет, проверять закрепленные за ними стандарты для определения их научно-технического уровня и при необходимости разрабатывать предложения по обновлению в них устаревших показателей, норм, характеристик, требований, терминов, определений, обозначений.

Предложения о пересмотре стандартов должны быть обоснованы и содержать требования, необходимые для дальнейшего развития народного хозяйства и укрепления обороны страны. Изменения в стандарт может вносить только организация, утвердившая его. Каждому изменению, вносимому в стандарт после его утверждения, организация, утвердившая изменение, присваивает порядковый номер и указывает срок введения. Изменения действуют до пересмотра или отмены стандарта, в который они были внесены, если не был установлен ограниченный срок их действия.

§ 4. СИСТЕМА ОРГАНОВ И СЛУЖБ СТАНДАРТИЗАЦИИ

В систему органов и служб стандартизации СССР входят:

общесоюзные органы стандартизации и их службы;
службы стандартизации в отраслях народного хозяйства;

службы стандартизации в союзных республиках.

Обязанности и права органов и служб стандартизации определяются положениями, разработанными на основе типовых положений, утвержденных Госстандартом.

Госстандарт — общесоюзный орган государственного управления, руководящий стандартизацией и метрологией в стране. Он отвечает за состояние и дальнейшее развитие стандартизации и метрологии и за проведение единой технической политики в области стандартизации и метрологии, направленной на ускорение научно-технического прогресса в народном хозяйстве, совершенствование производства и управления, улучшение качества продукции и укрепление обороноспособности страны. Система Госстандарта объединяет научно-исследовательские институты, их филиалы, конструкторские бюро и опытно-экспериментальные базы. На основании Постановления ЦК КПСС и Совета Министров СССР «О мерах по коренному повышению качества продукции» в 1986 г. в системе Госстандарта образовано Главное управление Государственной приемки.

Основная задача Государственной приемки — контроль качества продукции, выпускаемой предприятиями страны. В число головных организаций Госстандарта СССР в области стандартизации входят следующие:

Всесоюзный научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева (ВНИИМ им. Д. И. Менделеева);

Всесоюзный научно-исследовательский институт оптико-физических измерений (ВНИИОФИ);

Всесоюзный научно-исследовательский институт стандартизации (ВНИИС);

Всесоюзный научно-исследовательский институт радиофизических измерений (ВНИИРИ);

Всесоюзный научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений (ВНИИФТРИ);

Всесоюзный научно-исследовательский институт технической информации, классификации и кодирования (ВНИИКИ);

Всесоюзный научно-исследовательский центр по

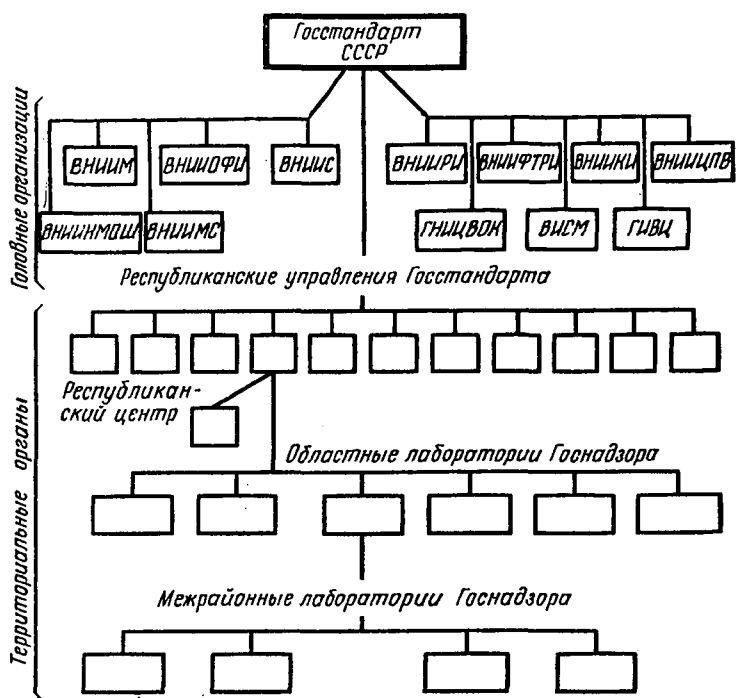


Рис. 1. Схема органов и служб Госстандарта СССР.

изучению свойств поверхности и вакуума (ВНИИЦПВ);

Всесоюзный научно-исследовательский институт по нормализации в машиностроении (ВНИИНМАШ);

Всесоюзный научно-исследовательский институт метрологической службы (ВНИИМС);

Главный научно-исследовательский центр ведения общесоюзных классификаторов (ГНИЦВОК);

Всесоюзный институт повышения квалификации руководящих и инженерно-технических работников в области стандартизации, качества продукции и метрологии (ВИСМ);

Главный информационно-вычислительный центр (ГИВЦ).

Кроме того, в систему входят территориальные органы Госстандарта; республиканские управления, республиканские центры метрологии и стандартиза-

ции, областные (краевые, автономных республик, меж-областные) лаборатории государственного надзора за стандартами и измерительной техникой, которые руководят непосредственно подчиненными им межрайонными лабораториями государственного надзора за стандартами и измерительной техникой.

На рисунке 1 показана схема органов и служб Госстандарта СССР.

§ 5. МЕЖДУНАРОДНАЯ СТАНДАРТИЗАЦИЯ

Расширяющаяся международная торговля, научно-техническое сотрудничество, укрепление экономических и культурных связей настоятельно требуют установления единых норм, правил, требований, т. е. развития международной стандартизации.

Национальные стандарты, отличающиеся один от другого, являются барьером, затрудняющим торговлю, обмен научно-технической документацией, мешают развитию международной специализации и кооперирования производства. Для укрепления связей между национальными организациями по стандартизации и расширению сотрудничества создан ряд международных организаций.

Первая международная организация по стандартизации, созданная в 1926 г., получила название «Международная федерация национальных ассоциаций по стандартизации» (ИСА), ее членами были 20 организаций. ИСА положила начало международному сотрудничеству в области стандартизации. Ею были разработаны и рекомендованы 32 международных стандарта. В связи со второй мировой войной ИСА прекратила свою деятельность.

В 1946 г. была создана Международная организация по стандартизации (ИСО), в которую первоначально вошли представители 25 стран. Согласно уставу ИСО, цель данной организации — содействовать благоприятному развитию стандартизации во всем мире, для того чтобы облегчить международный обмен товарами и развивать взаимное сотрудничество в области интеллектуальной, научной, технической и экономической деятельности. Исходя из этой цели, ИСО разрабатывает рекомендации, а с 1973 г. — междуна-

родные стандарты, которые являются основой для разработки национальных и региональных стандартов и способствуют расширению и укреплению международных экономических связей.

ИСО как международная неправительственная организация пользуется консультативным статусом Организации Объединенных Наций. Официальными языками ИСО признаны русский, английский и французский.

Высший орган ИСО — Генеральная ассамблея (общее собрание представителей всех национальных организаций по стандартизации стран — членов ИСО), которая собирается, как правило, не реже одного раза в три года. Резолюции принимаются большинством голосов.

Основная функция ИСО — разработка международных стандартов — выполняется специально созданными техническими комитетами (ИСО/ТК/ПК), каждый из которых специализируется по своему профилю. Всего создано свыше 150 технических комитетов, в том числе ТК-3 «Допуски и посадки», ТК-22 «Автомобили», ТК-22Т «Сельскохозяйственные тракторы», ТК-23 «Сельскохозяйственные машины», ТК-44 «Сварка» и т. д.

Членами ИСО состоят более 70 стран. Наша страна в ИСО представлена Госстандартом. Его представители постоянно избираются в состав Совета ИСО и участвуют в работе многих технических комитетов.

Участие Советского Союза в работе ИСО играет значительную роль в повышении качества советских стандартов, позволяет получать обширную информацию о достижениях зарубежной науки и техники, использовать принятые рекомендации и стандарты ИСО при разработке отечественных государственных стандартов, дает возможность популяризировать за границей советские стандарты и добиваться включения в стандарты ИСО требований, предъявляемых к продукции, стандартизованной в нашей стране.

В 1963 г. к ИСО в качестве ее электротехнического отдела присоединилась Международная электротехническая комиссия (МЭК), занимающаяся вопросами координации стандартов в области электротехники, радиотехники и электроники.

В области метрологии действуют несколько между-

народных организаций: Международная организация мер и весов (МОМВ) с исполнительным органом — Международным комитетом мер и весов (МКМВ), Международное бюро мер и весов (МБМВ), Международная организация законодательной метрологии (МОЗМ). Советский Союз через Госстандарт активно сотрудничает со всеми этими организациями, а МОЗМ создана по инициативе СССР.

Кроме перечисленных, существует еще целый ряд международных и региональных организаций по стандартизации, в том числе стран — членов Совета Экономической Взаимопомощи (СЭВ).

§ 6. СТАНДАРТИЗАЦИЯ, ПРОВОДИМАЯ СЭВ

Цель Совета Экономической Взаимопомощи, учрежденного в 1949 г., — углубление и совершенствование сотрудничества, планомерное развитие народного хозяйства стран-членов, выполнение программы социалистической экономической интеграции. Совет организует всестороннее сотрудничество стран-членов в направлении наиболее рационального использования их природных ресурсов и ускорения развития производительных сил, содействует совершенствованию международного социалистического разделения труда путем координации планов развития народного хозяйства, специализации и кооперирования производства.

Странами — членами СЭВ являются НРБ, ВНР, ГДР, Республика Куба, МНР, СРВ, ПНР, СРР, СССР и ЧССР. СЭВ сотрудничает с рядом капиталистических и развивающихся стран, со многими международными организациями; имеет статус наблюдателя в ООН.

Согласно Комплексной программе по дальнейшему углублению и совершенствованию сотрудничества и развития социалистической экономической интеграции реализуются соглашения о совместном планировании производства металлорежущих станков с программным управлением и о создании материально-технической базы контейнерной транспортной системы, а также другие многосторонние соглашения о специализации и кооперировании в области производства машин, оборудования, сборочных единиц и агрегатов.

Эти соглашения охватывают несколько тысяч наименований продукции.

Работы по стандартизации должны предшествовать практическому осуществлению специализации и кооперирования. Поэтому уже в 1962 г. было принято решение о создании Постоянной комиссии СЭВ по стандартизации и Института СЭВ по стандартизации.

Постоянная комиссия СЭВ по стандартизации разрабатывает мероприятия и рекомендации по унификации национальных стандартов и нормативной документации, устанавливает общетехнические нормы, показатели качества и методы испытаний продукции, а также нормы, обеспечивающие взаимозаменяемость деталей, сборочных единиц и агрегатов. Комиссия координирует работы по стандартизации, проводимые другими постоянными комиссиями СЭВ и Институтом СЭВ по стандартизации, осуществляет методическое руководство работой института.

Основная задача Института СЭВ по стандартизации — проведение общих исследований и разработка предложений по унификации действующих национальных стандартов и по созданию новых международных стандартов. Институт изучает и определяет экономическую эффективность внедрения стандартов, разрабатывает общие принципы и новые методы работы по стандартизации, информирует об исследованиях, проводимых в институте, и о важнейших работах по стандартизации, выполняемых в странах — членах СЭВ.

Кроме этих органов, создан Отдел стандартизации Секретариата СЭВ, который, кроме рекомендаций, выпускает стандарты, обязательные к применению в странах — членах СЭВ. При разработке рекомендаций и стандартов СЭВ учитывает рекомендации ИСО и других международных организаций по стандартизации.

Всего органами СЭВ разработано и утверждено более 5000 стандартов, которые охватывают практически все области экономического и научно-технического сотрудничества стран — членов СЭВ.

В народном хозяйстве СССР непосредственно применяется более 500 стандартов СЭВ, а показатели других 3000 стандартов включены в государственные стандарты нашей страны.

Глава 2. МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СТАНДАРТИЗАЦИИ

§ 7. КЛАССИФИКАЦИЯ И КОДИРОВАНИЕ

Рост и развитие общественного производства в условиях планового социалистического народного хозяйства требуют сбора и переработки громадных потоков информации для учета и оперативного управления. Справиться с такой задачей можно, только используя ЭВМ в автоматизированных системах управления (АСУ). Создается общегосударственная автоматизированная система сбора и обработки информации.

Но её функционирование возможно лишь при наличии во всех отраслях народного хозяйства и всех республиках единого языка, удобного для ввода информации в ЭВМ, хранения и выдачи ее из ЭВМ. Такой «машинный» язык (язык цифровых кодов) сейчас создается.

Государственная система классификации и кодирования, включающая комплекс взаимосвязанных общесоюзных классификаторов промышленной и сельскохозяйственной продукции, конструкторской документации и технологический классификатор, явится итогом этой работы.

В каждом общесоюзном классификаторе (ОК) две части — наименование объекта и код, соответствующий наименованию. Словарное наименование обычно предназначено для обмена информацией между людьми и для перевода с естественного языка на язык ОК. Цифровые коды ОК, как более экономичную по сравнению с наименованием форму записи, используют при обмене информацией на уровне документов, а также на уровне каналов связи при обработке информации на ЭВМ. При выдаче информации цифровые коды в необходимых случаях заменяют словарными наименованиями.

При создании общесоюзного классификатора продукции принят принцип последовательной конкретизации классификационных группировок. Высшая классификационная группировка — класс, в который вклю-

1. Коды некоторых классов и подклассов продукции машиностроения

Наименование класса, его код	Наименование подкласса, его код				
Продукция от- раслей авто- тракторного и сельскохозяй- ственного ма- шиностроения, 45	Автомоби- ли, 451 000	Тракторы, 452 000	Мотоциклы и вело- сипеды, 453 000	Двигатели, топливная аппаратура, электрообо- рудование автомобилей, тракторов и сельскохо- зяйственных машин, 455 000	Сельскохо- зяйствен- ные маши- ны, 456 000 полуприце- пы 457 000
	Гаражное оборудова- ние, 459 000	Автомо- бильные прицепы и полуприце- пы 457 000			
Продукция станкостроения, 47	Металло- режущие станки для обработки поверхнос- тей тел вращения, 471 000	Металлоре- жущие стан- ки для обра- ботки плос- костей и по- верхностей сложной формы, 472 000	Кузнеч- но-прес- совые машины, 473 000	Техноло- гическое оборудо- вание для литейного производ- ства, 474 000	Деревооб- рабаты- вающее оборудова- ние, 477 000
	Гальвани- ческое обо- рудование, 479 000	Оборудо- вание для производ- ства абра- зивного и алмазного инструмен- та, 476 000	Оборудо- вание для производ- ства обра- ботки, 475 000		

чается продукция, характеризующаяся комплексом однородных признаков. Все множество продукции подразделено на 100 классов, каждый класс на 10 подклассов, каждый подкласс на 10 групп, каждая группа на 10 подгрупп и каждая подгруппа на 10 видов.

В качестве примера в таблице 1 приведены коды некоторых классов и их подклассов. Свободные номера оставлены, чтобы в дальнейшем можно было расширить классификатор.

Помимо ОКП, в нашей стране разработан (их продолжают разрабатывать) ряд общесоюзных классификаторов и систем обозначений:

СОАТО — система обозначений объектов административно-территориального деления СССР и населенных пунктов;

ОКОНХ — общесоюзный классификатор отраслей народного хозяйства;

ОКПО — общесоюзный классификатор предприятий и организаций;

ОКТЭП — общесоюзный классификатор технико-экономических показателей и ряд других классификаторов.

Для кодирования признаков объекта удобно блочное построение классификаторов, при котором используют несколько общесоюзных классификаторов.

Блочное построение классификаторов удобно при их автоматизированном ведении. Набор признаков объекта позволяет решать поисковые задачи, возникающие при ведении классификаторов. Благодаря разделению функций идентификации и кодирования признаков объекта упрощается как включение объектов в классификатор, так и их исключение.

Начата разработка общего классификатора промышленной и сельскохозяйственной продукции стран — членов СЭВ (ОКП СЭВ), согласованы методические основы построения ОКП СЭВ и создана классификационная часть на уровне пяти знаков. Классификационная часть на уровне шести знаков составит уже более 60 тысяч позиций.

Классификация и кодирование — первоначальный элемент, но абсолютно необходимый в проведении работ по стандартизации.

§ 8. СИСТЕМА ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНЫХ ЧИСЕЛ И ПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ РЯДЫ

Каждый вид продукции характеризуется параметрами, количественно выраженными конкретными числами. Например: автомобиль грузоподъемностью 8 т, электродвигатель мощностью 100 кВт, вал диаметром 50 мм. Значения параметров определяют или путем расчетов, или назначают из конструктивных соображений. При этом числовые характеристики параметров могут принимать самые разнообразные значения.

Без ограничения применяемых числовых характеристик унификация и стандартизация параметров были бы невозможны. Кроме того, опыт стандартизации показал, что последовательности чисел, характеризующих параметры стандартизуемых объектов, должны быть не случайными, а представлять собой ряды, образованные по математическим законам. Это позволит увязать между собой как геометрические размеры, так и параметры, характеризующие мощность, производительность, грузоподъемность, прочность.

Эта задача решается установлением рядов предпочтительных чисел при выборе числовых значений параметров в расчетах, проектировании, составлении различных технических документов.

Система предпочтительных чисел — теоретическая база и основа стандартизации.

Благодаря применению предпочтительных чисел можно унифицировать размеры и параметры продукции в масштабах всего народного хозяйства страны и в международном масштабе. О важности взаимосвязи параметров отдельных видов продукции свидетельствует пример организации странами — членами СЭВ контейнерных перевозок водным, железнодорожным и автомобильным транспортом, при которых увязаны параметры контейнеров, судов, железнодорожных платформ, автомобильных кузовов, подъемно-транспортных устройств в местах перегрузок контейнеров.

В начальный период стандартизации получили распространение ряды, выраженные арифметическими прогрессиями. Арифметическая прогрессия характе-

ризуется тем, что разность любых двух соседних чисел ряда всегда постоянна. Так, например, у арифметических прогрессий

1 — 2 — 3 — 4 — 5 — 6 ...

25 — 30 — 35 — 40 — 45 — 50 ...

разность составляет соответственно 1 и 5.

Применение арифметической прогрессии не требует округления чисел.

На основе арифметической прогрессии были установлены ряды диаметров подшипников качения.

Существенный недостаток арифметической прогрессии — ее относительная неравномерность. При постоянной абсолютной разности относительная разность между членами арифметического ряда 1, 2, 3, ..., 10 для чисел 1 и 2 составляет 200 %, а для чисел 9 и 10 — всего 11 %.

В связи с этим позднее стали применять ступенчато-арифметические ряды, например ряды стандартных резьб:

1 — 1,1 — 1,2 — 1,4 — 1,6 — 1,8 — 2,0 — 2,2 — ...

... — 2,5 — 3,0 — 3,5 — 4,0 — 4,5 — 5,0 — ...

... — 145 — 150 — 155 — 160 — 165 ...,

у которых разности возрастают с увеличением абсолютного размера и соответственно равны 0,1; 0,2; 0,5; 5.

Требованиям стандартизации в большей степени удовлетворяют геометрические прогрессии, у которых относительная разность между любыми смежными числами ряда является постоянной. Геометрическая прогрессия характеризуется тем, что отношение двух смежных членов постоянно и равно знаменателю прогрессии:

1 — 2 — 4 — 8 — 16 — 32 — ...

1 — 1,25 — 1,6 — 2,0 — 2,5 — 3,15 — 4 — ...

1 — 10 — 100 — 1000 — 10 000 — ...

В приведенных рядах знаменатели соответственно равны 2; 1,25; 10.

Геометрические прогрессии, являясь степенными функциями линейных размеров, обладают рядом ценных свойств, которые позволяют при выборе линейных размеров из данного ряда получать площади, объемы, моменты сопротивлений, моменты инерций, связанные единой закономерностью.

Впервые свойства геометрической прогрессии были использованы в 1877...1879 гг. офицером французского

инженерного корпуса Ш. Ренаром при разработке системы характеристик хлопчатобумажных канатов, которые изготавливали бы заранее независимо от места применения. За основу был принят канат, 1 м которого имел массу a кг. Знаменатель прогрессии был выбран с таким расчетом, чтобы каждый пятый член ряда давал десятикратное увеличение, т. е.

$$a\varphi^5 = 10a, \text{ откуда } \varphi = \sqrt[5]{10}.$$

Числовой ряд выглядел следующим образом:

$$a; a\sqrt[5]{10}; a(\sqrt[5]{10})^2; a(\sqrt[5]{10})^3; \\ a(\sqrt[5]{10})^4; a(\sqrt[5]{10})^5.$$

После вычисления:

$$a; 1,5849a; 2,5119a; 3,9811a; 6,3096a; 10a.$$

После округления:

$$1; 1,6; 2,5; 4; 6,3; 10.$$

Из этого ряда, условно обозначенного как ряд $R5$, были впоследствии образованы ряды $R10$, $R20$, $R40$, имеющие соответственно следующие знаменатели:

$$\sqrt[10]{10}; \sqrt[20]{10}; \sqrt[40]{10}.$$

В 1985 г. в нашей стране введен в действие ГОСТ 8032—84 «Предпочтительные числа и ряды предпочтительных чисел», который является основой для установления параметров во всех отраслях народного хозяйства, служит базой для увязки между собой всех видов продукции.

В нем предусмотрены четыре основных ряда предпочтительных чисел ($R5$, $R10$, $R20$, $R40$) и два дополнительных ряда ($R80$ и $R160$), применение которых допускается в отдельных случаях, технически и экономически обоснованных. Эти ряды имеют такие знаменатели:

$$\begin{aligned} \text{ряд } R5 & \quad - \sqrt[5]{10} = 1,5849 \approx 1,6; \\ \text{ряд } R10 & \quad - \sqrt[10]{10} = 1,2589 \approx 1,25; \\ \text{ряд } R20 & \quad - \sqrt[20]{10} = 1,1220 \approx 1,12; \\ \text{ряд } R40 & \quad - \sqrt[40]{10} = 1,0593 \approx 1,06; \end{aligned}$$

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

ряд $R160 - \sqrt[160]{10} = 1,01 \approx 1,015.$

Числа, входящие в ряды, округлены, причем относительная разность их с расчетными находится в пределах от $+1,26\%$ до $-1,01\%$.

Основные ряды предпочтительных чисел приведены в таблице 2.

2. Основные ряды предпочтительных чисел

Основные ряды				Номер предпочтительного числа
$R5$	$R10$	$R20$	$R40$	
1,00	1,00	1,00	1,00	0
			1,06	1
			1,12	2
			1,18	3
			1,25	4
			1,32	5
			1,40	6
1,60	1,60	1,60	1,50	7
			1,60	8
			1,70	9
			1,80	10
			1,90	11
			2,00	12
			2,12	13
2,50	2,50	2,50	2,24	14
			2,36	15
			2,50	16
			2,65	17
			2,80	18
			3,00	19
			3,15	20
4,00	4,00	4,00	3,35	21
			3,55	22
			3,75	23
			4,00	24
			4,25	25
			4,50	26
			4,75	27
6,30	6,30	6,30	5,00	28
			5,30	29
			5,60	30
			6,00	31
			6,30	32
			6,70	33

Основные ряды				Номер предпочтительного числа
R5	R10	R20	R40	
		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

Практически во всех случаях следует стремиться применять одно из этих 40 основных предпочтительных чисел.

При установлении параметров следует предпочитать ряд *R5* ряду *R10*, ряд *R10* — ряду *R20*, ряд *R20* — ряду *R40*. Начиная с ряда *R10* среди предпочтительных чисел имеется число 3,15, равное приблизительно π . Поэтому при выборе диаметра из ряда предпочтительных чисел длины окружности и площади кругов будут также предпочтительными числами.

Отступления от предпочтительных чисел и их рядов допускаются, если:

1 — округление до предпочтительного числа выходит за пределы допускаемой погрешности;

2 — значения параметров следуют закономерности, отличной от геометрической прогрессии.

Не всегда необходимо применять все числа того или иного ряда. Стандартом допускается использовать выборочные и составные ряды.

Выборочные ряды предпочтительных чисел следует применять, когда уменьшение числа градаций 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, единственной значащей цифрой которого является единица (например, 0,01, 0,1, 10, 100).

Рекомендуемые выборочные ряды	R5/3	R5/2	R10/3	R10/2	R40/8	R20/3
Округленное значение знаменателя	4	2,5	2	1,6	1,6	1,4

Рекомендуемые выборочные ряды	$R20/2$	$R40/4$	$R40/3$	$R40/2$	$R80/3$	$R80/2$
Округленное зна- чение знаменателя	1,25	1,25	1,18	1,12	1,09	1,06

Составные ряды предпочтительных чисел получают путем сочетания различных основных и (или) выборочных рядов. Составной ряд в различных интервалах имеет неодинаковые знаменатели.

Конечные и начальные члены сложных рядов, образующих составной ряд, должны быть одинаковыми, например:

$$R20(1...2) \ R10(2...10) \ R5/2(10...1000).$$

Иногда в обоснованных случаях вместо отдельных предпочтительных чисел допускается использовать округленные их значения — приближенные предпочтительные числа, приведенные в таблице 3.

3. Приближенные предпочтительные числа

Предпочтительное число	Приближен- ное число	Предпочти- тельное число	Приближенное число
1,06	1,05	3,25	3,20
1,12	1,10	3,35	3,40
1,18, 1,25	1,20	3,55	3,50, 3,60
1,32	1,30	3,75	3,80
1,60	1,5	4,25	4,20
2,12	2,10	4,75	4,80
2,24	2,20	5,60	5,5
2,36	2,40	6,30	6,0
2,65	2,60	7,10	7,00
3,15	3,00		

В качестве примера использования округленных чисел на рисунке 2 показан параметрический ряд унифицированных грузовых автомобилей на базе БелАЗ-549 с приближенными значениями главного параметра — грузоподъемности.

Основная особенность ГОСТ 8032—84, отличающая его от ранее действовавшего ГОСТ 8032—56 и введенного недавно СТ СЭВ 3961—83, — установление, кроме рядов чисел, основанных на геометрической прогрессии, трех производных рядов, полученных путем простейше-

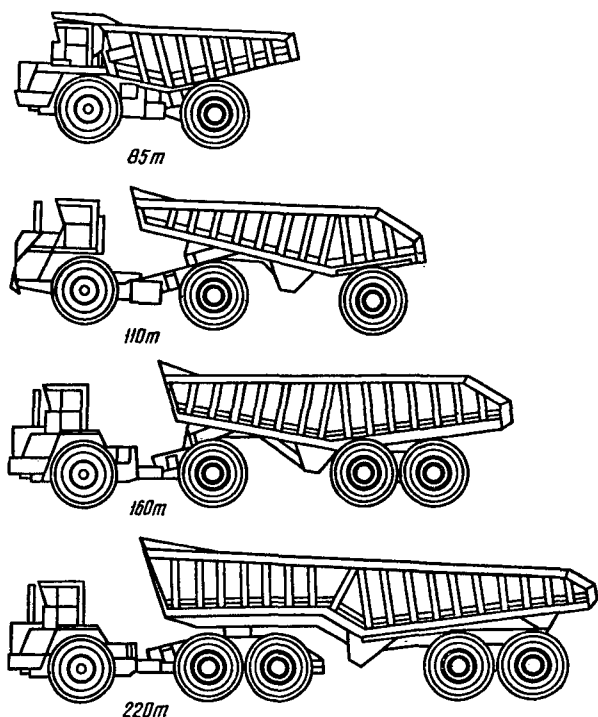


Рис. 2. Параметрический ряд унифицированных грузовых автомобилей на базе БелАЗ-549 с округленными значениями предпочтительных чисел.

го преобразования. Таким образом новые, не регламентированные ранее предпочтительные ряды чисел образуют единую взаимосвязанную систему.

Производные предпочтительные ряды чисел (убывающие, комплементарные, арифметические) устанавливают в том случае, если из-за естественных закономерностей не могут быть применены геометрические ряды.

Убывающие ряды положительных предпочтительных чисел применяют для установления значений параметров, приближающихся к нулю, например загрязнение вещества, риск события и т. п. Для обозначения убывающего ряда используют знак « $\downarrow$ » ($\downarrow R5$, $\downarrow R40$).

Комплементарные предпочтительные ряды чисел следует использовать для установления значений параметров, приближающихся к 10^m , например коэффициента полезного действия, вероятности безотказной работы, доверительной вероятности события. Для обозначения комплементарного ряда применяют знак «—» (R_5 , R_{20}).

Арифметические предпочтительные ряды чисел применяют, если естественная закономерность изменения значений параметра отличается от геометрической, например при создании техники и строительных сооружений на модульном принципе. Обозначения основных и дополнительных арифметических рядов предпочтительных чисел приведены в таблице 4.

4. Обозначения производных арифметических предпочтительных рядов чисел

Обозначение	
исходного геометрического ряда	производного арифметического ряда

Основные ряды

R_5	A_{20}
R_{10}	A_{10}
R_{20}	A_5
R_{40}	$A_{2,5}$

Дополнительные ряды

R_{80}	$A_{1,25}$
R_{160}	$A_{0,625}$

Кроме указанных предпочтительных рядов чисел, в ГОСТ 8032—84 введено справочное приложение с описанием специальных рядов чисел и значений величины (параметра), которые следует использовать, когда ни один вид регламентированных чисел не может быть применен.

Непосредственно по рядам предпочтительных чисел устанавливают параметры и числовые характеристики продукции, не являющиеся линейными размерами.

Наличие для отдельных предпочтительных чисел двух округлений (например, для 3,55 округления 3,50

и 3,60) при проектировании может приводить к неувязкам в линейных размерах конструкции. Поэтому необходимо более конкретно установить ряды рекомендуемых линейных размеров, что и сделано в ГОСТ 6636—69 «Нормальные линейные размеры». Стандарт содержит четыре ряда линейных размеров *Ra5*, *Ra10*, *Ra20*, *Ra40*, в которые входят округленные числа из рядов *R5*, *R10*, *R20*, *R40* предпочтительных чисел. Таким образом, ГОСТ 6636—69 является ограничительным стандартом ГОСТ 8032—84, устанавливающим нормальные линейные размеры от 0,001 до 20 000 мм. В таблице 5 приведены нормальные линейные размеры от 1 до 500 мм.

5. Нормальные линейные размеры от 1 до 500 мм

Линейные размеры, мм, рядов

<i>Ra5</i>	<i>Ra10</i>	<i>Ra20</i>	<i>Ra40</i>	<i>Ra5</i>	<i>Ra10</i>	<i>Ra20</i>	<i>Ra40</i>	<i>Ra5</i>	<i>Ra10</i>	<i>Ra20</i>	<i>Ra40</i>
1,0	1,0	1,0	1,0	10	10	10	10	100	100	100	100
			1,05				10,5				105
		1,1	1,1			11	11			110	110
			1,15				11,5				120
	1,2	1,2	1,2		12	12	12		125	125	125
			1,3				13				130
		1,4	1,4			14	14			140	140
			1,5				15				150
1,6	1,6	1,6	1,6	16	16	16	16	160	160	160	160
			1,7				17				170
		1,8	1,8			18	18			180	180
			1,9				19				190
	2,0	2,0	2,0		20	20	20		200	200	200
			2,1				21				210
		2,2	2,2			22	22			220	220
			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

Линейные размеры, мм, рядов

Ra5	Ra10	Ra20	Ra40	Ra5	Ra10	Ra20	Ra40	Ra5	Ra10	Ra20	Ra40
	5,0	5,0	5,0		50	50	50		500	500	500
			5,2				52				
			5,5			55	55				
6,0	6,0	6,0	6,0	60	60	60	60				
			6,3				63				
			6,5				65				
		7,0	7,0			70	70				
			7,5				75				
	8,0	8,0	8,0		80	80	80				
			8,5				85				
		9,0	9,0			90	90				
			9,5				95				

ГОСТ 6636—69 «Нормальные линейные размеры» предусматривает возможность применения производных рядов, а также рядов, которые в различных диапазонах имеют неодинаковые знаменатели прогрессии. ГОСТ не распространяется на производные размеры; зависящие от принятых исходных размеров и параметров, в том числе на технические межоперационные размеры.

§ 9. СИМПЛИФИКАЦИЯ, ТИПИЗАЦИЯ, УНИФИКАЦИЯ И АГРЕГАТИРОВАНИЕ

Одним из простейших методов стандартизации является симплификация.

Симплификация — работа по рациональному ограничению числа используемых марок, типов, видов материалов, процессов, которая завершается выпуском ограничительного стандарта.

Экономическая эффективность от симплификации достаточно высока, а в некоторых случаях она необходима. Например, можно изготавливать бензин с самыми разными октановыми числами. Однако стандарт ограничивает их разнообразие, устанавливая марки А-72, А-76, А-93 и др. Если учесть, что проектирование бензинового двигателя начинается с выбора марки топлива с определенным октановым числом,

понятна важность такого ограничения. Тем более оно необходимо для бесперебойного снабжения автомобильного парка определенными марками бензина и для технически грамотной эксплуатации автомобилей.

Аналогичные задачи в технике решает типизация.

Типизация — обоснованное сведение многообразия конструкций машин, оборудования, приборов, технологических процессов к небольшому числу типов на основе общих технических характеристик. Типизация конструкций машин позволяет отобрать образцы с наилучшими эксплуатационными показателями, которые принято называть базовыми. Например, трактор МТЗ-80 — базовая конструкция, на основе которой выпускают целый ряд специализированных колесных и гусеничных тракторов, экскаваторы и другие машины.

Типизация технологий позволяет сократить многообразие технологических операций и обрабатывать конструктивно подобные детали по типовым технологическим процессам.

Типизация повышает производительность труда, экономит материальные ресурсы, снижает себестоимость продукции.

К числу важнейших методов стандартизации относятся унификация и агрегатирование, широко применяемые в машиностроении.

Унификация — метод использования единообразия конструкции одинаковых по своему функциональному назначению деталей, сборочных единиц, агрегатов, применяемых в различных машинах, для рационального сокращения их типов, видов и размеров.

Это наиболее распространенный и эффективный метод стандартизации. Унификация конструкций повышает производительность труда, снижает затраты на изготовление и эксплуатацию изделий, так как создает условия для развития специализации производства, комплексной механизации и автоматизации.

Агрегатирование — метод компоновки оборудования и приборов из унифицированных агрегатов* в раз-

* Агрегат — укрупненный унифицированный узел машины, самостоятельно выполняющий отдельные функции (двигатель, редуктор, гидронасос и т. п.).

личных сочетаниях и количествах в зависимости от назначения машины.

Например, при создании семейства тракторов одного класса, но различных по назначению, можно использовать ряд агрегатов (двигатель, сцепление, коробка передач, задний мост) для всех или нескольких модификаций.

Использование унификации и агрегатирования как методов конструирования позволяет в 2...4 раза сократить сроки проектирования и освоения производства новой техники, на 25...30% снизить себестоимость ее изготовления. Поэтому перед промышленностью поставлены большие задачи по повышению уровня унификации. Однако надо помнить, что речь идет не о максимальном, а об оптимальном уровне унификации.

При определении характеристики унификации в качестве основной единицы принята деталь. Все детали, составляющие машину, делятся на унифицированные и оригинальные.

Унифицированной считается деталь, которая под одним и тем же обозначением применяется в двух и более различных машинах.

Оригинальной считается деталь, использованная в одной конкретной машине.

Унифицированные детали делятся на унифицированные стандартные, т. е. установленные стандартами и имеющие обозначения, зафиксированные стандартами, и унифицированные заимствованные, т. е. ранее спроектированные и примененные как оригинальные для одной машины, а затем использованные для другой.

Кроме того, в любой современной машине имеются покупные детали, т. е. детали, не изготавливаемые на данном предприятии, а получаемые в готовом виде как комплектующие составные части машины. Они также относятся или к стандартным, или к заимствованным, или к оригинальным.

Степень унификации — это отношение суммы унифицированных элементов машины к сумме всех элементов машины:

$$Y = \frac{\Sigma n_c + \Sigma n_3}{\Sigma n_c + \Sigma n_3 + \Sigma n_o} 100, \quad (1)$$

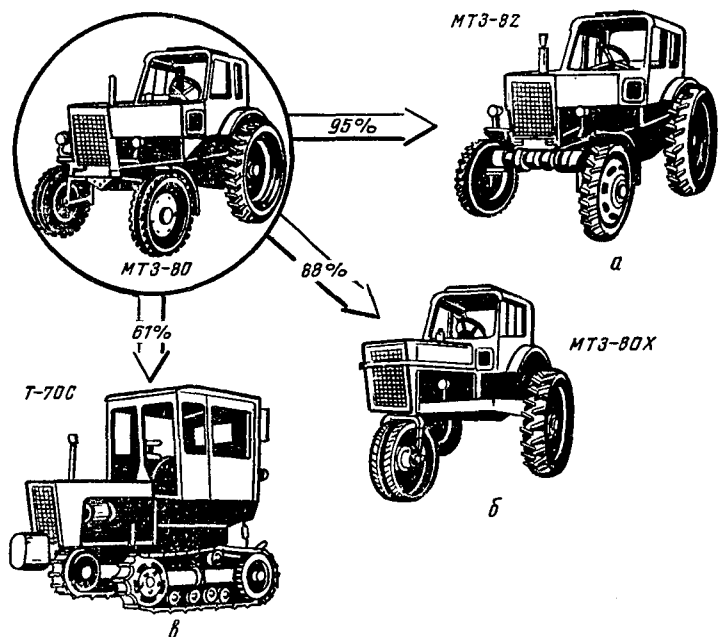


Рис. 3. Унификация тракторов различного назначения на базе трактора МТЗ-80:

МТЗ-80 — базовая модель; а — универсально-пропашной трактор повышенной проходимости; б — хлопководческий трактор; в — свекловодческий трактор; 61%; 88%; 95% — степень унификации тракторов внутри семейства.

где $У$ — степень унификации, %; Σn_c и Σn_z — сумма наименований унифицированных стандартных и заимствованных деталей; Σn_o — сумма наименований оригинальных деталей.

Кроме того, в некоторых случаях применяют другие показатели степени унификации: по числу деталей; их массе, кг; по себестоимости деталей, руб.; по трудоемкости их изготовления, чел.-ч.

На рисунке 3 приведен пример унификации тракторов различного назначения на базе трактора МТЗ-80, а в таблице 6 показано, за счет многократного применения каких унифицированных агрегатов и сборочных единиц достигнута такая степень унификации.

6. Данные об унификации тракторов различного назначения на базе МТЗ-80

Наименование основных составных частей трактора	МТЗ-80	МТЗ-82	МТЗ-80Х	МТЗ-80Х2	МТЗ-ПГХ	МТЗ-82Н	МТЗ-82К	МТЗ-82Р	Т-80П	Т-70А	Т-70С	Т-70В	Т-70Л	Т-70Д
Двигатель	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Водяной радиатор	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Масляный радиатор	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Сцепление	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Коробка передач	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Раздаточная коробка	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Карданные валы	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Передний мост	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Полурама	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Рулевое управление	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Тормоза	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Электрооборудование	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Приборы	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Оперение	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Обозначения в таблице: Х, О, + — одинаковые сборочные единицы, повторяющиеся в различных моделях тракторов; ● — оригинальные, не повторяющиеся сборочные единицы; — отсутствие данной сборочной единицы в указанной модели.

§ 10. ОПЕРЕЖАЮЩАЯ И КОМПЛЕКСНАЯ СТАНДАРТИЗАЦИЯ. ЕДИНЫЕ МЕЖОТРАСЛЕВЫЕ СИСТЕМЫ СТАНДАРТОВ

Стандартизация основывается на использовании достижений науки, техники и практического опыта и осуществляется в неразрывной связи с научно-техническим прогрессом. Именно поэтому особенно важна принципиально новая ее форма — опережающая стандартизация.

Опережающая стандартизация осуществляется на основе прогнозов развития и изменения во времени параметров и показателей качества объектов стандартизации. Опережающие стандарты устанавливают перспективные параметры, более высокие показатели качества изделий и сроки освоения их промышленностью. При этом по срокам освоения может быть установлено несколько ступеней возрастающих требований к показателям качества с тем, чтобы эти показатели были оптимальными в планируемом интервале времени.

Объектами опережающей стандартизации могут быть изделия с новыми очень высокими эксплуатационными показателями, но не выпускаемые пока еще промышленностью. Опережающая стандартизация может базироваться на образцах, уже освоенных в других отраслях или в других странах.

Комплексная стандартизация — это целенаправленное и планомерное установление и применение системы взаимосвязанных требований к объекту для оптимального решения конкретной проблемы. Важнейший принцип комплексной стандартизации — системность и взаимная увязка стандартов.

Действующие стандарты предъявляют к готовым изделиям весьма высокие требования. Но чтобы их выдержать, необходимо повышать требования к сырью и материалам, от которых зависит качество конечной продукции. Положение осложняется еще тем, что на промежуточных стадиях производства показатели разных стандартов иногда плохо стыкуются между собой.

Принципиальная, отличительная особенность работы по стандартизации в последние годы — ее организация по комплексно-программному методу. Со-

здавали не разрозненные ГОСТ, а комплексы стандартов, разрабатываемые по комплексным программам, в которых все требования, начиная с сырья и кончая готовой продукцией, были взаимно увязаны и согласованы.

ГОСТ 19677—74 «Тракторы. Общие технические требования» предусматривает уменьшить удельную материалоемкость и соответственно повысить энергонасыщенность тракторов на 25...50%, довести моторесурс тракторов до 8 тыс. ч, а уровень унификации каждой базовой модели — не менее чем до 50%, снизить трудоемкость технического обслуживания машин.

В выполнении этой программы участвуют многие министерства и ведомства, которым установлены конкретные задания по обеспечению необходимого качества отдельных марок стали и чугуна, бронзы, стальных труб, топлива, масел и лакокрасочных изделий, электрооборудования и приборов, отдельных агрегатов и узлов, методов их испытаний и контроля.

В качестве примера можно привести также комплексную стандартизацию зубчатых и червячных передач.

Комплексная стандартизация помогает решать вопросы сокращения сроков разработки и освоения производства новой техники, ускорения организации специализированных производств, снижения затрат на выпуск продукции, повышения эффективности производства и улучшения качества продукции. С этой целью созданы и создаются единые межотраслевые системы стандартов, которыми приходится повседневно пользоваться в инженерной деятельности. К указанным системам в первую очередь относятся Единые системы конструкторской и технологической документации.

Единая система конструкторской документации (ЕСКД) предусматривает единые правила выполнения и оформления всей конструкторской документации. Цель системы — уменьшить число и объем применяемой документации, ускорить способы ее изготовления и размножения, ведение рациональной системы ее учета и хранения. В ЕСКД входят более 150 стандартов.

Всей ЕСКД присвоена первая цифра 2, после которой указывается порядковый номер группы стандартов и порядковый номер стандарта в группе.

Содержание стандартов в каждой из девяти групп следующее.

2.1. Основные положения системы (виды изделий, виды и комплектность конструкторских документов, стадии разработки, требования к чертежам, текстовым документам и т. д.) — ГОСТ 2.101—68... 2.114—70, ГОСТ 13—85.

2.2. Классификация, кодирование и обозначение конструкторской документации — ГОСТ 2.201—80.

2.3. Общие правила выполнения чертежей — ГОСТ 2.301—68...2.317—69.

2.4. Правила выполнения чертежей различных типовых деталей: пружин, зубчатых колес, звездочек, шлицевых соединений, трубопроводов, а также электромонтажных чертежей и др. — ГОСТ 2.401—68... 2.418.—77.

2.5. Учет, хранение и обращение документации изделий — ГОСТ 2.501—68...2.503—74.

2.6. Эксплуатационная и ремонтная документация (в эту же группу включены требования к учебно-техническим плакатам) — ГОСТ 2.601—68...2.605—68.

2.7. Правила выполнения схем: электрических, кинематических, гидравлических и пневматических; условные графические обозначения в схемах — ГОСТ 2.701—84...2.787—71.

2.8. Правила выполнения строительной документации.

2.9. Специальные требования и прочие стандарты (стандарты на изделия, предназначенные на экспорт и т. п.).

Внедрение стандартов ЕСКД упрощает проектно-конструкторские работы; облегчает чтение чертежей; позволяет использовать ЭВМ для проектирования и обработки технической документации.

Единая система технологической документации (ЕСТД) устанавливает взаимосвязанные правила и положения по разработке, оформлению и обращению технологической документации, применяемой для изготовления и ремонта машин и приборов, и распространяется на все виды технологических документов.

Обозначение стандартов ЕСТД состоит из цифры 3, присвоенной классу стандартов на технологическую документацию; цифры 1 (после точки), обозначающей подкласс стандартов для изделий машиностроения и приборостроения; цифры, обозначающей группу стандартов; двузначного числа, определяющего порядковый номер стандарта в данной группе; двух последних чисел (после тире), указывающих год регистрации стандарта.

Например, ГОСТ 3.1103—82 расшифровывается так:

ГОСТ — категория нормативно-технического документа (государственный стандарт);

3 — класс (стандарты на технологическую документацию);

1 — подкласс (стандарты ЕСТД для изделий машиностроения и приборостроения);

1 — классификационная группа (основополагающие стандарты);

03 — порядковый номер стандарта в группе;

82 — год регистрации стандарта.

Классификационные группы стандартов ЕСТД приведены в таблице 7.

7. Распределение стандартов ЕСТД по классификационным группам

Шифр группы	Наименование стандартов
0	Общие положения
1	Основополагающие стандарты
2	Классификация и обозначения технологических документов
3	Учет применяемости изделий и технологической оснастки
4	Основное производство. Правила оформления технологических документов, специализированные по видам работ
5	Основное производство. Правила оформления технологических документов на испытания и контроль

Шифр	Наименование стандартов
6	Вспомогательное производство. Правила оформления технологических документов
7,8	—
9	Нормативное хозяйство

Группы 7 и 8 предназначены для стандартов, которые будут разработаны впоследствии.

Внедрение стандартов ЕСТД позволяет уменьшить объем и сократить сроки обработки технологической информации, улучшить качество разработки технологической документации, повысить производительность труда технологов.

Глава 3. СТАНДАРТИЗАЦИЯ И КАЧЕСТВО ПРОДУКЦИИ

§ 11. ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОТНОСЯЩИЕСЯ К КАЧЕСТВУ ПРОДУКЦИИ

Результатом производственной деятельности человека является создание материальных ценностей, предназначенных для удовлетворения определенных потребностей. Эти материальные ценности называются 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 и обувь, торты и 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 свойств продукции.

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

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

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 входят в состав качества изделия.

В результате анализа нескольких десятков определений, употребляемых в нашей стране и за рубежом, ГОСТ 15467—70 установил следующую формулировку: *качество продукции — это совокупность свойств продукции, обуславливающих ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с ее назначением.*

Из этой формулировки следует, что, во-первых, не все свойства изделия входят в понятие «качество»; во-вторых, 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; в-третьих, удовлетворение потребности должно происходить в точном соответствии с назначением данного вида продукции.

§ 12. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА

Объективную оценку качества продукции можно дать, охарактеризовав ее свойства количественно.

Квалиметрия — область практической и научной деятельности, которая занимается разработкой теоретических основ и методов количественной оценки качества изделий.

Показатели качества продукции — количественная характеристика свойств продукции, рассматриваемая применительно к определенным условиям ее создания, эксплуатации или потребления. Другими словами, показателями качества продукции являются те параметры, которые характеризуют ее качество.

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 и определяемый по формуле

$$K_r = T / (T + T_v), \quad (2)$$

где T — наработка на отказ; T_v — среднее время восстановления.

Интегральные показатели качества, широко распространенные в машиностроении, относят к комплексным. Они отражают соотношение суммарного полезного эффекта, полученного от эксплуатации изделия, и суммарных затрат на его создание и эксплуатацию. Так, для транспортных средств интегральным показателем качества может быть величина, характеризующая удельные затраты на 1 т·км пробега:

$$K_n = (C + \Xi) / \Pi, \quad (3)$$

где K_n — комплексный показатель качества, руб/(т·км); C — себестоимость изготовления одной машины, руб; Ξ — эксплуатационные затраты до капитального ремонта, руб; Π — пробег за тот же срок, т·км.

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

Показатели качества могут быть определены при помощи объективных (измерительный, регистрационный, расчетный) и субъективных (органолептический, социологический, экспертный) методов.

Измерительный метод — определение показателей качества продукции с помощью измерительных средств: весов, спидометров, расходомеров и т. д.

Регистрационный метод — определение показателей качества продукции на основе обнаружения и подсчета целочисленного количества событий или объектов. Его можно использовать без применения технических средств (например, регистрация числа отказов машины), а также с применением усиливающих средств или технических регистрационных средств (например, регистрация числа включений и выключений какого-либо устройства).

Расчетный метод основан на вычислениях с использованием значений параметров, найденных другими методами (например, расход топлива на 1 км пробега, коэффициент полезного действия, производительность машины).

Органолептический метод — определение показателей качества продукции (в баллах) на

основе анализа восприятий органов чувств человека — зрения, слуха, обоняния, осязания и вкуса без применения технических измерительных или регистрационных средств. Этим методом определяют, например, эстетические показатели, оказывающие воздействие на потребителя, вкусовые качества фруктов и т. д.

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

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.

Все технико-экономические показатели качества классифицируют по следующим группам: показатели назначения, показатели надежности, показатели технологичности, эргономические показатели, эстетические показатели, показатели стандартизации и унификации, патентно-правовые показатели.

Показатели назначения — одна из важнейших групп показателей качества, характеризующих назначение, область применения, производительность, транспортабельность, 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 — свойство 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 — сложное свойство изделия, определяемое четырьмя составляющими свойствами: безотказностью, долговечно-

стью, ремонтпригодностью 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.

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 увеличением 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 стандартизации и унификации характеризуют степень использования или применения в данном изделии стандартизованных и унифицированных деталей, агрегатов,

блоков и других составных элементов. Методика определения этих показателей подробно рассмотрена в главе 2.

П а т е н т н о - п р а в о в ы е п о к а з а т е л и включают 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 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 в отношении одних стран и не обладает таковой в отношении других, где действуют покрывающие его патенты.

§ 13. ОЦЕНКА УРОВНЯ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ

Систематическое проведение мероприятий по оценке уровня качества — один из основных элементов системы управления качеством продукции.

Уровень качества продукции — относительная характеристика качества продукции, основанная на сравнении совокупности показателей ее качества с соответствующей совокупностью базовых показателей.

Базовый показатель — показатель качества продукции, принятой за исходную при сравнительных оценках качества. За базовые принимают показатели продукции, выбранной в качестве эталона. Эталонами могут служить лучшие отечественные или зарубежные образцы, вновь проектируемые или намечаемые к производству.

При анализе изменения качества продукции в процессе ее производства за базовые показатели принимают значения, достигнутые в предыдущем периоде.

Уровень качества однородной продукции может быть охарактеризован дифференциальным, комплексным и смешанным методами.

Д и ф ф е р е н ц и а л ь н ы й м е т о д оценки уровня качества заключается в раздельном сопоставлении единичных показателей качества рассматриваемого

изделия с аналогичными базовыми показателями. Этот метод не позволяет получить однозначное численное значение уровня качества продукции, однако благодаря простоте и доступности его широко применяют. Для оценки уровня качества дифференциальным методом определяют относительные показатели качества по одной из следующих формул:

$$q_i = P_i/P_{i6}; \quad q_i = P_{i6}/P_i, \quad (4)$$

где P_i — единичный показатель рассматриваемого изделия; P_{i6} — единичный базовый показатель.

Первую формулу применяют для тех показателей, увеличение которых свидетельствует об улучшении качества изделия (производительность, мощность, ресурс), вторую — для показателей, уменьшение которых свидетельствует об улучшении качества изделий (себестоимость, материалоемкость, энергоемкость).

Если уровень качества рассматриваемого изделия превышает уровень эталона или соответствует ему, то все относительные показатели будут больше единицы или равны ей. Если же часть из них окажется меньше единицы, то заключение об уровне качества изделия дифференциальным методом сделать нельзя, и надо использовать комплексный метод.

Комплексный метод оценки уровня качества предусматривает применение обобщенных показателей качества. Этот метод позволяет получить однозначную численную оценку уровня качества продукции.

Если единичные показатели качества рассматриваемой продукции выражаются в баллах P_i и им присвоены некоторые коэффициенты весомости K_i , то обобщенный показатель качества

$$Q = \sum_{i=1}^n P_i K_i, \quad (5)$$

где n — число рассматриваемых единичных показателей.

Уровень качества при комплексном методе оценки равен отношению вычисленного обобщенного показателя к установленному заранее базовому обобщенному показателю.

Смешанный метод оценки уровня качества применяют в тех случаях, когда обобщенный показатель качества, используемый при комплексном методе, недостаточно полно учитывает все существенные свойства продукции, например эргономические, эстетические и патентно-правовые.

Уровень качества продукции оценивают смешанным методом следующим образом:

объединяют в группы единичные показатели качества и для каждой группы определяют соответствующий ей комплексный показатель (наиболее важные показатели качества допускается не объединять в группы и использовать как единичные);

рассматривают полученные комплексные показатели качества по группам и выделенные единичные показатели, применяя дифференциальный метод оценки.

В том случае, когда оценивают качество разнородной продукции, что часто бывает необходимым при сравнении деятельности различных предприятий, используют индексы качества.

Индекс качества продукции — комплексный показатель качества разнородной продукции, равный средневзвешенному значению относительных показателей качества различных видов продукции за рассматриваемый период.

При определении индексов качества продукции учитывают ее качество и цены, причем уровни качества продукции каждого вида берут изменяющимися, а цену для базового и рассматриваемого периодов принимают неизменной. Если качество каждого из рассматриваемых видов продукции может быть достаточно полно охарактеризовано одним каким-либо главным показателем, то индекс качества продукции

$$I_k = \frac{\sum_{i=1}^s n_i q_i l_i}{\sum_{i=1}^s n_i l_i}, \quad (6)$$

где s — число видов продукции; n_i — число изделий i -го вида в текущем периоде; q_i — относительный главный показатель качества i -го вида продукции; l_i — оптовая цена на продукцию i -го вида, руб.

Если в результате аттестации качества вся продукция предприятия (отрасли) была разнесена по трем категориям качества и каждой категории качества был присвоен определенный оценочный балл, то индекс качества продукции определяют по формуле

$$I_k = b_{\text{ср}}/b_6, \quad (7)$$

где $b_{\text{ср}}$ — средний балл оцениваемой продукции; b_6 — средний балл продукции, принятый за базу для сравнения.

В свою очередь, средний балл оцениваемой продукции

$$b_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^s c_i b_i}{\sum_{i=1}^s c_i}, \quad (8)$$

где s — число категорий качества; c_i — сумма, на которую за рассматриваемый период было выпущено разнородной продукции i -й категории качества; b_i — балл i -й категории качества.

Если оцениваемая продукция имеет сортность, то уровень ее качества может быть выражен коэффициентом сортности, определяемым по формуле

$$K_c = \frac{\sum_{i=1}^s \sum_{k=1}^n C_{ik} q_{ik}}{\sum_{i=1}^s \left[C_{i1} \sum_{k=1}^n q_{ik} \right]}. \quad (9)$$

Здесь n — число сортов продукции; C_{ik} — стоимость продукции i -го вида k -го сорта; q_{ik} — объем выпуска продукции i -го вида k -го сорта; C_{i1} — стоимость продукции i -го вида высшего сорта.

Иногда удобнее вместо определения уровня качества устанавливать долю дефектной продукции в общем потоке. Для этого вычисляют индекс де-

фектной продукции — комплексный показатель качества разнородной продукции, равный средневзвешенному значению относительных коэффициентов дефектности различных видов продукции за рассматриваемый период и определяемый по формуле

$$И_d = \frac{\sum_{i=1}^s C_i Q_i}{\sum_{i=1}^s C_i}, \quad (10)$$

где C_i — сумма, на которую выпущена продукция i -го вида в рассматриваемый период; Q_i — относительные показатели дефектности i -го вида продукции.

$$Q_i = D_i / D_{i0}, \quad (11)$$

где D_i — показатель дефектности рассматриваемой продукции; D_{i0} — показатель дефектности базовой продукции.

Показатель дефектности D_i , в свою очередь, входят как средневзвешенное число дефектов, приходящееся на единицу продукции

$$D = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^d m_j r_j, \quad (12)$$

где n — число единиц продукции в выборке; m_j — коэффициент весомости j -го вида дефекта, выраженный или отвлеченным числом, или стоимостью устранения дефекта в рублях; r_j — число дефектов j -го вида, обнаруженных в выборке; d — число всех видов дефектов, встречающихся в рассматриваемой продукции.

При улучшении качества продукции $И_d < 1$, при ухудшении $И_d > 1$.

§ 14. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ

Системы управления качеством продукции и системы управления технологическими процессами включают организацию контроля как единственно возможный источник обратной информации, необходимой для стабилизации процесса.

Контроль качества продукции — это проверка соответствия показателей качества продукции установленным требованиям. В процессе контроля качества продукция может подвергаться визуальному осмотру, измерениям по различным параметрам или испытаниям.

Контроль технологического процесса — это проверка соответствия характеристик, режимов и других показателей технологического процесса установленным требованиям.

Регулирование технологического процесса — это контроль качества изделия в процессе производства, по результатам которого вносят необходимые коррективы в технологический процесс.

В машиностроении применяют следующие основные виды контроля.

Входной контроль — контроль потребителем сырья, материалов, комплектующих изделий и готовой продукции, поступающих к нему от других предприятий или с участков производства.

Операционный контроль — проверка изготавливаемой продукции и ее отдельных деталей в процессе производства после завершения каждой (или нескольких) производственной операции.

Активный контроль — высшая форма операционного контроля. Активный контроль продукции осуществляется в процессе ее изготовления измерительными приборами, встроенными в технологическое оборудование, и используется для управления процессом изготовления.

Приемочный контроль — контроль готовой продукции, по которой завершены все предусмотренные технологические операции. По результатам этого контроля принимается решение о пригодности продукции к поставке или использованию.

В зависимости от объема контролируемой продукции входной, операционный и приемочный контроль может быть сплошным или выборочным.

Сплошной контроль — проверка каждой единицы продукции, фактически исключающая возможность попадания к потребителю дефектной продукции. Но в некоторых случаях применять сплошной контроль экономически неrationально (при очень больших программах выпуска продукции) или невоз-

можно (если проверка связана с разрушением продукции). В этих случаях используют выборочный контроль.

Выборочный контроль применяют для определения качества контролируемой продукции по результатам проверки одной или нескольких выборок из партии. Анализ результатов выборочного контроля проводят, используя методы математической статистики, поэтому такой контроль называется статистическим.

Статистический контроль заключается в том, что, основываясь на ограниченном числе контрольных проверок, судят с требуемой степенью точности о качестве всей партии изделий или состоянии технологического процесса.

Для того чтобы принять решение о качестве партии, состоящей из N изделий, по альтернативному признаку (годные, дефектные), необходимо установить долю q дефектных изделий M в этой партии:

$$q = M/N. \quad (13)$$

Из общего числа N изделий выбирают некоторое число n единиц продукции и подвергают их контролю. В результате обнаруживается m дефектных изделий. Задача сводится к тому, чтобы, зная значения n и m , сделать заключение о доле дефектных изделий q во всей партии.

При организации статистического приемочного контроля между заказчиком и изготовителем должна быть договоренность (договор о поставке) о предельно допустимом содержании дефектных изделий в поставляемой партии, которое называется «браковочный уровень качества». Исходя из этого, поставщик выбирает план контроля — совокупность данных о виде контроля, объеме контролируемой партии продукции, объеме выборок, контрольных нормативах и решающих правилах.

§ 15. ГОСУДАРСТВЕННАЯ АТТЕСТАЦИЯ КАЧЕСТВА ПРОМЫШЛЕННОЙ ПРОДУКЦИИ

Поставленная партией и правительством задача — обеспечить выпуск важнейших видов продукции на высшем мировом уровне — требует постоянной работы по совершенствованию техники,

технологии, организации производства, всесторонней оценке технического уровня производства и качества продукции.

С 1966 г. в нашей стране введена государственная аттестация качества промышленной продукции, являющаяся эффективным средством активизации деятельности предприятий-изготовителей по производству новой высокоэффективной продукции и снятию с производства устаревшей продукции.

Госстандарт, Государственный комитет СССР по науке и технике, Госплан СССР и Государственный комитет СССР по ценам утвердили порядок аттестации промышленной продукции, обязательный для всех министерств и ведомств, по двум категориям качества — высшей и первой.

Аттестуется промышленная продукция, включенная в Перечень продукции, подлежащей аттестации.

Аттестации по двум категориям качества не подлежит:

продукция, не подвергающаяся перед использованием предварительной промышленной переработке, рассортировке, обогащению и другой обработке; продукция, поставляемая только для нужд обороны страны; пищевые продукты; продукция медицинского назначения; парфюмерно-косметические товары; ювелирные изделия; изделия художественных промыслов; издательская продукция; произведения искусства; ядохимикаты; продукция внутризаводского потребления.

Аттестации продукции должна предшествовать подготовительная работа по выполнению требований, предъявляемых к аттестуемой продукции и условиям ее проведения.

Высшая категория качества присваивается продукции, которая по своим технико-экономическим показателям находится на уровне лучших мировых достижений или превосходит их.

Для получения высшей категории качества продукция должна иметь стабильные показатели качества, обеспечиваемые высоким техническим уровнем производства, строгим соблюдением технологической дисциплины и высокой культурой производства.

Вновь выпускаемая продукция должна аттестовываться не позднее одного года, а продукция особой



Рис. 4. Государственный Знак качества.

сложности — не позднее двух лет с начала ее серийного производства.

Продукция, представляемая к аттестации по высшей категории качества, подлежит обязательной демонстрации на ВДНХ СССР для привлечения научно-технической общественности к объективной оценке ее технического уровня и качества, при этом положительное заключение Главвыставкома ВДНХ СССР является обязательным.

Промышленная продукция, которой присвоена высшая категория качества, отмечается государственным Знаком качества (рис. 4) в соответствии с ГОСТ 1.9—67.

Первую категорию качества присваивают продукции, которая отвечает нормативно-техническим документам, содержащим современные требования в соответствии со стандартами, предусмотренными для серийно выпускаемой продукции.

Решение о присвоении категории качества выносит государственная аттестационная комиссия, в состав которой входят представители не менее трех министерств (ведомств), являющихся ведущими в производстве и потреблении данной продукции, Госстандарта, Министерства торговли СССР (при аттестации товаров народного потребления), Министерства внешней торговли СССР (при аттестации экспортной продукции). Если необходимо, то в комиссию включают специалистов Академии наук СССР, Государственного комитета СССР по науке и технике, ЦК профсоюзов, Минвуза СССР, научно-технических обществ.

Представители предприятий — изготовителей продукции не могут быть членами государственной аттестационной комиссии.

Срок действия категорий качества, устанавливаемый государственными аттестационными комиссиями: для промышленной продукции — до 3 лет; для продукции легкой промышленности — до 2 лет; для особо сложной продукции — до 5 лет.

Срок действия категорий качества продлевается только после проведения аттестации государственной аттестационной комиссией.

Глава 4. УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПРОМЫШЛЕННОЙ ПРОДУКЦИИ

§ 16. СТАНДАРТИЗАЦИЯ — ОСНОВА УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ

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

Стандарт устанавливает показатели качества выпускаемой и разрабатываемой продукции, определяет комплекс норм, правил, требований к конструкторской и технологической документации, методы и средства контроля качества, способствует эффективности эксплуатации и ремонта изделий.

Чтобы обеспечить заданные стандартом параметры качества продукции, предприятия совершенствуют организацию производства, внедряют новую технику, технологические процессы, улучшают технический контроль качества, повышают квалификацию рабочих, инженерно-технических работников. В этом проявляется управленческая функция стандартов.

Внедрение систем общетехнических стандартов (ЕСКД, ЕСТП, ЕСТПП и др.) и контроль за соблюдением требований стандартов в производстве — важный рычаг повышения качества продукции.

Для интенсификации производства и повышения его эффективности необходимо расширять и углублять специализацию и кооперирование, усложнять связи между предприятиями и отраслями народного хозяйства. Все это создает определенные трудности в повышении качества конечной продукции.

В условиях производства все усложняющихся конструкций машин, механизмов и оборудования необходим системный подход на основе комплексной стандартизации к решению проблемы улучшения качества.

Обобщение богатого опыта разработки эффективных форм и методов организации работы по улучшению качества продукции позволило создать базу для внедрения комплексных систем управления качеством продукции (КС УКП), т. е. совокупности технических, организационных, экономических и социальных мероприятий, установленных стандартами.

§ 17. КОМПЛЕКСНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ

Главная цель комплексной системы управления качеством продукции (КС УКП) — достижение постоянных высоких темпов повышения качества выпускаемой продукции при всемерном использовании научно-технических, производственных и социально-экономических возможностей в интересах повышения эффективности общественного производства, наиболее полного удовлетворения потребностей населения, народного хозяйства, обороны страны и экспорта.

Комплексная система управления качеством продукции создается на основе теории систем и науки об управлении. Модель системы можно представить себе в виде контура, имеющего вход, объект управления, субъект (орган) управления, орган сравнения фактического состояния объекта с заданным, канал обратной связи и выход. Объектом управления являются процессы формирования качества продукции.

Вход в систему — предметы и средства труда, живой труд, нормативно-техническая документация. Выход — готовая продукция, качество которой должно соответствовать показателям, определенным нормативно-технической документацией.

Задачи КС УКП устанавливают в техническом задании на систему в конкретном количественном выражении на определенный период времени, исходя из общей цели и реальных возможностей предприятия.

Как и любая система управления, КС УКП включает в себя функции по сбору информации о состоянии объекта, принятию решения, организации его исполнения, контролю за исполнением, стимулированию.

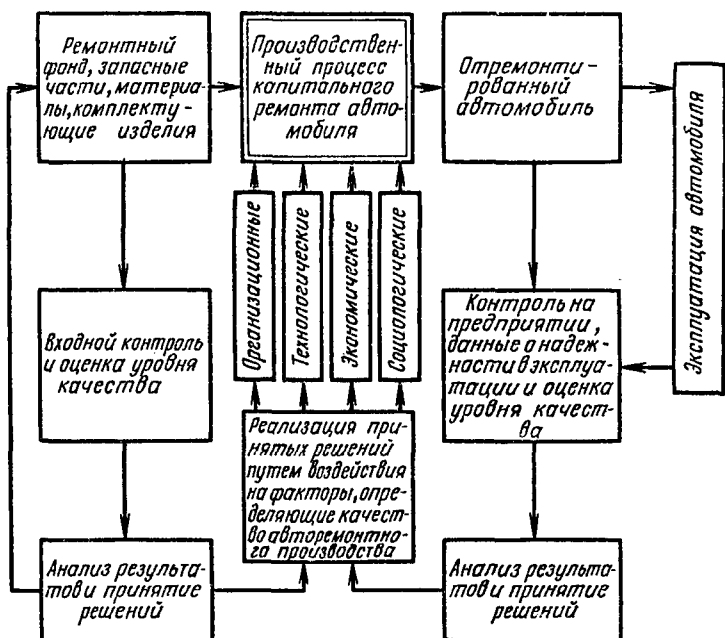


Рис. 5. Общая схема управления качеством ремонта

На рисунке 5 показана общая схема управления качеством ремонта автомобиля на авторемонтном предприятии*. В схеме показаны элементы, которые воздействуют на факторы, обуславливающие качество капитального ремонта автомобиля. В целом схема образует замкнутый цикл с обратной связью, имеющий два контура. Один из них относится к управлению качеством непосредственно в процессе производства, а другой — к управлению качеством поступающих в производство ремонтного фонда запасных частей и материалов.

КС УКП органически входит в систему управления производством, каждый отдел или служба предприятия является органом управления, реализующим ту или иную функцию управления качеством.

* Радин Ю. А., Борисенко Г. Н. Управление качеством продукции авторемонтного предприятия. Киев, Техника, 1978.

В процессе управления качеством реализуется совокупность типовых специализированных функций на стадиях проектирования, производства и эксплуатации изделий.

На стадии проектирования прогнозируют параметры изделий, выбирают показатели качества и надежности, находят пути и методы их обеспечения; определяют объем и вид конструкторских испытаний; устанавливают порядок разработки эксплуатационной документации и гарантийных сроков, а также конструкторский, технологический, патентный и нормализационный контроль; доводят изделия в опытном производстве; организуют производство установочной партии; определяют порядок сдачи нормативно-технической документации.

На стадии производства планируют повышение качества изделий; осуществляют высококачественную технологическую подготовку производства и метрологическое обеспечение; проверяют оборудование на технологическую точность; обеспечивают строгую технологическую дисциплину; проводят статистический анализ технологических процессов; осуществляют конструкторский и технологический надзор за соблюдением требований нормативно-технической документации; выполняют входной контроль материалов, полуфабрикатов и комплектующих изделий; контролируют, как реализуются планы и мероприятия по повышению качества изделий; хранят продукцию в соответствии с требованиями документации; выдают информацию о контрольных показателях качества в процессе изготовления.

На стадии эксплуатации осуществляют надзор за соблюдением норм и правил эксплуатации; изучают поведение и виды отказов изделий в эксплуатации, анализируют причины, разрабатывают мероприятия по их устранению.

Подготовка к разработке КС УКП начинается с издания приказов по предприятию о разработке системы, формирования координационно-рабочей группы (КРГ), утверждения положения о КРГ и назначения специализированного подразделения (группы), организующего разработку, функционирование, контроль функционирования и совершенствование системы.

Кроме председателя КРГ, которым должен быть

руководитель предприятия или его первый заместитель, в ее состав включают заместителя руководителя по качеству, руководителей и ведущих специалистов служб и подразделений, членов специализированного подразделения (группы).

Руководитель предприятия утверждает программы технической учебы для разработчиков КС УКП, подготовленные под методическим руководством КРГ подразделениями, на которые возложены вопросы организации технической учебы.

Задачи предприятия по повышению качества, а также выработка основных направлений работ, обеспечивающих решение этих задач, определяют на основе анализа состояния дел по повышению научно-технического уровня и качества продукции за последние три — пять лет, изучения фактического состояния управления качеством продукции, выявления факторов, препятствующих повышению качества продукции.

Результаты анализа обобщает специализированное подразделение под методическим руководством КРГ и использует его для разработки технического задания на КС УКП.

Техническое задание на разработку КС УКП должно содержать следующие разделы:

- основание для разработки;
- цель и задачи разработки;
- характеристику предприятия;

функции управления качеством продукции и перечень подразделений, реализующих эти функции, сроки разработки системы, перечень стандартов предприятия системы и исполнителей;

перспективы продолжения работ по КС УКП, рекомендуемые нормативные и методические источники, используемые при разработке системы.

Техническое задание, согласованное с головным или базовым предприятием по КС УКП, утверждает руководитель предприятия; его регистрируют в соответствии с требованиями РД50-192—80.

После утверждения технического задания исполнители приступают к разработке стандартов предприятия системы.

Рабочий проект КС УКП представляет собой комплект утвержденных стандартов предприятия;

планы организационно-технических мероприятий по внедрению каждого стандарта или группы стандартов, объединенных по функциональному признаку; действующие на предприятии положения, инструкции и другие нормативные документы, регламентирующие вопросы управления качеством; перечень ГОСТов, ОСТов, РСТ, ТУ, межведомственных и отраслевых нормативно-методических материалов, на которые даются ссылки в стандартах предприятия системы.

Рабочий проект системы, в зависимости от объема, оформляют в один или несколько томов, причем стандарты предприятия и планы организационно-технических мероприятий по их внедрению должны комплектоваться по функциональному признаку.

Разработанный и оформленный рабочий проект системы, утвержденный руководителем предприятия, представляют на регистрацию в головную или базовую организацию.

Внедрение КС УКП начинается с издания приказов о введении в действие утвержденных стандартов предприятия системы и выполнении планов организационно-технических мероприятий по их внедрению.

Контроль за внедрением системы осуществляют служба стандартизации предприятия, специализированное подразделение и координационно-рабочая группа.

После завершения работ по внедрению отдельных стандартов предприятия комиссия оформляет акт, который утверждает руководитель предприятия.

По окончании внедрения всех стандартов предприятия ведомственная комиссия оформляет акт о внедрении системы в соответствии с требованиями РД50-192—80, который представляет в территориальный орган Госстандарта на регистрацию.

Чтобы обеспечить контроль за функционированием системы, специализированное подразделение разрабатывает специальный план-график, в котором предусматривает периодическую проверку, как соблюдаются требования всех стандартов предприятия, контроль эффективности системы и выполнение плана мероприятий по повышению организационного и научно-технического уровня предприятия. Результаты конт-

роля докладывают руководителю предприятия для принятия в случае необходимости оперативных решений

Для дальнейшего совершенствования системы необходимо расширять ее цели и задачи, учитывая при этом передовой опыт, уточнять задачи системы при разработке новых методов, позволяющих существенно улучшить качество продукции, вносить уточнения в систему, необходимость которых выявилась в процессе ее функционирования.

§ 18. СИСТЕМА ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПРИЕМКИ*

В 1986 г. ЦК КПСС и Совет Министров СССР приняли постановление «О мерах по коренному повышению качества продукции». Предусматривается целый комплекс мер, направленных на повышение качества отечественной продукции. С 1 января 1987 г. в объединениях и на предприятиях, выпускающих важнейшую народнохозяйственную продукцию и товары народного потребления, введена государственная приемка. Так, трактора, зерноуборочные, картофелеуборочные, и свеклоуборочные комбайны, грузовые автомобили, оборудование для животноводства и кормопроизводства будут принимать органы государственной приемки.

Руководствуясь Положением, утвержденным Советом Министров СССР, органы государственной приемки, подчиняясь Госстандарту, осуществляют свою деятельность в соответствии с ГОСТ 26964—86 «Правила государственной приемки продукции. Основные положения», другими государственными стандартами и руководящими документами.

Работники государственной приемки, контролируя все стороны деятельности предприятия, определяющие качество выпускаемой продукции, проверяют, соответствуют ли изделия стандартам, техническим условиям, проектно-конструкторской и технологической документации, установленным образцам (эталонам). Кроме того, проверяют рабочие места, качество изделий и материалов, поступающих на предприятие,

* Параграф написал Гривцов С. С.

условия их хранения, состояние культуры производства. Работников государственной приемки интересуют правила хранения готовой продукции, технологическая документация на принимаемую продукцию, технологические процессы и др.

Наиболее ответственный этап в работе органов государственной приемки — приемка готовой продукции. При этом определяется ее годность и возможность использования по назначению в соответствии с технической документацией.

Органы государственной приемки контролируют рекламационную деятельность предприятий, вопросы, связанные с надежностью принимаемой продукции, работу по стандартизации, проверяют состояние и как используют средства измерений и соблюдают метрологические правила.

Работники государственной приемки должны подготавливать и вносить предложения по повышению качества и надежности принимаемой продукции, совершенствованию производства и контроля изделий, по пересмотру стандартов и технических условий и добиваться их реализации.

Государственная приемка на предприятии выполняет все функции Госстандарта, связанные с аттестацией продукции, выпускаемой предприятием, по двум категориям качества.

Указанные меры направлены на коренное улучшение качества выпускаемой продукции, ускорение научно-технического прогресса и, в конечном итоге, повышение благосостояния советского народа.

Глава 5. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ СТАНДАРТИЗАЦИИ

Все мероприятия, включаемые в годовые и перспективные планы стандартизации, должны быть экономически обоснованы. Практика внедрения стандартизации в производство подтверждает ее высокую экономическую эффективность. Однако в планы стандартизации следует включать только такие мероприятия, которые с наибольшим экономическим эффектом по сравнению с другими вариантами решают определенную проблему.

Методы определения экономической эффективности стандартизации установлены ГОСТ 20779—75. Основным принципом определения экономической эффективности стандартизации, ее влияния на экономику народного хозяйства является системный подход, предусматривающий анализ и изучение результатов выполнения всех мероприятий по стандартизации на стадиях проектирования, изготовления и эксплуатации (потребления). Это позволяет оценивать народнохозяйственную эффективность стандартизации.

§ 19. СОСТАВЛЯЮЩИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТАНДАРТИЗАЦИИ

Экономический эффект стандартизации — это выраженная в денежной или натуральной форме экономия живого и овеществленного труда в общественном производстве в результате внедрения стандарта с учетом необходимых для этого затрат.

На стадии проектирования экономический эффект стандартизации достигается за счет сокращения объема проектных работ, трудоемкости, стоимости и сроков проектирования на основе:

- улучшения организации проектно-конструкторских работ;

- многократного использования стандартной технической документации;

- применения стандартных условных графических изображений;

использования стандартных методов расчета;
уменьшения объема копировальных работ;
уменьшения объема документации, хранящейся в технических архивах;

сокращения расходов на последующую переработку проектов в полном соответствии со стандартами;
сокращения времени на согласование и утверждение вновь выпускаемой технической документации.

При этом учитываются изменения как текущих затрат проектных организаций, так и капитальных.

На стадии производства экономический эффект рассчитывают с учетом повышения серийности (масовости) выпускаемой продукции. Он состоит из экономии, полученной за счет:

уменьшения материалоемкости;

снижения трудоемкости процессов;

увеличения применения составных частей, приобретаемых на предприятиях специализированного производства;

унификации;

уменьшения фондоемкости;

снижения удельных затрат электроэнергии и топлива;

уменьшения доли условно-постоянных расходов, приходящихся на единицу продукции, в результате ее выпуска.

На стадии эксплуатации (потребления) экономический эффект складывается из снижения затрат потребителя в результате:

повышения технического уровня и качества продукции;

замены одним стандартным изделием (единицей продукции) нескольких;

увеличения срока службы изделия;

повышения надежности изделия;

уменьшения удельной энергоемкости, потребления топлива, воды и вспомогательных материалов;

уменьшения численности обслуживающего персонала и снижения его квалификации;

снижения стоимости ремонтных работ;

снижения потребности в запасных частях и контрольно-наладочной аппаратуре.

Для комплектующих изделий следует определять влияние стандартизации, повышающей их качество,

на экономику эксплуатации изделий, в которые они входят.

При неизменном качестве продукции все расчеты экономического эффекта следует вести только на стадиях проектирования и изготовления.

§ 20. МЕТОДИКА ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО РЯДА

Благодаря внедрению стандартизации и унификации сокращается число типоразмеров изделий, увеличивается их серийность (годовой выпуск). При стандартизации серийность производства можно легко повысить в 2...3 раза, что позволяет снизить трудоемкость изготовления на 15...20%. Дальнейшее повышение серийности производства в 5...8 раз снижает трудоемкость на 30...35%. Так, после создания в тракторной промышленности заводов, специализирующихся на выпуске деталей и агрегатов для тракторов, и в результате увеличения их выпуска в 6...50 раз трудоемкость снизилась на 27...46%.

Однако при сокращении числа типоразмеров изделий увеличиваются затраты на эксплуатацию, так как приходится использовать ближайший (большой) стандартный размер изделия, которое при этом имеет большую массу, затрачивает больше, чем требуется, мощности, что ведет к снижению коэффициента полезного действия и другим отрицательным последствиям.

Поэтому при проведении работ по стандартизации необходимо обосновать и выбрать оптимальный параметрический или размерный ряд изделия, удовлетворяющего условиям изготовления и эксплуатации. Методика решения подобной задачи сводится к последовательному решению трех частных задач.

1. Выбор главного параметра. Например, для электродвигателя таким главным параметром может быть мощность (при установленной частоте вращения вала), для редуктора — передаваемая мощность или крутящий момент (тоже при установленной частоте вращения выходного вала), для трактора — тяговое усилие на крюке.

2. Установление зависимостей между главным параметром и другими, например массой, стоимостью изготовления, стоимостью эксплуатации.

3. Техничко-экономическое обоснование размерного

ряда главного параметра и установление оптимального числа типоразмеров унифицированного изделия.

Например, себестоимость C единичного изделия в зависимости от программы может быть найдена по формуле

$$C = V + (П/В), \quad (14)$$

где V — переменные затраты, т. е. затраты, пропорциональные выпускаемой продукции: стоимость материалов, зарплата производственным рабочим, расходы по эксплуатации оборудования, инструмента; $П$ — условно-постоянные расходы, общий объем которых в единицу времени мало зависит от объема выпуска продукции: расходы на эксплуатацию зданий и сооружений, содержание ИТР и административно-хозяйственного персонала, расходы по охране труда и т. д.; $В$ — программа выпуска изделий.

При выборе оптимального ряда размеров унифицируемого изделия сравнивают себестоимость изготовления соседних типоразмеров по одному ряду с их себестоимостью по другому и принимают к производству более дешевый вариант.

Например, себестоимость изготовления каждого из трех соседних типоразмеров изделия выражается следующими данными:

$$C_1 = 7 + (1600/В_1) \text{ руб.}; C_2 = 9 + (1800/В_2) \text{ руб.}; \\ C_3 = 10 + (2000/В_3) \text{ руб.}$$

Потребность в изделиях равна: $В_1 = 80$ изд/год; $В_2 = 120$ изд/год; $В_3 = 100$ изд/год. Себестоимость каждого типоразмера определяют из соответствующего равенства, а среднюю себестоимость можно найти по уравнению

$$C_{\text{ср}} = \frac{C_1 B_1 + C_2 B_2 + C_3 B_3}{B_1 + B_2 + B_3} = \\ = \frac{27 \cdot 80 + 24 \cdot 120 + 30 \cdot 100}{300} = 26,8 \text{ руб.}$$

Если в результате унификации вместо трех типоразмеров принять один унифицированный, то

$$В = 300 \text{ изд/год.}$$

Приняв в качестве унифицированного изделия самый дорогой типоразмер, получим себестоимость его изготовления равной

$$C_{\text{ун}} = 10 + \frac{2000}{300} = 16,67 \text{ руб.}$$

Благодаря повышению серийности самого дорогого типоразмера изделия себестоимость одного экземпляра значительно снизилась и оказалась меньше средней себестоимости неунифицированных изделий.

Для принятия окончательного решения о выпуске унифицированного изделия необходимо сопоставить также затраты в процессе эксплуатации.

§ 21. ОБЩАЯ ЭКОНОМИЯ

При расчете экономической эффективности стандартизации на стадиях проектирования, изготовления и эксплуатации (потребления) изделия за базовые следует принимать параметры действующего стандарта, а при отсутствии стандарта — среднеотраслевые технические показатели и соответствующие им экономические данные.

Все параметры, используемые при расчете экономической эффективности стандарта, должны соответствовать показателям этого стандарта.

В каждом конкретном случае не по всем направлениям, перечисленным ранее, достигается экономия, поэтому получаемую экономию рассчитывают только по соответствующим составляющим элементам.

Общая экономия

$$\mathcal{E}_0 = \sum_{i=1}^n \mathcal{E}_i, \quad (15)$$

где n — число составляющих элементов общей экономии.

Себестоимость изделия после стандартизации

$$C_2 = C_1 - (\mathcal{E}_0 / B_2). \quad (16)$$

Здесь C_1 и C_2 — себестоимость изделия до и после внедрения стандартизации; B_2 — программа выпуска изделий после внедрения стандартизации.

На промышленных предприятиях, которым поручается выпуск уже разработанной конструкции, а экономия от ее эксплуатации еще не определена, но эксплуатационные показатели не хуже выпускав-

шейся ранее конструкции, годовой экономический эффект следует вычислять по формуле

$$\mathcal{E} = [(C_1 + E_n K_1) - (C_2 + E_n K_2)] B_2, \quad (17)$$

где C_1 и C_2 — себестоимость единицы продукции до и после стандартизации; E_n — нормативный коэффициент эффективности (колеблется в пределах 0,12...0,2); K_1 и K_2 — удельные капитальные вложения (производственные фонды) до и после стандартизации; B_2 — годовой выпуск (программа) после стандартизации.

При сопоставлении экономической эффективности стандартов лучшим считается тот, который обеспечивает наименьший срок окупаемости капитальных вложений:

$$O_r = K_c / \mathcal{E}_o, \quad (18)$$

где O_r — срок окупаемости, лет; K_c — капитальные вложения, необходимые для внедрения стандартизации; $\mathcal{E}_o$ — общая годовая экономия от стандартизации.

Основными мероприятиями по стандартизации, дающими экономический эффект, являются:

- уменьшение номенклатуры изделий, повышающее массовость производства и сберегающее издержки эксплуатации, включая затраты на обучение персонала (экономия в основном на стадии изготовления);

- увеличение номенклатуры, позволяющее применять в каждом случае изделие (продукцию), наиболее соответствующее определенным требованиям (экономия при эксплуатации);

- стандартизация методов выполнения работы (в том числе испытаний и измерений), документации и терминологии, уменьшающая трудоемкость соответствующих работ и способствующая улучшению достигаемых результатов (экономия на стадиях проектирования и подготовки производства);

- отбор наиболее технологичных конструкций, снижающих издержки при изготовлении изделий;

- установление оптимальных параметров, обеспечивающих наиболее экономное применение (эксплуатацию) стандартной продукции;

- установление типовых образцов, сокращающих объем проектных работ.

Глава 6. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТИ

§ 22. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТИ

Современное производство машин, оборудования, приборов, их эксплуатация и ремонт основываются на использовании принципа взаимозаменяемости деталей, сборочных единиц и агрегатов.

Взаимозаменяемостью принято называть свойство деталей (сборочных единиц, агрегатов) занимать свои места в машине без каких-либо дополнительных операций обработки и выполнять при этом свои функции в соответствии с заданными техническими условиями.

Следовательно, эти детали (сборочные единицы, агрегаты) должны соответствовать каким-то правилам, нормам, т. е. быть стандартизованными. Поэтому взаимозаменяемость основывается на стандартизации и является одним из необходимых условий при проведении работ по унификации и агрегатированию.

Первоначально добивались взаимозаменяемости для быстрой замены поломанных или износившихся в процессе эксплуатации деталей новыми. Это ускоряло, облегчало и удешевляло эксплуатацию и ремонт машин. Однако с развитием крупносерийного и массового производства преимущества взаимозаменяемости начали все шире использовать и при производстве машин. Сейчас большинство машин, в том числе тракторы, автомобили, комбайны, собирают на конвейере, а это стало возможным лишь благодаря изготовлению взаимозаменяемых деталей.

Время, необходимое на сборку или установку какого-либо агрегата, может быть определено довольно точно; оно стабильно. Каждый рабочий на конвейере за определенное время выполняет полный комплекс закрепленных за ним сборочных работ, после чего все машины перемещаются к очередным рабочим постам, а с последнего рабочего поста на конвейере сходит собранная машина. Эта согласованность может быть выдержана только при условии, что на сборке будут исключены операции подгонки, т. е. на сборку будут поступать полностью взаимозаменяемые детали, сборочные единицы и агрегаты.

Такой вид взаимозаменяемости называется полной. При неполной (ограниченной) взаимозаменяемости сборку ведут или после предварительной сортировки деталей на группы (селективная сборка), или с частичной их пригонкой, подбором и применением компенсаторов.

Обеспечить взаимозаменяемость деталей можно, решив весь комплекс вопросов конструирования, технологии изготовления, контроля и эксплуатации. Поэтому более правильным будет следующее расширенное определение понятия принципа взаимозаменяемости.

Взаимозаменяемость — это принцип конструирования, производства, эксплуатации и ремонта изделий, обеспечивающий сборку (или замену при ремонте) независимо изготовленных сопрягаемых деталей, сборочных единиц и агрегатов при выполнении требований, предъявляемых к точности геометрических, механических, электрических и других параметров качества, при которых эксплуатационные показатели работы изделия должны быть экономически оптимальными и находиться в заданных пределах.

Для сборочных единиц, агрегатов, изделий, входящих в состав более сложных изделий и поставляемых по кооперации, различают внешнюю и внутреннюю взаимозаменяемость.

Внешняя взаимозаменяемость характеризует размеры и форму соединительных поверхностей и основные эксплуатационные показатели (например, для электродвигателя это мощность и частота вращения вала).

Внутренняя взаимозаменяемость характеризует размеры деталей, входящих в сборочные единицы, агрегаты, изделия. Например, внутреннюю групповую взаимозаменяемость имеют поршневые пальцы и втулки верхней головки шатуна, корпуса гидрораспределителей и золотники.

Функциональная взаимозаменяемость — форма взаимозаменяемости, при которой обеспечиваются не только сборка и замена при ремонте любых деталей и узлов, но и их экономически оптимальные служебные функции. Например, взаимозаменяемое зубчатое колесо, помимо способности занять свое место в машине без операций подгонки, должно передавать задан-

ный крутящий момент, иметь в сопряжении с другим зубчатым колесом определенное передаточное отношение и обладать достаточным техническим ресурсом. Взаимозаменяемый насос гидросистемы трактора, помимо точности присоединительных размеров, должен иметь заданную производительность, развивать определенное давление и иметь достаточный технический ресурс.

Добиться функциональной взаимозаменяемости можно лишь в том случае, если обеспечена взаимозаменяемость по геометрическим параметрам (точность размеров, формы, расположения поверхностей, шероховатости); по кинематическим параметрам, определяющим законы движения деталей или узлов машин; по показателям физико-механических свойств деталей и особенно их поверхностного слоя.

Благодаря принципу взаимозаменяемости можно в широких масштабах осуществлять специализацию и кооперирование предприятий, что дает огромную экономию труда и средств за счет применения более производительного специализированного оборудования, комплексной механизации и автоматизации производственных процессов. Специализированные заводы выпускают метизы шарико- и роликоподшипники для всех машиностроительных заводов. Автотракторное электрооборудование, дизельную топливную аппаратуру, гидронавесные системы тракторов также изготавливают на специализированных заводах.

Изготовить современный трактор или автомобиль невозможно без кооперирования заводов. Любой тракторный или автомобильный завод получает по кооперации взаимозаменяемые детали, сборочные единицы и агрегаты с десятков других специализированных заводов.

Например, в конструкции трактора МТЗ-80 используется 75% агрегатов, сборочных единиц и деталей, поступающих от различных заводов-смежников.

При эксплуатации и ремонте машин в условиях сельскохозяйственного производства взаимозаменяемость приобретает особо важное значение. У работающих в поле тракторов, автомобилей и сельскохозяйственных машин выход из строя одной из деталей приводит к простоя всего агрегата. Быстро устранить неисправность вдали от ремонтных мастер-

ских можно, лишь используя взаимозаменяемые запасные части. Нарушение принципа взаимозаменяемости, необходимость «подгонки» детали по месту привели бы к длительному простоя машин, растягиванию сроков полевых работ и к большим убыткам. Вот почему нормальная эксплуатация машинно-тракторного парка в полевых условиях невозможна без взаимозаменяемых деталей, узлов и агрегатов.

Ремонт сельскохозяйственной техники также экономически эффективен только при использовании взаимозаменяемых запасных частей, изготовленных на специализированных заводах или восстановленных в централизованном порядке. При производстве запасных частей на самих ремонтных предприятиях резко увеличиваются затраты труда, средств и материалов. А многие детали, например поршни автомобильного или тракторного двигателя, вообще нельзя изготовить на ремонтных предприятиях, так как для их производства требуется сложное специальное оборудование. Поэтому ремонт машин в условиях сельскохозяйственного производства практически возможен лишь при бесперебойном снабжении ремонтных предприятий взаимозаменяемыми запасными частями. Специализация ремонтных предприятий и организация централизованного восстановления изношенных деталей, узлов и агрегатов позволяют в еще большей мере использовать преимущества взаимозаменяемости при ремонте машин.

Дальнейшее совершенствование конструкций тракторов, автомобилей и сельскохозяйственных машин, повышение их надежности и долговечности, связанное с увеличением точности изготовления отдельных сопряжений, еще более повышают роль взаимозаменяемости при эксплуатации и ремонте сельскохозяйственной техники.

§ 23. КРАТКАЯ ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ВЗАИМОЗАМЕЯЕМОСТИ В НАШЕЙ СТРАНЕ

Взаимозаменяемость была впервые достигнута в XVIII веке при изготовлении стрелкового оружия. Здесь раньше, чем в других отраслях промышленности, было организовано массовое производство, а условия использования и ремонта техники

в боевой обстановке особенно настоятельно требовали осуществления принципа взаимозаменяемости.

В конце XIX и начале XX века принципы взаимозаменяемости начинают внедрять в общем машиностроении при производстве станков, швейных машин.

Однако еще долгое время в области взаимозаменяемости не было в достаточной степени ни теоретических, ни экспериментальных исследований. Именно поэтому были несовершенными системы допусков, разработанные в 1915...1917 гг. И. И. Куколевским и в 1919 г. П. П. Шелоумовым. Только после проведения многочисленных экспериментальных исследований и установления зависимости погрешности при обработке от диаметра обрабатываемой поверхности, после обобщения опыта работы многих машиностроительных заводов стало возможным создание достаточно стройной системы допусков и посадок. Проект стандарта «Допуски для пригонок», разработанный в 1924...1925 гг. под руководством А. Д. Гатцука, послужил основой нашей государственной системы допусков. Стандарты на допуски и посадки для диаметров от 1 до 500 мм, утвержденные в 1929 г., были настолько совершенными, что действовали в течение 50 лет.

В последующие годы система допусков и посадок расширялась и дополнялась: были разработаны государственные стандарты для диаметров до 1 мм и свыше 500 мм. Были введены государственные стандарты допусков и посадок резьбовых соединений, допусков калибров, зубчатых зацеплений, шпоночных и шлицевых соединений и многие другие.

Все государственные стандарты и дополнения к ним в области взаимозаменяемости, разрабатываемые в нашей стране после 1932 г., учитывали рекомендации Международной организации по стандартизации ИСО, но основой являлась национальная система допусков и посадок — система ОСТ.

Переход на систему допусков и посадок ИСО определен требованиями развивающегося технико-экономического сотрудничества СССР с другими странами, и прежде всего со странами — членами СЭВ. Сейчас действуют ГОСТ 25346—82 и ГОСТ 25347—82, соответствующие ЕСДП СЭВ.

§ 24. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ О ДОПУСКАХ И ПОСАДКАХ

Детали, полностью или частично входящие одна в другую, образуют соединение.

Внутренний (охватывающий) элемент детали — это отверстие, наружный (охватываемый) элемент детали — вал.

Название «отверстие» и «вал» условны и относятся не только к гладким цилиндрическим элементам. Например, в соединении шпонки с валом шпонка является валом, а паз вала — отверстием (рис. 6).

Детали, из которых состоят соединения, характеризуются размерами. Размер — числовое значение линейной величины (диаметр, длина, высота и т. д.) в выбранных единицах измерения. В машиностроении размеры указывают в миллиметрах.

Условные обозначения размеров, относящихся к отверстиям, обозначают прописной, а к валам — строчной буквами латинского алфавита. Размер отверстия — D , размер вала — d .

Размер определяют расчетами на прочность, жесткость, усталость или выбирают из конструктивных соображений, а затем округляют до ближайшего, как правило, большего размера из рядов нормальных линейных размеров по ГОСТ 6636—69 (СТ СЭВ 514—77). В дальнейших расчетах участвует этот основной размер, который называется номинальным (D_n , d_n). Нормальный размер одинаков для отверстия и для вала, образующих соединение: $D_n = d_n$.

Действительный размер (D_e , d_e) — это размер изготовленной детали, установленный ее измерением

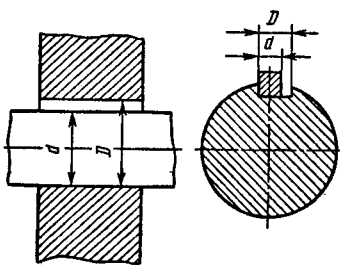


Рис. 6. Примеры охватываемой и охватывающей поверхностей.

с погрешностью, допущенной нормативным документом для приемки продукции. Если же измерение проводят не с целью приемки продукции и требования к точности не установлены, то полученный размер называется измеренным. Действительные размеры деталей в партии, изготовленной на од-

ном и том же станке с одной установки инструмента, будут отличаться один от другого, так как на их значение влияет очень большое число факторов, не поддающихся учету и регулированию (подробнее см. гл. 6).

Избежать рассеяния действительных размеров при обработке невозможно, поэтому зону рассеяния ограничивают, устанавливая наибольший и наименьший предельные размеры ($D_{\max}$, $D_{\min}$, $d_{\max}$, $d_{\min}$).

Предельными размерами называют два предельно допустимых размера, между которыми должен находиться или которым может быть равен действительный размер.

Разность между наибольшим и наименьшим предельными размерами называется допуском (T):

$$T_D = D_{\max} - D_{\min}; \quad T_d = d_{\max} - d_{\min}. \quad (19)$$

Допуск — это интервал, в пределах которого должны находиться действительные размеры годных деталей. Он может быть только положительной величиной.

На чертежах предельные размеры обозначают значениями предельных отклонений от номинального размера. Предельное отклонение — алгебраическая разность между предельным и номинальным размерами. Различают верхнее и нижнее отклонения.

Верхнее отклонение ES , es — алгебраическая разность между наибольшим предельным и номинальным размерами:

$$ES = D_{\max} - D_n; \quad es = d_{\max} - d_n. \quad (20)$$

Нижнее отклонение EI , ei — алгебраическая разность между наименьшим предельным и номинальным размерами:

$$EI = D_{\min} - D_n; \quad ei = d_{\min} - d_n. \quad (21)$$

Допуск равен абсолютному значению алгебраической разности между верхним и нижним отклонениями:

$$T_D = ES - EI; \quad T_d = es - ei. \quad (22)$$

Посадка — характер соединения деталей — определяется размером получающихся в нем зазоров или натягов.

Зазор S — положительная разность между размером отверстия D и размером вала d :

$$S = D - d, \quad (23)$$

Зазор образуется в соединении, когда размер отверстия больше размера вала, и обеспечивает бóльшую или меньшую свободу взаимного перемещения деталей.

Натяг N — положительная разность между размером вала d и размером отверстия D , если размер вала до сборки больше размера отверстия:

$$N = d - D \quad (24)$$

Натяг характеризует прочность взаимного соединения деталей.

Из сказанного следует, что натяг можно рассматривать как отрицательный зазор, и наоборот:

$$\begin{aligned} S &= D - d; & N &= d - D. \\ S &= -N; & N &= -S. \end{aligned}$$

Рассеяние действительных размеров отверстия и вала в пределах допусков неизбежно приводит к рассеянию значений зазоров и натягов в собираемых соединениях. Для анализа характера соединения важно знать предельные значения зазоров и натягов. Предельные зазоры и натяги аналитически можно определить по следующим формулам:

$$\left. \begin{aligned} S_{\max} &= D_{\max} - d_{\min} = ES - ei; \\ S_{\min} &= D_{\min} - d_{\max} = EI - es; \\ N_{\max} &= d_{\max} - D_{\min} = es - EI; \\ N_{\min} &= d_{\min} - D_{\max} = ei - ES. \end{aligned} \right\} \quad (25)$$

Допуск посадки (T_{Δ}) — разность между наибольшим и наименьшим зазором или натягом

$$T_{\Delta} = S_{\max} - S_{\min}; \quad T_{\Delta} = N_{\max} - N_{\min}. \quad (26)$$

В то же время

$$\begin{aligned} T_{\Delta} &= S_{\max} - S_{\min} = (D_{\max} - d_{\min}) - (D_{\min} - d_{\max}) = \\ &= D_{\max} - D_{\min} + d_{\max} - d_{\min} = T_D + T_d. \end{aligned}$$

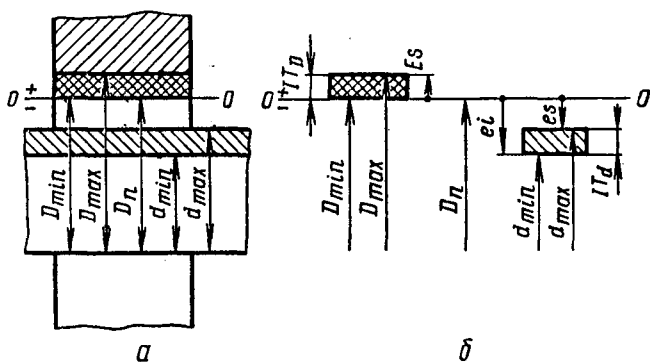


Рис. 7. Графическое изображение деталей соединения:
 а — схема деталей соединения; б — схема расположения полей допусков
 деталей соединения.

Аналогично

$$T_{\Delta} = N_{\max} - N_{\min} = (d_{\max} - D_{\min}) - (d_{\min} - D_{\max}) = \\ = D_{\max} - D_{\min} + d_{\max} - d_{\min} = T_D + T_d.$$

Следовательно, допуск посадки равен сумме допусков отверстия и вала:

$$T_{\Delta} = T_D + T_d. \quad (27)$$

Графическое изображение деталей соединения дает возможность легче усвоить соотношение предельных размеров вала и отверстия, значительно упрощает все расчеты по определению допусков, зазоров или натягов (рис. 7, а). Заштрихованная зона между наибольшим и наименьшим предельными размерами называется полем допуска; его высота равна допуску. Однако такая схема, хотя она и достаточно наглядна, не может быть вычерчена в масштабе ввиду очень большой разницы между значениями номинального размера, отклонений и допусков. Кроме того, она довольно сложна. Поэтому для практических целей пользуются более простой схемой полей допусков (рис. 7, б), где за начало отсчета предельных отклонений принята нулевая линия, соответствующая положению номинального размера. От нулевой линии откладывают в масштабе предельные отклонения; со знаком плюс — вверх, со знаком минус — вниз, определяя отклонения — суть координаты.

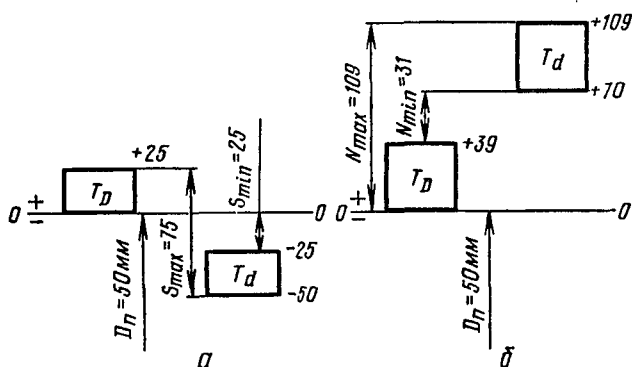


Рис. 8. Схемы расположения полей допусков:
а — посадка с зазором; *б* — посадка с натягом.

наты границ поля допуска относительно номинального размера. По такой схеме легко определяются предельные размеры вала и отверстия, допуски, зазоры и натяги.

В качестве примера на рисунке 8, *а* показана схема расположения полей допусков соединения, имеющего посадку с зазором, где цифрами около полей допусков обозначены предельные отклонения отверстия вала в микрометрах. Для этого соединения по схеме могут быть определены:

$$\begin{aligned} D_{\max} &= 40,025 \text{ мм}; & T_D &= 25 \text{ мкм}; \\ D_{\min} &= 40,000 \text{ мм}; & T_d &= 25 \text{ мкм}; \\ d_{\max} &= 39,975 \text{ мм}; & S_{\max} &= 75 \text{ мкм}; \\ d_{\min} &= 39,950 \text{ мм}; & S_{\min} &= 25 \text{ мкм}. \end{aligned}$$

На рисунке 8, *б* изображена аналогичная схема расположения полей допусков соединения, имеющего посадку с натягом, у которого

$$\begin{aligned} D_{\max} &= 50,039 \text{ мм}; & T_D &= 39 \text{ мкм}; \\ D_{\min} &= 50,000 \text{ мм}; & T_d &= 39 \text{ мкм}; \\ d_{\max} &= 50,109 \text{ мм}; & N_{\max} &= 109 \text{ мкм}; \\ d_{\min} &= 50,070 \text{ мм}; & N_{\min} &= 31 \text{ мкм}. \end{aligned}$$

§ 25. НАНЕСЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНЫХ ОТКЛОНЕНИЙ РАЗМЕРОВ НА ЧЕРТЕЖАХ

Линейные размеры и предельные отклонения на чертежах в машиностроении указывают в миллиметрах без их сокращенного обозначения.

Правила нанесения предельных отклонений установлены ГОСТ 2.307—68, входящим в ЕСКД.

Предельные отклонения указывают непосредственно после номинальных размеров со своим знаком, причем верхние отклонения помещают над нижними (рис. 9, а). Предельные отклонения, равные нулю, не указывают, оставляя их место незанятым (рис. 9, б).

При симметричном расположении поля допуска относительно нулевой линии абсолютное значение отклонений указывают один раз со знаками $\pm$; при этом высота шрифта отклонений должна быть равна высоте шрифта номинального размера (рис. 9, в).

У отклонений нули справа от значащей цифры не ставят. Если же число значащих цифр у верхнего и ниж-

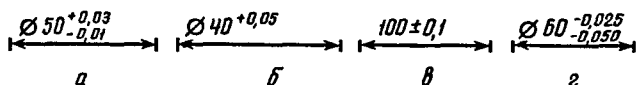


Рис. 9. Обозначение предельных отклонений на чертежах.

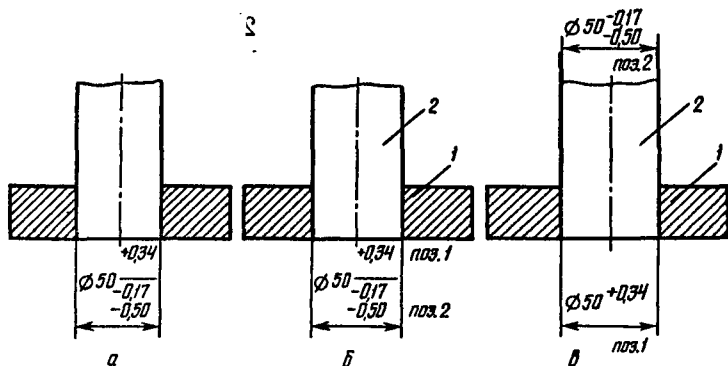


Рис. 10. Обозначение предельных отклонений на сборочных чертежах.

него отклонений разное, то, дописывая нули справа, число цифр у верхнего и нижнего отклонений необходимо сделать одинаковым (рис. 9, *г*).

Предельные отклонения размеров деталей, показанных на чертеже в сборе, записывают в виде дроби, в числителе которой указывают числовые значения предельных отклонений отверстия, а в знаменателе — числовые значения предельных отклонений вала (рис. 10, *а*).

При нанесении числовых значений на сборочных чертежах допускаются надписи, поясняющие, к какой из деталей относятся отклонения (рис. 10, *б* и *в*).

Глава 7. ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ И ВОССТАНОВЛЕНИИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Качество машин и в первую очередь их надежность и долговечность зависят в значительной мере от точности обработки деталей при их изготовлении и восстановлении в процессе ремонта. Дальнейшее совершенствование машин, усложнение конструкций тракторов, автомобилей, комбайнов и других машин, увеличение рабочих скоростей, рост удельных нагрузок предъявляют более высокие требования к качеству деталей, в том числе и к точности обработки.

§ 26. ВИДЫ ПОГРЕШНОСТЕЙ И ПРИЧИНЫ ИХ ВОЗНИКНОВЕНИЯ

Проектируя машину, конструктор назначает определенные форму и размеры каждой детали, ограничиваемые комплексом геометрических поверхностей и обеспечивающие необходимые эксплуатационные характеристики. Однако на практике детали, обработанные на станках, будут иметь отклонения от заданных размеров и формы. В связи с этим различают заданную, или номинальную поверхность, определенную чертежом, и действительную, или реальную, полученную в результате обработки и измеренную с допустимой точностью.

Точность обработки — это степень соответствия действительных геометрических размеров параметрам, заданным чертежом.

Погрешность обработки — степень несоответствия или отклонения действительных параметров от заданных. Можно сказать, что погрешность — величина, обратная точности.

Погрешности обработки даже в пределах одной поверхности в различных сечениях и точках отличаются одна от другой и представляют собой совокупность отклонений с различными частотами и амплитудами. Применяя контурографы и профилографы в сочетании с гармоническими анализаторами, можно ис-

следовать характер отклонений геометрических параметров деталей для совершенствования технологических процессов.

В производственных условиях для оценки точности деталей трудно использовать гармонический анализ. Поэтому отклонения геометрических параметров принято классифицировать укрупненно: отклонения размера; отклонения расположения поверхности; отклонения формы; волнистость; шероховатость.

Факторов, влияющих на точность обработки, очень много, поэтому их полезно сгруппировать для более детального анализа источников погрешностей обработки.

Неточности станка. Погрешность обработки может быть вызвана биением шпинделя, непрямолинейностью направляющих станины, суппорта, рабочего стола, непараллельностью и неперпендикулярностью перемещений суппорта оси шпинделя, несовпадением центров передней и задней бабок, зазорами в сопряжениях.

Неточности приспособления. Среди неточностей приспособления особое значение имеют неточности элементов, предназначенных для установки обрабатываемой детали, неточности поверхностей корпуса приспособления, размещаемого на станке, неточности элементов, определяющих положение инструмента.

Неточности режущего инструмента. Наиболее существенны неточности мерного (сверла, зенкеры, развертки, метчики, протяжки и т. п.) и профильного (фасонные резцы и шлифовальные круги, фрезы и т. п.) инструмента, так как они прямо и непосредственно влияют на размер и форму обрабатываемой поверхности и не могут быть устранены подналадками.

Для всех режущих инструментов наиболее существенны погрешности, возникающие в результате износа режущей части, т. е. размерный износ инструмента.

Неточности детали. Деталь, поступающая на какую-либо операцию, имеет погрешности обработки, возникшие при выполнении предшествующих операций. При восстановлении деталей к этим погрешностям прибавляются искажения размеров и формы, вызванные износом и деформацией в процессе экс-

плутации. Эти погрешности влияют на точность обработки, достигаемую в данной операции.

Деформации станка, приспособления, инструмента. Упругие деформации, возникающие под действием сил резания в станке, приспособлении, инструменте, можно разделить на деформации в местах соединений — деформации стыков (отжатие шпинделя, стола, суппорта и т. п.) и деформации тела деталей (прогиб шпинделя, станины и т. п.). Размеры этих деформаций определяются жесткостью станка и зависят от его конструкции и качества изготовления.

Деформация детали. Особенно важно учитывать деформации при обработке нежестких деталей: длинных валов, тонкостенных цилиндров, колец и т. п. В этих случаях погрешности обработки возникают в результате действия сил зажатия детали при ее закреплении и сил резания в процессе обработки.

При обработке деталей сложной формы с резкими изменениями площади сечения (блоки цилиндров, головки блока, корпуса коробок передач) особое значение имеют деформации от внутренних напряжений.

При снятии слоев металла равновесие сил внутреннего напряжения материала детали нарушается, и вследствие перераспределения напряжений форма обработанной поверхности и детали в целом может искажаться.

Температурные деформации. В процессе механической обработки температура отдельных частей станка, приспособления, инструмента, детали изменяется неодинаково. Кроме того, материалы имеют различный коэффициент линейного расширения. В результате первоначальное взаимное положение поверхностей нарушается, что является причиной возникновения погрешностей обработки.

Неточность установки инструмента на размер. Непосредственно на значение размера влияет неточность первоначальной установки режущего инструмента, а также неточность его установки при замене.

Неточности измерения размера. Неточности изготовления измерительного инструмента или прибора, а также неточности, допускаемые при измерениях, всегда являются одним из источников

погрешностей обработки, так как о ее результатах мы судим по результатам измерений.

Все эти причины вызывают отклонения параметров детали, заданных чертежом. При обработке партии деталей каждая из причин, вызывающих неточности, изменяет свое воздействие при переходе от одной детали к другой неодинаково.

Чтобы оценить влияние каждого из перечисленных факторов в отдельности, применяют экспериментально-аналитический метод исследования, который достаточно сложен и требует много времени.

Статистический метод исследования менее сложен и трудоемок и позволяет оценивать влияние сразу всех факторов, действующих в исследуемой операции. В производственных условиях его применяют наиболее широко.

§ 27. ТОЧНОСТЬ РАЗМЕРА

В результате возникновения погрешностей при обработке действительные размеры деталей одной партии различаются между собой, т. е. происходит рассеяние размеров. Рассеяние размеров — результат воздействия большого числа факторов, не поддающихся регулированию, поэтому при изготовлении или восстановлении крупных партий одинаковых деталей точность изготовления можно оценить, используя положения теории вероятностей и математической статистики.

Погрешности могут быть систематическими и случайными.

Систематические погрешности постоянны по значению и знаку или закономерно изменяются при переходе от одной детали к другой. Источниками систематических погрешностей могут служить, например, непрямолинейность направляющих станка, неточность мерного инструмента, неточности изготовления или настройки измерительного инструмента и т. п. Значение и знак систематической погрешности можно заранее предусмотреть и учесть в тех случаях, когда ее невозможно устранить.

Случайные погрешности непостоянны по значению и знаку. Предусмотреть заранее их значение и знак в каждом конкретном случае невозможно, так как они

не подчиняются какой-либо видимой закономерности. Источниками случайных погрешностей в основном являются упругие деформации системы станок — приспособление — инструмент — деталь, неоднородность механических свойств материалов, размер припуска и т. п. Оценить их можно, только используя методы теории вероятностей.

Грубые погрешности возникают при допущенных грубых ошибках в отсчете делений на лимбе, попадании стружки при установке детали и при ее измерении и т. п. При обработке результатов измерений грубые погрешности исключаются. Избежать погрешностей обработки нельзя, поэтому при изготовлении и восстановлении деталей отклонения геометрических параметров от заданных ограничивают, обеспечивая большую или меньшую точность обработки.

Точность размера определяется установленным допуском на обработку.

Точность партии деталей может характеризоваться величинами, используемыми в математической статистике.

Большое число различных факторов и их неодинаковое влияние приводят к тому, что невозможно заранее предвидеть значение и знак погрешности изготовления или измерения, т. е. погрешность есть случайная величина. Поэтому для анализа погрешностей обработки или измерения используют положения теории вероятностей и математической статистики. Обязательное наличие погрешностей обработки или измерений приводит к рассеянию (или разбросу) размеров в партии деталей или в результатах измерений.

§ 28. СТАТИСТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ РАССЕЯНИЯ

Основные статистические параметры рассеяния размеров: средний арифметический размер $\bar{x}$, диапазон рассеяния R , среднее квадратическое отклонение σ .

Средний арифметический размер $\bar{x}$ — это сумма действительных размеров, деленная на их число:

$$\bar{x} = (x_1 + x_2 + \dots + x_N)/N, \quad (28)$$

где $x_1, x_2, \dots, x_N$ — действительные размеры деталей; N — число действительных размеров.

Средний арифметический размер определяет положение центра группирования.

Диапазон рассеяния размеров R — разность между наибольшим и наименьшим размерами:

$$R = x_{\max} - x_{\min}, \quad (29)$$

где $x_{\max}$ и $x_{\min}$ — наибольший и наименьший размеры.

Диапазон рассеяния размеров характеризует только разброс размеров около центра группирования.

Для анализа же точности обработки или измерения необходимо знать также характер рассеяния размеров внутри диапазона рассеяния.

Среднее квадратическое отклонение σ — один из основных параметров, характеризующих рассеяние размеров:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}. \quad (30)$$

При числе размеров свыше 25 с достаточной достоверностью можно определить среднее квадратическое отклонение по формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}. \quad (31)$$

Наглядное представление о характере рассеяния дают так называемые кривые распределения, кото-

рые в зависимости от способа построения делятся на гистограммы распределения, эмпирические кривые, или полигоны распределения, и теоретические кривые распределения (рис. 11).

При построении кривых распределения по оси абсцисс откладывают или сам размер x_i , или его отклонения Δx_i от среднего арифметического размера $\bar{x}$. По оси ординат

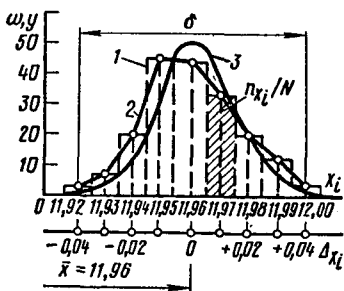


Рис. 11. Гистограмма (1), полигон (2) и теоретическая кривая распределения (3).

для построения гистограмм и полигонов распределения откладывают относительную частоту, равную

$$\omega = n_{xi}/N, \quad (32)$$

где n_{xi} — частота или число размеров, попадающих в один и тот же интервал; N — общее число размеров.

При построении теоретической кривой распределения по оси ординат откладывают плотность вероятности y случайной величины. На гистограмме или полигоне рассеяния площадь в пределах интервала равна относительной частоте, а на теоретической кривой — вероятности появления размера в данном интервале.

Закон больших чисел гласит: с вероятностью, близкой к достоверности, можно утверждать, что при достаточно большом числе опытов частота наблюдаемого события может как угодно мало отличаться от его вероятности. Исходя из этого, при практических расчетах пользуются теоретическими кривыми распределения, полученными аппроксимацией гистограмм или эмпирических кривых распределения.

Для аппроксимации наиболее часто применяют следующие законы распределения.

1. Закон нормального распределения, или закон Гаусса

$$y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x - \bar{x})^2}{2\sigma^2}} \quad (33)$$

Этот наиболее распространенный закон распределения случайных величин имеет место, когда из большого числа факторов ни один не является доминирующим, а каждый играет относительно малую роль в общей совокупности (рис. 12, а). Закон нормального распределения размеров часто имеет место при обработке деталей, особенно на станках-автоматах, а также при измерении размеров универсальными средствами измерения.

2. Закон равной вероятности

$$y = \frac{1}{x_n - x_1} = \text{const.} \quad (34)$$

Он характерен для случайных величин, на которые влияет резко доминирующий фактор, равномерно

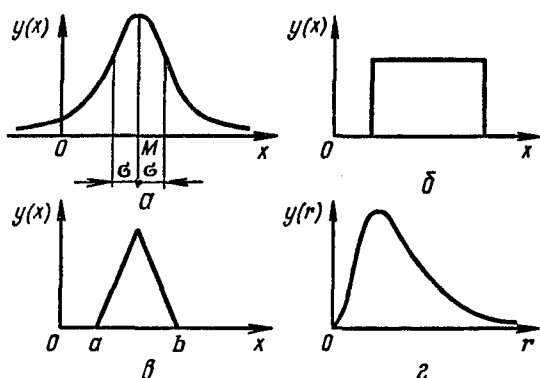


Рис. 12. Законы распределения случайных величин:
 a — закон нормального распределения; $б$ — закон равной вероятности;
 $в$ — закон равнобедренного треугольника; $г$ — закон эксцентриситета.

изменяющийся в пространстве или во времени (рис. 12, б).

3. Закон равнобедренного треугольника, или закон Симпсона:

$$y = \begin{cases} \frac{4}{(x_n - x_1)^2} (x'_n - x_1) & \text{при } x_1 < x'_n; \\ \frac{4}{(x_n - x_1)^2} (x_n - x) & \text{при } x_n > x. \end{cases} \quad (35)$$

Этому закону подчиняются случайные величины, на которые влияют два резко доминирующих фактора (рис. 12, в)

4. Закон эксцентриситета, или закон Максвелла

$$y = \frac{r}{\sigma^2} e^{-\frac{r^2}{\sigma^2}}, \quad (36)$$

где $r = \sqrt{\overline{x^2} + \overline{y^2}}$.

Этому закону подчиняются величины, которые могут иметь только положительное значение, например эксцентриситет, несоосность, торцевое и радиальное биение, непараллельность или неперпендикулярность двух плоскостей, оси и плоскости (рис. 12, г).

При аппроксимации тот или другой закон выби-

рают как из общих соображений о законе распределения, так и исходя из формы изображений эмпирического распределения, которая может помочь в предварительном выборе теоретической кривой распределения.

Окончательное заключение о правильности выбора закона распределения, характеризующего рассеяние случайной величины, делают после определения соответствия экспериментальной и теоретической кривых распределения по одному из критериев согласия.

ГОСТ 11.006—74 «Прикладная статистика. Правила проверки согласия опытного распределения с теоретическим» предусматривает три критерия согласия: Колмогорова, хи-квадрат, омега-квадрат.

Проверка по критериям согласия хи-квадрат и особенно омега-квадрат требует большего объема вычислительных работ по сравнению с критерием Колмогорова.

Согласно критерию Колмогорова, сравнивают эмпирические и теоретические значения интегральной функции. Значение максимальной по абсолютному значению разности между ними D_N подставляют в выражение

$$\lambda_N = D_N \sqrt{N}, \quad (37)$$

где N — число размеров.

Предельные значения нормированных отклонений опытного распределения от теоретического для заданных доверительных вероятностей:

γ	0,01	0,05	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,60	0,70	0,80
				0,90	0,95	0,98	0,99			
λ_N	0,44	0,52	0,57	0,61	0,65	0,71	0,77	0,89	0,97	1,07
			1,22	1,36	1,52	1,63				

Если $(1 - \gamma) > 0,1$, то эмпирическое распределение хорошо согласуется с теоретическим.

Знание закона распределения случайной величины позволяет решать практические задачи, связанные с анализом точности обработки и измерения.

§ 29. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРОЯТНОГО ПРОЦЕНТА БРАКА

Решение некоторых практических задач целесообразно рассмотреть на примере наиболее часто встречающегося закона нормального распределения.

Площадь, ограничиваемая кривой нормального распределения и осью абсцисс (по оси ординат откладывают плотность вероятности P), для случая, когда начало координат совпадает со средним арифметическим значением, определяется уравнением

$$F(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} dx.$$

В теории вероятностей часто используют коэффициент риска, равный $t = \frac{x}{\sigma}$. Если вместо x в уравнение ввести коэффициент риска t , то оно примет вид

$$F(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\frac{t^2}{2}} dt.$$

Площадь, ограниченная кривой нормального распределения и осью абсцисс, равна вероятности полной совокупности событий, т. е. равна 1.

Поскольку кривая симметрична относительно оси y , можно записать

$$\Phi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\infty} e^{-\frac{t^2}{2}} dt = 0,5,$$

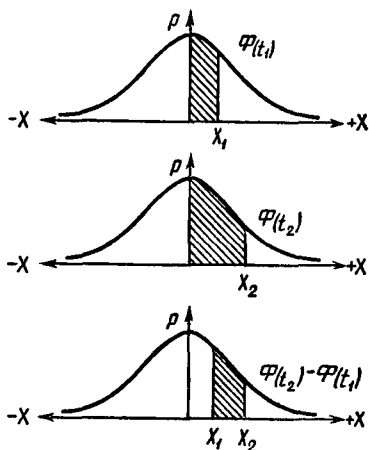
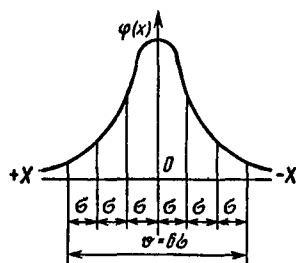
где $\Phi(t)$ — площадь, ограниченная кривой и осью абсцисс в пределах интегрирования от 0 до t .

Чтобы определить вероятность того, что случайная величина будет находиться в пределах интервала от x_1 до x_2 , достаточно установить интегрированием площади, соответствующие значениям $t_1 = \frac{x_1}{\sigma}$ и $t_2 = \frac{x_2}{\sigma}$ (рис. 13), а искомая величина будет равна их разности

$$\Phi(t) = \Phi(t_2) - \Phi(t_1).$$

Рис. 13. Определение интегральной функции.

Рис. 14. Определение поля рассеяния.



В общем виде уравнение выглядит так:

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

Величина $\Phi(t)$ называется интегральной функцией, или нормированной функцией Лапласа.

Чтобы облегчить решение практических задач, в приложении 1 приведена таблица значений $\Phi(t)$ в зависимости от t .

Кривая нормального распределения в обе стороны асимптотически приближается к оси абсцисс. Для практических расчетов необходимо иметь ограниченное поле рассеяния, которое охватывало бы основную массу событий. Так как основным параметром рассеяния является среднее квадратическое отклонение σ , то поле рассеяния принимают в пределах $\pm 3\sigma$. За пределами этого поля рассеяния, как видно из приложения 1, остается 0,27% событий, что для технических расчетов вполне приемлемо (рис. 14). Таким образом, поле рассеяния

$$V = 6\sigma. \quad (38)$$

Для определения процента брака при изготовлении деталей вначале определяют коэффициент риска t . При нормальном распределении, когда середина поля

допуска совпадает с центром рассеяния, $x = \frac{T_d}{2}$. Если в формулу коэффициента риска подставить это значение x , а σ определить из предыдущего уравнения через V , то получим

$$t = \frac{x}{\sigma} = \frac{T_d}{2\sigma} = \frac{T_d}{2V/6} = 3 \frac{T_d}{V}. \quad (39)$$

Таким образом, коэффициент риска в этом случае показывает соотношение поля допуска и поля рассеяния (рис. 15) для технологических процессов, имеющих разную точность и различное поле рассеяния (V_1, V_2, V_3). Когда коэффициент риска равен 3, поле рассеяния V_2 равно полю допуска, и брака практически не будет (не более 0,27%). Если же коэффициент риска больше 3, брака не будет, но процесс обработки выбран излишне точным, а следовательно, более дорогим. Когда коэффициент риска менее 3, брак вероятен, и для выбора оптимального технологического процесса обработки необходимо знать вероятный процент брака.

Рассмотрим определение вероятного процента брака $Q_{бр}$ на конкретном примере.

Необходимо изготовить вал $55 \pm_{0,15}^{0,03}$ мм. Средний размер совпадает с серединой поля допуска (рис. 16, а). Среднее квадратическое отклонение $\sigma = 32$ мкм. Определяем $t = \frac{T_d}{2\sigma} = \frac{120}{2 \cdot 32} = 1,875$; соответствующую ему интегральную функцию находим по таблице $\Phi(t) = 0,4696$; тогда вероятность появления брака $P_{бр} = 1 - 2\Phi(t) = 1 - 2 \cdot 0,4696 = 0,0608$, а процент брака $Q_{бр} = 100P_{бр} = 6,08\%$.

Если же средний арифметический размер $\bar{x}$ не совпадает с серединой поля допуска (рис. 16, б), а равен 54,900 мм, необходимо отдельно определять вероятность появления годных деталей, размер которых больше и меньше, чем средний.

Для этого определяем коэффициенты риска

$$t_1 = \frac{x_1}{\sigma} = \frac{50}{32} = 1,56; \quad t_2 = \frac{x_2}{\sigma} = \frac{70}{32} = 2,19.$$

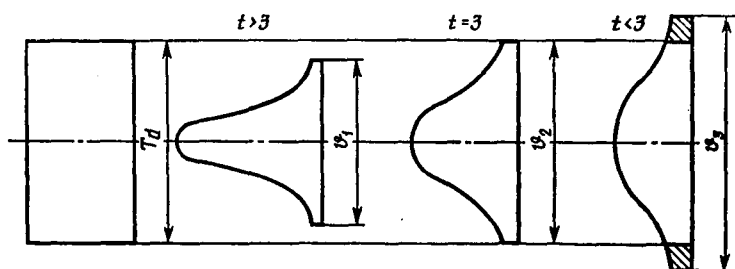


Рис. 15. Значения коэффициента риска при различных соотношениях T_d и v .

По таблице находим значения интегральной функции, соответствующие этим коэффициентам риска:

$$\Phi_{(t_1)} = 0,4406; \Phi_{(t_2)} = 0,4858.$$

Суммарная вероятность появления годных деталей $P_{\text{годн}} = \Phi_{(t_1)} + \Phi_{(t_2)} = 0,4406 + 0,4858 = 0,9264$, а вероятность появления бракованных деталей $P_{\text{бр}} = 1 -$

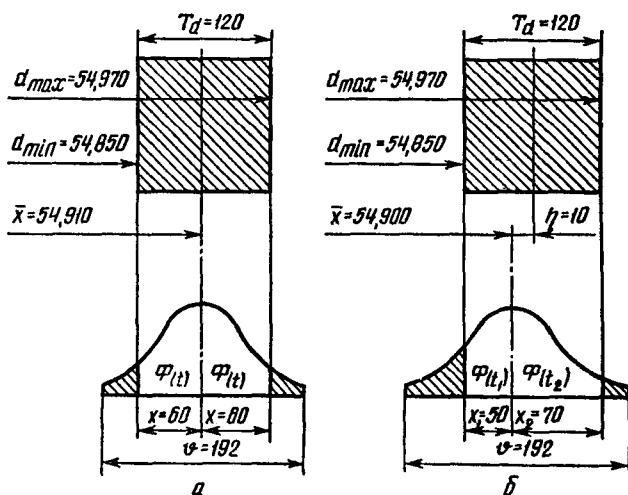


Рис. 16. Определение вероятного процента брака:
а — при симметричном расположении поля рассеяния; б — при смещенном поле рассеяния.

— $(\Phi_{(1)} + \Phi_{(2)}) = 0,0736\%$, вероятный процент брака
 $Q_{\text{бр}} = 100P_{\text{бр}} = 7,36\%$.

Из сопоставления этих двух вариантов примера видно, что на значение вероятного процента брака влияет не только значение поля рассеяния, но и его положение относительно середины поля допуска. Смещение центра группирования на 10 мкм при том же значении поля рассеяния привело к увеличению вероятного процента брака с 6,08 до 7,36%.

Это необходимо учитывать при настройке станков.

§ 30. ТОЧНОСТЬ ФОРМЫ И РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Точность формы характеризуется отклонением формы реальной поверхности (или профиля) от формы номинальной поверхности (или профиля), заданной чертежом, и определяется в соответствии с ГОСТ 24642—81 (СТ СЭВ 301—76).

Реальная поверхность — это поверхность, ограничивающая деталь и отделяющая ее от окружающей среды.

Номинальная поверхность — это идеальная поверхность, форма которой задана чертежом или другой технической документацией.

Для количественной оценки отклонений формы используют принцип прилегающей поверхности, или профиля.

Прилегающая поверхность (или профиль) — это поверхность (или профиль), имеющая форму номинальной (или профиля), соприкасающаяся с реальной поверхностью (или профилем) и расположенная вне материала детали так, чтобы отклонение от нее до наиболее удаленной точки реальной поверхности в пределах нормируемого участка было минимальным.

Под профилем в ранее приведенных определениях понимается линия пересечения поверхности с плоскостью или заданной поверхностью.

Количественно отклонение формы оценивается

наибольшим расстоянием Δ от точек реальной поверхности (профиля) до прилегающей поверхности (профиля) по нормали к прилегающей поверхности (профилю).

Отклонения формы могут быть комплексными и частными.

Для цилиндрических поверхностей комплексным

является отклонение от цилиндричности, которое характеризует наибольшее расстояние Δ от точек реальной поверхности до прилегающего цилиндра (рис. 17).

За прилегающий цилиндр принимается цилиндр минимального диаметра, описанный вокруг реальной наружной поверхности, или максимального, вписанный в реальную внутреннюю поверхность. Отклонение от круглости есть комплексный показатель отклонений в плоскости поперечного сечения. Частными отклонениями будут овальность и огранка (рис. 18).

Овальность — это отклонение от круглости, при котором реальный профиль поперечного сечения представляет собой овалообразную фигуру, наибольший и наименьший диаметры которой находятся во взаимно перпендикулярных направлениях. За значение оваль-

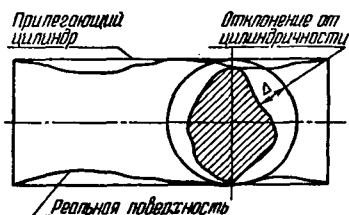


Рис. 17. Определение комплексного показателя отклонения от цилиндричности.

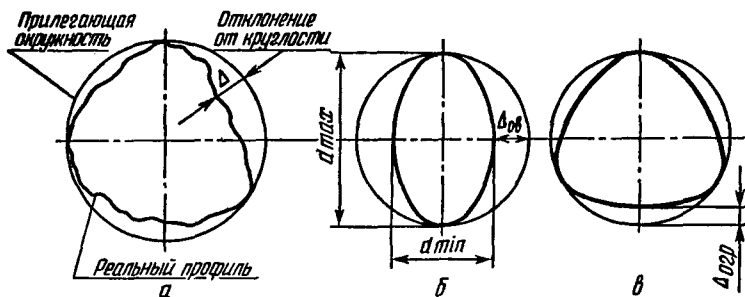


Рис. 18. Отклонения формы цилиндра в поперечном сечении:

а — некруглость; *б* — овальность; *в* — огранка.

ности принимают полуразность между наибольшим и наименьшим диаметром сечения:

$$\Delta_{\text{ов}} = (d_{\text{max}} - d_{\text{min}}) / 2. \quad (40)$$

Овальность 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, очерченную отрезками дуг с центрами кривизны в различных точках. Огранка количественно определяется так же, как и отклонение от круглости, — наибольшим отклонением $\Delta_{\text{огр}}$ реального профиля от прилегающей окружности.

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

Конусообразность, бочкообразность, седлообразность, отклонение от прямолинейности оси (рис. 19) — частные показатели отклонений профиля цилиндрических поверхностей в продольном сечении.

Конусообразность — это отклонение профиля продольного сечения, при котором образующие прямолинейны, но не параллельны (рис. 19, а). Конусообразность возникает при несовпадении осей шпинделя и пиноли задней бабки станка, непараллельности оси шпинделя направляющим станины, быстром износе резца и т. п.

Бочкообразность — это отклонение профиля продольного сечения, при котором образующие непрямолинейны и диаметры увеличиваются от краев к середине сечения (рис. 19, 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

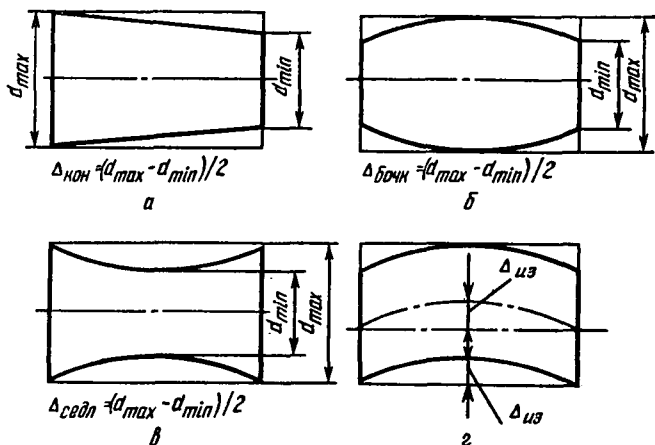


Рис. 19. Отклонения формы цилиндра в продольном сечении: а — конусность; б — бочкообразность; в — седлообразность (корсетность); г — изогнутость.

середине сечения (рис. 19, в). Причины возникновения седлообразности: несовпадение центров токарного станка в вертикальной плоскости или обработка толстых коротких валов в нежестких центрах.

Количественно конусообразность, бочкообразность или седлообразность равна полуразности между наибольшим и наименьшим диаметрами в одном и том же продольном сечении.

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 характеризуется непрямолинейностью геометрического места центров поперечных сечений цилиндрической поверхности (рис. 19, г) и возникает, как правило, из-за действия неравномерно распределенных остаточных напряжений, возникающих после термообработки, наклепа и т. п.

Отклонение от плоскостности — комплексный показатель отклонений формы плоских поверхностей. Оно характеризуется совокупностью всех отклонений формы

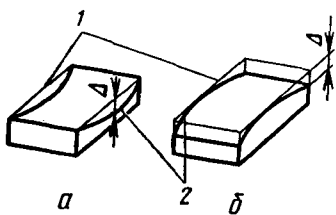


Рис. 20. Погрешности формы плоских поверхностей:

а — вогнутость; *б* — выпуклость; *1* — прилегающая плоскость; *2* — действительная поверхность.

ний профиля сечения плоских поверхностей. Оно численно равно наибольшему расстоянию от реального профиля до прилегающей прямой.

Все виды отклонений от правильной геометрической формы отрицательно сказываются на работе соединений. В подвижных соединениях отклонения формы приводят к уменьшению фактической площади контакта, увеличению удельных нагрузок, ухудшению условий смазывания и в результате к значительному сокращению ресурса соединения из-за быстрого износа сопрягаемых поверхностей. В соединениях с натягом отклонения формы приводят к уменьшению реального натяга и как следствие к снижению надежности соединения.

Для взаимозаменяемости соединений ГОСТ 24643—81 (СТ СЭВ 301—76) устанавливает предельные отклонения в зависимости от принятой степени точности. Стандартом определены 16 степеней точности, в которых предельные отклонения формы соответствуют ряду *R5* предпочтительных чисел.

Рекомендации по применению относительной геометрической точности формы цилиндрических поверхностей приведены в таблице 8.

Во всех остальных случаях, когда предельные отклонения формы не установлены, они должны быть ограничены допуском на размер.

Отклонение расположения — отклонение рассматриваемого элемента от его номинального расположения, определяемого номинальными линейными и угловыми размерами между ним и базами или между рассматриваемыми элементами, если базы не заданы.

поверхности и численно равно наибольшему расстоянию Δ от реальной поверхности *2* до прилегающей плоскости *1* (рис. 20).

Вогнутость (рис. 20, *а*) и **выпуклость** (рис. 20, *б*) — частные показатели отклонений формы плоских поверхностей.

Отклонение от прямолинейности — комплексный показатель отклонений

8. Условия применения относительной геометрической точности формы цилиндрических поверхностей

Относительная геометрическая точность	Среднее соотношение допусков формы и размера, %	Условия применения
Нормальная	60	Поверхности в подвижных соединениях при небольших скоростях относительных перемещений и нагрузках; в соединениях с натягом или с переходными посадками при необходимости разборки и повторной сборки
Повышенная	40	Поверхности в подвижных соединениях при средних скоростях относительных перемещений и нагрузках, при повышенных требованиях к плавности хода и герметичности уплотнений; в соединениях с натягом при повышенных требованиях к точности и прочности в условиях больших скоростей и нагрузок, ударов, вибраций
Высокая	25	Поверхности в подвижных соединениях при высоких скоростях и нагрузках, высоких требованиях к плавности хода, снижению трения, герметичности уплотнения; в соединениях с натягом в условиях воздействия больших нагрузок, ударов, вибраций

Причинами возникновения отклонений расположения поверхности являются погрешности обработки деталей, погрешности приспособлений для установки деталей, нарушение принципа «единства баз» при изготовлении деталей. Во время эксплуатации отклонения расположения поверхностей в значительной мере увеличиваются из-за неравномерного износа, пластических деформаций, старения металла корпусных деталей, сопровождающегося их короблением.

В зависимости от формы и назначения детали различают зависимые и независимые допуски расположения поверхностей. Значение зависимого допуска расположения определяется не только заданным предельным отклонением расположения, но зависит также от действительных отклонений размеров рассматриваемых поверхностей. Чтобы обеспечить собираемость деталей, назначают зависимые допуски. Значение независимого допуска определяется только заданным

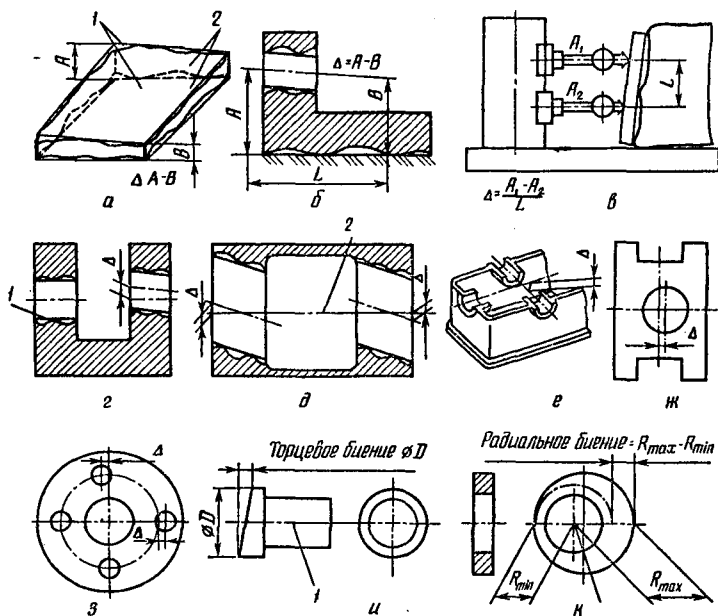


Рис. 21. Отклонения:

a, б — от параллельности соответственно плоскостей и осей; *1* — прилегающие плоскости; *2* — действительные (реальные) поверхности; *в* — от перпендикулярности плоскостей и осей; *г, д* — от соосности относительно соответственно базовой поверхности и общей оси; *1* — базовая поверхность; *2* — общая ось; *е* — от пересечения осей; *ж* — от симметричности; *з* — позиционное отклонение; *и, к* — торцевое и радиальное биение: *1* — базовая ось.

предельным отклонением расположения и не зависит от предельных отклонений размеров рассматриваемых поверхностей.

К отклонениям Δ расположения поверхностей относятся: отклонение от параллельности плоскостей (рис. 21, *a*), прямых в плоскости, осей поверхностей вращения, оси вращения и плоскости (рис. 21, *б*); отклонение от перпендикулярности плоскостей, осей или оси и плоскости (рис. 21, *в*); отклонение от соосности — относительно оси базовой поверхности (рис. 21, *г*) и относительно общей оси (рис. 21, *д*); отклонение от пересечения осей (рис. 21, *е*); отклонение наклона; отклонение от симметричности (рис. 21, *ж*); позиционное отклонение — смещение от номинального расположения (рис. 21, *з*).

К суммарным отклонениям формы и расположения поверхностей относятся: торцевое и радиальное биение (рис. 21, и, к) и биение в заданном направлении; полное торцевое и полное радиальное биение; отклонение формы заданного профиля; отклонение формы заданной поверхности.

Отклонения расположения поверхностей от их номинального значения чрезвычайно вредно сказываются на надежности и долговечности работы машин, вызывая в отдельных деталях и соединениях дополнительные статические и динамические нагрузки, что приводит к быстрому износу и усталостному разрушению деталей.

Практика ремонта показывает, что ресурс коробки передач трактора, отремонтированной с полной заменой валов, зубчатых колес, подшипников качения, не более 45% ресурса новой, если при восстановлении корпуса коробки передач не выдерживаются технические условия на расположение осей и поверхностей.

Допуски формы и расположения поверхностей указывают на чертежах условными обозначениями или текстом в технических требованиях. Применение условных обозначений предпочтительно. Обозначения на чертежах допусков формы и расположения поверхностей выполняют по СТ СЭВ 368—76.

В таблице 9 приведены условные обозначения допусков формы и расположения поверхностей и суммарные допуски формы и расположения поверхностей.

Условные обозначения допусков помещают в прямоугольную рамку, разделенную на две или три части. В первой проставляют условный знак допуска, во второй — числовое значение допуска в миллиметрах, в третьей — буквенное обозначение базы или другой поверхности, к которой относится отклонение.

Рамки вычерчивают сплошными тонкими линиями и располагают горизонтально. Высота цифр, букв и знаков, вписываемых в рамки, должна быть равна размеру шрифта размерных чисел, а высота рамки — на 2...3 мм больше. Не допускается пересекать рамку какими-либо линиями. Если необходимо, то рамку допускается располагать вертикально.

С элементом, к которому относится допуск, рамку

9. Условные обозначения допусков формы и расположения поверхностей

Группа отклонений и допусков	Отклонение формы или расположения	Допуск формы или расположения	Условный знак допуска по СТ СЭВ 368—76
Отклонения и допуски формы	Отклонение от прямолинейности	Допуск прямолинейности	—
	Отклонение от плоскостности	Допуск плоскостности	
	Отклонение от круглости	Допуск круглости	
	Отклонение от цилиндричности	Допуск цилиндричности	
	Отклонение профиля продольного сечения	Допуск профиля продольного сечения	=
	Отклонения от параллельности	Допуск параллельности	
Отклонения и допуски расположения	Отклонение от перпендикулярности	Допуск перпендикулярности	
	Отклонение наклона	Допуск наклона	
	Отклонение от соосности	Допуск соосности	
	Отклонение от симметричности	Допуск симметричности	
Суммарные отклонения и допуски формы и расположения	Позиционное отклонение	Позиционный допуск	
	Отклонение от пересечения осей	Допуск пересечения осей	x
	Радиальное биение	Допуск радиального биения	
	Торцевое биение	Допуск торцевого биения	
	Биение в заданном направлении	Допуск биения в заданном направлении	
	Полное радиальное биение	Допуск полного радиального биения	
	Полное торцевое биение	Допуск полного торцевого биения	
	Отклонение формы заданного профиля	Допуск формы заданного профиля	
	Отклонение формы заданной поверхности	Допуск формы заданной поверхности	

соединяют прямой или ломаной линией, заканчивающейся стрелкой.

Если допуск относится к поверхности или ее профилю, то рамку соединяют с контурной линией поверхности или ее продолжением. При этом соединительная линия не должна быть продолжением размерной рамки.

Если же допуск относится к оси или плоскости симметрии, то соединительная линия должна быть продолжением размерной линии.

Направление отрезка соединительной линии, заканчивающегося стрелкой, должно соответствовать направлению линии измерения отклонения.

Базовую поверхность, ось или плоскость симметрии обозначают равносторонним зачерненным треугольником и соединяют с рамкой по тем же правилам, что и стрелку.

Чтобы не затемнять чертеж, при необходимости разрешается базовую или другую поверхность, к которой относится отклонение, обозначать прописной буквой, вписываемой в третью часть рамки. Эту же букву вписывают в квадратную рамку, которую соединяют с обозначаемой поверхностью линией, заканчивающейся треугольником или стрелкой, в зависимости от того, обозначает ли она базу или небазовую поверхность.

Указанный в рамке допуск формы или расположения поверхности относится ко всей длине поверхности. Если же допуск относится к участку поверхности заданной длины, то ее указывают после предельного отклонения, отделяя наклонной чертой.

При необходимости допуск на всей длине указывают над допуском на заданной длине. Зависимые допуски расположения поверхностей обозначают знаком (M), который помещают после числового значения допуска (рис. 22). Если зависимые допуски составляют большинство, то независимые

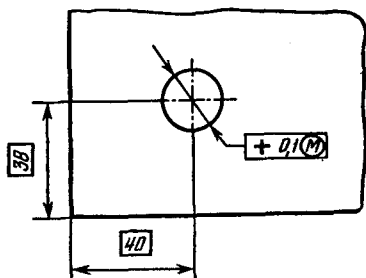


Рис. 22. Обозначение зависимого допуска расположения.

10. Примеры условных обозначений на чертежах допусков формы и расположения поверхностей

Элементы условного обозначения	Пример условного обозначения	Пояснение
Указание нормируемого участка		Допуск относится ко всей поверхности (длине) элемента
		Допуск относится к любому участку поверхности (элемента), имеющему заданную длину (или площадь)
		Допуск относится к нормируемому участку, расположенному в определенном месте (участок обозначают штрих-пунктирной линией и указывают размер)
Обозначение баз		Знак базы — зачерненный равнобедренный треугольник с высотой, равной размеру шрифта размерных чисел
		Если соединение рамки, содержащей обозначение допуска с базой, неудобно, то базу обозначают прописной буквой и указывают ее в третьем поле рамки допуска
Указание зависимых допусков		Числовое значение зависимого допуска связано с действительными размерами нормируемого и базового элементов
Одинаковые условные обозначения, относящиеся к разным элементам		Повторяющиеся допуски, обозначаемые одним и тем же условным знаком и имеющие одно и то же числовое значение

допуски можно обозначить знаком $\textcircled{S}$, а в технических требованиях указать, что «все допуски расположения зависимые, кроме обозначенных знаком $\textcircled{S}$ ». Примеры обозначений на чертежах допусков формы и расположения поверхностей приведены в таблице 10.

Если допуски формы не указаны на чертеже, то допускаются любые отклонения формы в пределах поля допуска рассматриваемого элемента.

Если у элементов указаны допуски параллельности, перпендикулярности, наклона или торцевого биения, то в соответствии с ГОСТ 25069—81 (СТ СЭВ 1911—79) неуказанный допуск плоскостности или прямолинейности равен указанному допуску расположения или торцевого биения.

§ 31. ВОЛНИСТОСТЬ И ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ

Поверхности деталей, обработанных на металлорежущих станках, имеют неровности в продольном и поперечном направлениях. Продольные неровности определяются в направлении главного рабочего движения при резании, а поперечные — в направлении, перпендикулярном к нему. Эти неточности, их форма, размеры, частота повторяемости зависят от режущего инструмента, метода и режимов обработки, материала детали, жесткости оборудования и как следствие от колебательных движений в системе станок — приспособление — инструмент — деталь.

При оценке неровностей различают волнистость и шероховатость поверхности.

Волнистость — это совокупность периодически чередующихся возвышенностей и впадин, у которых расстояния между смежными возвышенностями или впадинами превышают базовую длину l . Рекомендациями СЭВ определен нормируемый параметр волнистости W_z (рис. 23).

Высота волнистости W_z — среднее арифметическое из пяти ее значений, определенных на длине участка измерения L_w , равного не менее пяти действительным наибольшим шагам волнистости:

$$W_z = \frac{1}{5} (W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5). \quad (41)$$

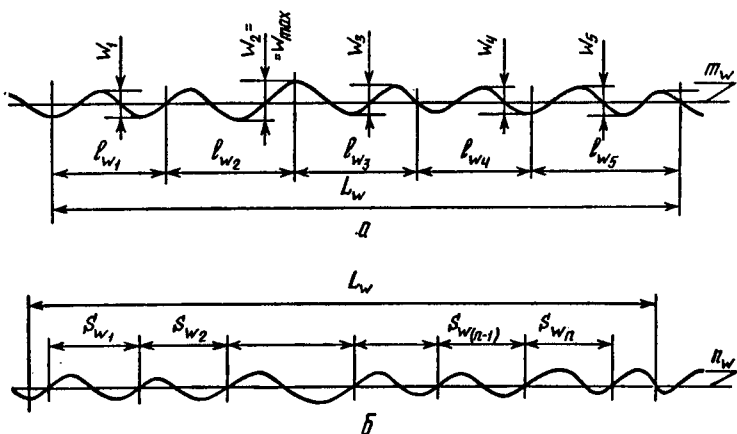


Рис. 23. Волнистость поверхности.

Числовые предельные значения 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 значение расстояний S_{wi} между одноименными сторонами соседних волн, измеренных по средней линии m_w профиля.

$$S_w = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{wi}. \quad (42)$$

Граница между волнистостью и шероховатостью условна, так как при изменении базовой длины l , которую назначают из эксплуатационных соображений, числовые значения параметров волнистости и шероховатости будут также изменяться.

В качестве критерия их различия можно использовать отношение шагов к высоте

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

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

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

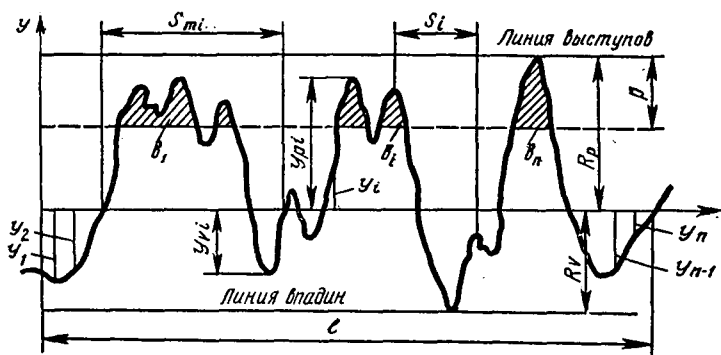


Рис. 24. К определению параметров шероховатости.

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

Стандартом ГОСТ 25142—82 (СТ СЭВ 1156—78) предусмотрен ряд параметров для количественной оценки шероховатости, причем отсчет 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 сумма квадратов расстояний $y_1, y_2, \dots, y_n$ точек профиля до этой линии минимальна (рис. 24).

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

Базовая длина l — длина участка поверхности, выбираемая для измерения шероховатости без учета других видов неровностей, имеющих шаг более l . Числовое значение базовой длины 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 параметрам:

R_a — среднее арифметическое отклонение профиля;

R_q — среднее квадратическое отклонение профиля;
 R_z — высота неровностей профиля;
 $R_{\max}$ — наибольшая высота неровностей профиля;
 S_m — средний шаг неровностей;
 S — средний шаг неровностей по вершинам;
 t_p — относительная опорная длина профиля;
 ρ — радиус закругления впадин и выступов.

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

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx \approx \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|. \quad (43)$$

Среднее квадратическое отклонение профиля R_q определяется как квадратный корень из среднего значения квадратов отклонений профиля в пределах базовой длины:

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{l} \int_0^l y(x)^2 dx} \approx \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2}. \quad (44)$$

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

$$R_z = \frac{1}{5} \left(\sum_{i=1}^5 y_{pi} + \sum_{i=1}^5 y_{vi} \right). \quad (45)$$

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

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

$$S_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{mi}. \quad (46)$$

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

$$S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i. \quad (47)$$

Числовые значения параметров шероховатости R_a , R_z , $R_{\max}$, S_m и S нормированы. Их выбирают из рядов чисел, приведенных в таблице 11.

11. Числовые значения параметров шероховатости
(ГОСТ 2789—73)

Параметры шероховатости	Значения параметров				
R_a , мкм	100; 10,0; 1,00; 0,100; —	80; 8,0; 0,80; 0,080; —	63; 6,3; 0,63; 0,063; —	50; 5,0; 0,50; 0,050; —	40; 4,0; 0,40; 0,040; —
R_z и $R_{\max}$, мкм	1000; 100; 10,0; 1,00; 0,100; —	800; 80; 8,0; 0,80; 0,080; —	630; 63; 6,3; 0,63; 0,063; —	500; 50; 5,0; 0,50; 0,050; —	400; 40; 4,0; 0,40; 0,040; —
S_m и S , мкм	10,0; 1,00; 0,100; 0,010;	8,0; 0,80; 0,080; 0,008;	6,3; 0,63; 0,063; 0,006;	5,0; 0,50; 0,050; 0,005;	4,0; 0,40; 0,040; 0,004;

Продолжение

R_a , мкм	32; 3,2; 0,32; 0,032; — —	25; 2,5; 0,25; 0,025; — —	20; 2,0; 0,20; 0,020; — —	16,0; 1,60; 0,160; 0,016; 0,010; 1600;	12,5; 1,25; 0,125; 0,012; 0,008; 1250;
R_z и $R_{\max}$, мкм	320; 32; 3,2; 0,32; 0,032;	250; 25; 2,5; 0,25; 0,025;	200; 20; 2,0; 0,20; —	160; 16,0; 1,60; 0,160; —	125; 12,5; 1,25; 0,125; —

S_m и S , мкм

3,2;	2,5	2,0;	1,60;	12,5;
0,32;	0,25;	0,20;	0,160;	1,25;
0,032;	0,025;	0,020;	0,0160;	0,125;
0,003;	0,002	—	—	0,0125;

Параметры R_q и r не нормированы.

Относительная опорная длина профиля t_p , %

$$t_p = \frac{\eta_p}{l} 100, \quad (48)$$

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

$$\eta_p = \sum_{i=1}^n b_i. \quad (49)$$

Здесь n — число отсекаемых отрезков в пределах базовой длины (рис. 25); l — базовая длина.

Относительная опорная длина профиля t_p характеризует фактическую опорную площадь, от которой в большой степени зависят износостойкость подвижных соединений, прочность прессовых посадок и размер пластической деформации поверхностей при их контактировании.

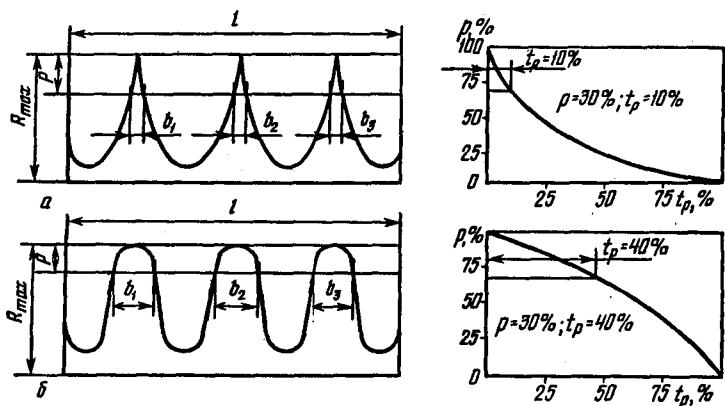


Рис. 25. Определение относительной опорной длины профиля: а — грубое точение; б — полирование.

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 от линии выступов, %,

$$p = \frac{P}{R_{\max}} 100.$$

Числовые значения t_p и P нормированы. Их выбирают из следующего ряда:

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.

§ 32. ОБОЗНАЧЕНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ НА ЧЕРТЕЖАХ

На чертежах шероховатость поверхности обозначают по ГОСТ 2.309—73 одним из трех знаков:

✓ — когда указывают только предельные значения параметров шероховатости и не указывают вид обработки;

✓ — когда, кроме значений параметров шероховатости, указывают и вид обработки, например точение, шлифование, хонингование;

✓ — когда шероховатость поверхности сохраняется в состоянии поставки и образуется без удаления слоя металла, например литьем, ковкой, штамповкой.

Значения параметров шероховатости указывают над знаком: параметр R_a — только числовым значением (мкм), остальные параметры буквенным обозначением, а затем числовым значением.

При указании нескольких параметров вверху ставят обозначение высоты профиля, ниже — шага и еще ниже — относительной опорной длины профиля (рис. 26, а).

Вид обработки указывают над полкой знака шероховатости.

Условные обозначения направления неровностей

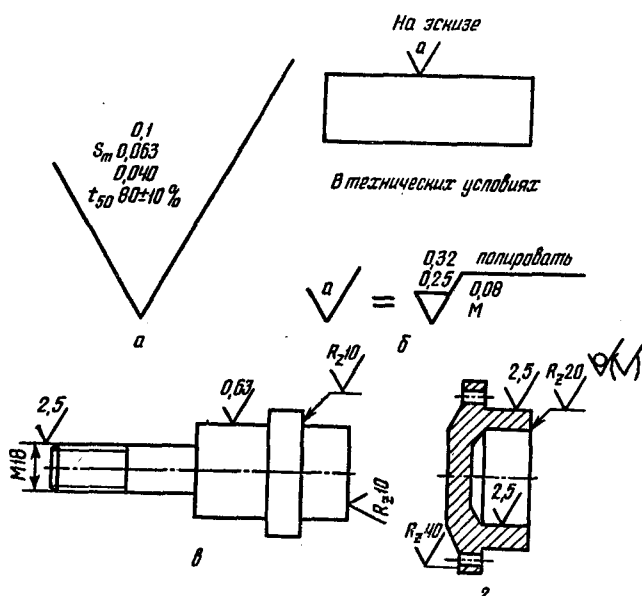


Рис. 26. Примеры обозначений шероховатости на чертежах.

при необходимости указывают на чертежах, используя один из следующих знаков:

= (параллельное), M (произвольное),
 $\perp$ (перпендикулярное), C (кругообразное),
 $\times$ (перекрещивающееся), R (радиальное)

и располагают под полкой знака шероховатости.

Значение базовой длины l размещают над обозначением направления шероховатости, но под полкой знака (рис. 26, б).

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

Кроме номинального значения параметра, могут быть указаны и предельные отклонения в процентах (рис. 26, а).

Допускается упрощенное обозначение шероховатости поверхности при помощи строчных букв русского

алфавита с разъяснением его в технических условиях (рис. 26, б).

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 их продолжениях (рис. 26, в).

Преобладающую шероховатость указывают в правом верхнем углу, 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 размеров знака на детали, а в скобках — одинакового размера со знаками на детали (рис. 26, г).

Если шероховатости одной и той же поверхности детали на разных участках различны, то эти участки разделяют сплошной тонкой линией.

Шероховатость поверхностей зубьев колес, эвольвентных шлицев указывают на делительной окружности, если на чертежах не приводится их профиль.

§ 33. ВЛИЯНИЕ ВОЛНИСТОСТИ И ШЕРОХОВАТОСТИ НА НАДЕЖНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ МАШИН

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

В подвижных соединениях из-за волнистости и шероховатости фактическая площадь контакта в 3...5 раз меньше номинальной, что приводит к увеличению удельного давления в точках контакта и разрыву масляного слоя. Удельное давление при этих условиях достигает такого значения, при котором упругие деформации неровностей могут переходить в пластические, что сглаживает неровности. Кроме того, при разрыве масляного слоя и больших удельных давлениях происходит схватывание отдельных неровностей и вырывание частиц металла. Эти процессы сопровождаются значительным повышением температуры, что в соединениях типа коленчатый вал — вкладыши приводит к выплавлению антифрикционного слоя. Если же такого аварийного разрушения сопрягаемых поверхностей не происходит, то все равно наблюда-

ются ускоренный износ поверхностей и значительное увеличение зазора. Этот процесс продолжается до тех пор, пока высота неровностей не достигнет определенного стабильного значения. Такую шероховатость называют оптимальной. Она характеризуется определенными высотой, шагом и формой неровностей.

Важно отметить, что если неровности поверхности первоначально будут меньше оптимальной шероховатости, то через определенный промежуток времени, равный периоду приработки, высота неровностей будет также близка к оптимальной. Чем больше первоначальная шероховатость отличается от оптимальной, тем больший износ будет иметь поверхность в период приработки и тем значительно сократится технический ресурс соединения. Это наглядно видно из рисунка 27.

Кривая 1 характеризует нарастание износа поверхности с шероховатостью, значительно отличающейся от оптимальной. Износ ее в период приработки t_1 значительно превышает износ поверхности с оптимальной шероховатостью, характеризуемый кривой 2. Сравнение обеих кривых износа показывает, что уменьшение первоначального износа в период приработки t_1 вызывает значительное увеличение периода нормальной эксплуатации с t_2^1 до t_2^2 , т.е. приводит к повышению ресурса подвижного соединения машины.

Шероховатость поверхности влияет также на усталостную прочность деталей, так как неровности являются концентраторами напряжений. Поэтому детали, работающие в условиях циклических, а тем более знакопеременных нагрузок, не должны иметь грубо

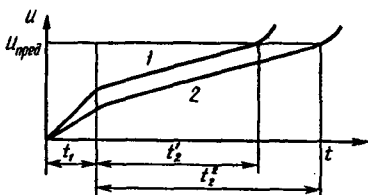


Рис. 27. Связь первоначального износа с техническим ресурсом соединения.

обработанных поверхностей с большими неровностями.

Впадины неровностей являются резервуарами, в которых скапливаются вода и другие жидкости, поэтому поверхности с большими неровностями более подвержены коррозии.

В местах уплотнений,

где требуется герметичность, большая высота неровностей также вредна.

Хотя, как правило, чем меньше допуск на обработку, тем меньше получается высота неровностей, прямой зависимости между значением допуска и высотой неровностей нет.

Иногда при большом допуске на обработку назначают шероховатость с минимальной высотой неровностей для придания декоративного вида поверхности или с целью лучшей защиты ее от коррозии. В других случаях при минимальных допусках на обработку добиваются шероховатости со сравнительно большими неровностями, что позволяет лучше удерживать смазку (например, поверхности поршней, направляющих станков, различных салазок).

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

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

В неподвижных соединениях шероховатость поверхностей деталей значительно влияет на их надежность. При запрессовке происходит частичное сглаживание неровностей, при этом изменяется натяг, и в собранном соединении он будет меньше расчетного. Это приводит к уменьшению прочности соединения. С уменьшением высоты неровностей это влияние будет меньшим.

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

Параметры шероховатости связаны с допуском размера и формы поверхности, но однозначной зависимости между ними нет.

Преимущественное использование для нормирования высоты неровностей параметра R_a объясняется тем, что он более представительный, чем R_z и $R_{\max}$, отражает отклонения профиля и наиболее удобен при измерении профилометрами. Этим параметром нор-

мируют шероховатость образцов сравнения (ГОСТ 9378—75).

При назначении параметра шероховатости можно ориентироваться на наибольшие допускаемые значения параметра R_a в зависимости от допусков размера и формы, определяемых для следующих условий:

при допуске формы 60% от допуска размера $R_a \leq 0,05T$;

при допуске формы 40% от допуска размера $R_a \leq 0,025T$;

при допуске формы 25% от допуска размера $R_a \leq 0,012T$.

При выборе числовых значений параметров шероховатости в первую очередь следует применять предпочтительные значения.

Глава 8. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ О ТЕХНИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЯХ

«Наука начинается с тех пор, как начинают измерять» — эти слова Д. И. Менделеева особенно актуальны сейчас, когда наука стала непосредственной производительной силой и без измерений немислима современная хозяйственно-экономическая и общественная деятельность человека.

Измерение — нахождение значения физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств.

При измерении определяется отношение одной (измеряемой) величины к другой однородной величине, принимаемой за единицу. Результатом измерения является численное значение величины, выраженной в соответствующих единицах.

Контроль — частный случай измерения, при котором устанавливают, соответствуют ли значения физических величин допускаемым предельным значениям.

Всякое измерение неизбежно связано с наличием погрешности. При проведении линейных и угловых измерений действительным размером называется размер, полученный измерением с допустимой погрешностью.

Обеспечение взаимозаменяемости деталей, узлов и агрегатов немисливо без достижения соответствующего уровня развития измерительной техники. Технические измерения в машиностроении являются органической частью всего технологического процесса. Состояние измерительной техники значительно влияет на экономику производства машин и их качество. Научно обоснованная система управления качеством предполагает наличие и правильное использование всех необходимых средств измерения и контроля.

Основные требования, предъявляемые в машиностроении к техническим измерениям: точность, производительность и возможность заранее предупреждать появление брака. В ремонтном производстве, как одной из отраслей машиностроения, к техническим средствам предъявляют в основном те же требования. Однако при ремонте машин часто необходимо проводить специфические измерения, связанные с дефектацией, проверкой соединений новых деталей с час-

тично изношенными, использованием ремонтных размеров. Это требует от инженера глубокого понимания существа обоснованного выбора методов и средств измерения в каждом конкретном случае, а иногда и разработки новых способов измерения.

§ 34. КЛАССИФИКАЦИЯ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ И КОНТРОЛЯ

Широкие специализация и кооперирование производства в масштабах всей страны, основанные на принципе взаимозаменяемости, требуют обеспечения единства и необходимой точности измерений. Единство измерений — такое состояние измерений, при котором их результаты выражены в узаконенных единицах и имеют нормированную точность.

Разработана научно обоснованная система передачи размеров единиц длины и методов их проверки, которая является частью Государственной системы измерений (ГСИ). В соответствии с этой системой все средства измерения делятся на три типа.

Эталоны — образцовые меры и приборы, предназначенные для воспроизведения и хранения единиц измерений с наивысшей точностью. К ним относятся государственный прототип метра, эталонные наборы концевых мер длины: первичные, вторичные, третичные. Длину первичных эталонов проверяют по прототипу метра, вторичных — по первичным, третичных — по вторичным.

Образцовые меры и приборы предназначены для градуировки и проверки лабораторных и заводских мер. Образцовые меры 1-го разряда проверяют по третичным эталонам, 2-го разряда — по образцовым мерам 1-го разряда, 3-го разряда — по образцовым мерам 2-го разряда.

Цеховые меры и приборы используют для проверки изделий. Эти меры и приборы проверяют в измерительных лабораториях по образцовым мерам и приборам.

Единство и достоверность измерений в стране обеспечиваются благодаря единой метрологической службе, состоящей из государственной и ведомственных метрологических служб министерств и ведомств, руководит которыми Госстандарт.

Деятельность метрологической службы определена системой государственных стандартов по обеспечению единства измерений, номер которой начинается с цифры 8 (ГОСТ 8.002—71, ГОСТ 8.009—72, ГОСТ 8.061—80 и т. д.).

Главный центр сохранения единства и воспроизводства мер в нашей стране — Всесоюзный научно-исследовательский институт метрологической службы. Через широкую сеть государственных поверительных лабораторий осуществляется контроль за надлежащим состоянием, своевременность поверок и юстировок измерительной техники на всей территории СССР.

Научно-производственное объединение «Агроприбор» выполняет функции головной организации Госагропрома СССР по метрологической службе.

Поверка средств измерений — важнейшая форма государственного надзора за измерительной техникой. Поверкой называют экспериментальное определение погрешности средств измерения и установление их пригодности к применению.

Поверку проводят органы метрологической службы при помощи эталонов и образцовых средств измерений. При положительных результатах на средство измерения ставят поверительное клеймо и в необходимых случаях выдают свидетельство о поверке.

На предприятиях, в хозяйствах, организациях, где не создана метрологическая служба, обязанности по метрологическому контролю возлагают на другие подразделения или на отдельных технически подготовленных лиц. Они составляют ежегодные календарные графики поверки в виде перечней средств измерений с указанием ее периодичности и сроков проведения, согласованные с территориальной метрологической службой, проводящей поверку, и осуществляют контроль за их выполнением.

По конструкции и характеру использования все средства измерений и контроля могут быть разбиты на три группы: меры, измерительные приборы, измерительные установки и системы.

Меры — это тела или устройства для вещественного воспроизведения физической величины заданного размера, значение которого известно, с необходимой для измерений точностью. Мерами единиц длины, широко применяемыми в производстве, являются плоско-

параллельные концевые меры длины. А для воспроизводства угловых единиц используют угловые меры.

К мерам относятся также калибры — средство контроля в машиностроении, предназначенное для проверки (а не для измерений) размеров, формы, взаимного расположения осей и поверхностей и оценки их с точки зрения соответствия техническим условиям. Наиболее широко распространенные конструкции калибров (пробки, скобы) обеспечивают необходимую точность контроля и высокую производительность. Поэтому калибры являются основным техническим средством контроля производства в машиностроении. Недостаток калибров заключается в том, что они только фиксируют брак. При помощи калибров нельзя ни предупредить брак, ни установить его причину. Поэтому в крупносерийном и массовом производстве все шире начинают использовать измерительные приспособления, включающие измерительные отсчетные устройства (индикаторы, рычажные головки, микрометры и т. д.). Другой очень существенный недостаток калибров — способность контролировать только один размер. Это их свойство препятствует широкому применению калибров в ремонтном производстве, где разнообразие контролируемых размеров очень велико.

Измерительные приборы и инструменты — это устройства, посредством которых измеряемые величины прямо или косвенно сравнивают с единицей измерения. Деление средств измерения на приборы и инструменты условно. Простейшие средства измерения обычно относят к группе измерительных инструментов, а более сложные — к группе измерительных приборов.

По характеру применения средства измерения делятся на универсальные и специального назначения.

Универсальные средства измерения линейных и угловых величин чрезвычайно разнообразны по конструкции и принципу действия и могут быть подразделены на следующие группы:

простейшие средства измерения (линейки, циркуль, нутромеры и т. п.);

штриховые раздвижные инструменты с линейным нониусом (штангенинструменты, универсальные угломеры);

микрометрические инструменты (микрометры, микрометрические нутромеры и глубиномеры);

рычажно-механические приборы, индикаторы, микрометры;

рычажно-оптические и оптические приборы (оптиметры, инструментальные микроскопы, проекторы, измерительные микроскопы);

пневматические (низкого давления, высокого давления с ротаметром) приборы, установки и системы;

электрифицированные (электроконтактные и индуктивные датчики) приборы, установки и системы.

Средства измерения специального назначения подразделяются на следующие группы:

средства контроля плоскостности, прямолинейности и горизонтальности (поверочные линейки, плиты, уровни);

средства измерения шероховатости поверхности (профилометры, профилографы, двойной микроскоп, интерферометры);

средства измерения резьб (резьбовые микрометры, шагомеры и др.);

средства измерения элементов зубчатых цилиндрических и конических колес, а также деталей червячных передач (штангензубомер, тангенциальный зубомер, нормалемер, биениемер, межцентромер и др.).

При помощи универсальных средств можно измерять линейные и угловые размеры в широких пределах с различной точностью. Один и тот же инструмент или прибор можно использовать для измерений самых разнообразных размеров. Благодаря этой особенности универсальные средства измерения широко применяют в ремонтном производстве, где они пока еще являются основным средством технического контроля.

Измерительная установка — это совокупность функционально объединенных средств измерений и вспомогательных устройств, расположенных в одном месте и предназначенных для выработки сигналов измерительной информации в форме, удобной для непосредственного восприятия наблюдателем.

Измерительная система отличается от измерительной установки тем, что она предназначена для выработки сигналов измерительной информации в форме, удобной не только для восприятия наблюдателем, но и для автоматической обработки результатов измерений передачи на расстояние или использования в автоматических системах управления.

§ 35. ОСНОВНЫЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ

Наиболее важное значение при выборе средств измерения имеют следующие метрологические показатели.

Диапазон показаний измерительного прибора со шкальным отсчетным устройством — это область значений по шкале, ограниченная начальным и конечным значениями (рис. 28). В любом случае при контроле деталей он не должен быть меньше допуска на обработку.

Диапазон измерений — это область значений измеряемой величины, для которой нормированы допускаемые погрешности средств измерений. Он ограничивается верхними и нижними пределами измерений.

Длина (интервал) деления шкалы — расстояние между осями или центрами двух соседних отметок шкалы, измеренное вдоль линии, проходящей через середины ее самых коротких отметок.

Цена деления шкалы — разность значений измеряемой величины, соответствующих двум соседним отметкам шкалы.

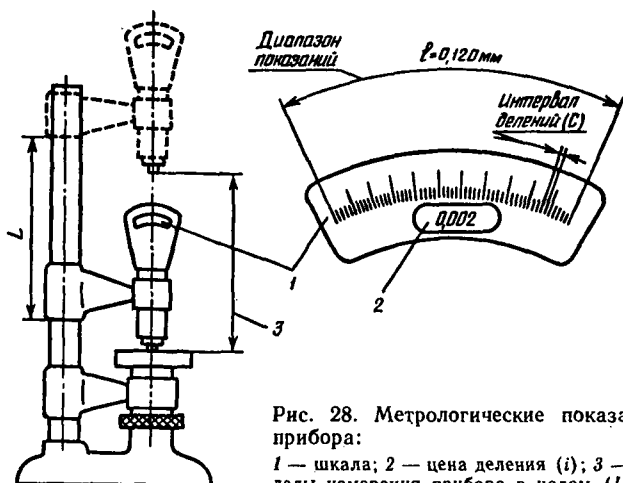


Рис. 28. Метрологические показатели прибора:

1 — шкала; 2 — цена деления (i); 3 — пределы измерения прибора в целом ($L + l$).

Точность отсчета — точность, которая может быть достигнута при измерении с использованием отсчетных устройств, если они имеются.

Порог чувствительности — наименьшее перемещение измерительной поверхности, способное вызвать малейшее изменение в показании прибора. Чувствительность прибора должна соответствовать его точности.

Передаточное отношение — отношение интервала деления шкалы к цене деления.

Погрешность показания прибора — разность между показанием прибора и действительным значением измеряемой величины, которое может быть установлено путем измерения образцовым прибором.

Погрешность измерения — суммарная погрешность, в которую входит погрешность установки при измерении, погрешность настройки, температурная погрешность и многие другие.

Погрешности измерения, как и погрешности изготовления, делятся на систематические и случайные. Источником систематических погрешностей являются погрешности градуировки шкалы, погрешность размера образцовой детали, по которой настраивают прибор. Случайные погрешности возникают в результате отклонений формы самой проверяемой детали, погрешности отсчета по шкале, температурных погрешностей, колебания измерительного усилия. Грубые погрешности (промахи) могут вызываться резкими изменениями внешних условий (температуры, освещения, внешними толчками и др.), личными ошибками контролера из-за небрежности, усталости и т. п. При обработке результатов ряда наблюдений грубые погрешности исключаются. Анализ погрешностей и их учет проводят, используя теорию вероятностей и математическую статистику.

Класс точности — это обобщенная характеристика средств измерений, определяемая пределами допускаемых погрешностей, а также другими свойствами, влияющими на их точность, значения которых устанавливаются стандартами на отдельные виды средств измерений. Классы точности присваивают средствам измерений в соответствии с правилами по ГОСТ 8.401—80.

§ 36. МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ

Методом измерения называется совокупность средств и приемов, используемых при измерениях какой-либо величины. В зависимости от приемов нахождения размера определяемой величины, условий измерения, конструкции прибора, способа нахождения размера искомой величины методы измерения делятся на абсолютный и относительный, прямой и косвенный, контактный и бесконтактный, дифференцированный и комплексный.

Абсолютным называется метод измерения, при котором по шкале сразу считывают абсолютное значение определяемого размера, например измерение штангенциркулем.

Относительный метод измерений используют в том случае, если необходимо определить, насколько значения измеряемой величины отклоняются от установленной меры или образца, например находят размер детали индикатором со стойкой после его настройки по концевым мерам длины.

Прямым методом измерения называется такой, при котором значение измеряемой величины устанавливают непосредственно по показанию прибора, например измерение диаметра детали.

Косвенным методом пользуются, когда невозможно или очень сложно измерить непосредственное значение искомой величины и ее находят по результатам измерений других величин. Например, длину окружности проще определить, измерив диаметр и через него вычислив длину окружности.

Контактным называется метод измерения, при котором измерительные поверхности прибора или инструмента непосредственно соприкасаются с поверхностью измеряемой детали.

Бесконтактный метод основан на измерениях оптическими и пневматическими приборами (инструмент не соприкасается с поверхностью измеряемой детали).

Дифференцированный (поэлементный) метод измерения или контроля заключается в независимой проверке каждого элемента детали в отдельности, например определение наружного и внутреннего диаметров, а также ширины шлицы в шлицевых

соединениях. Заключение о годности детали делают по результатам всех измерений.

Комплексный метод измерения или контроля осуществляют, используя специальные приборы или калибры, которые позволяют сразу дать заключение о годности детали по всем или нескольким параметрам, например при контроле шлицевыми пробками и кольцами.

При ремонте машин часто необходимо использовать специфические методы измерений для дефектации деталей и определения характера их износа.

Цель дефектации деталей — установить износ и определить пригодность детали к дальнейшей эксплуатации (необходимо ли ее восстанавливать, полностью ли выбраковывать и отправить в утиль). Чтобы при дефектации не проводить излишне много измерений, первоначально определяют характер износа деталей в различных плоскостях и сечениях и выявляют места наибольшего износа. Затем при проведении дефектации ограничиваются измерениями только в местах наибольшего износа.

§ 37. УЧЕТ ПОГРЕШНОСТЕЙ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ РАЗМЕРОВ

При измерениях универсальными средствами погрешности распределяются по закону, близкому к закону нормального распределения. Поэтому для оценки точности измерения используют метрологическую характеристику — предельную погрешность средства измерения $\Delta_{\text{lim}} = \pm 3\sigma$. То есть, с вероятностью, равной 99,73%, можно утверждать, что погрешность данного инструмента в пределах всей шкалы должна быть менее Δ_{lim} .

Естественно, что погрешности, выходящие за пределы $\pm 3\sigma$, должны быть отнесены к грубым ошибкам и исключены из результатов измерений.

Поэтому при однократном измерении универсальным средством результат измерения записывают следующим образом:

$$D = D_e \pm \Delta_{\text{lim}}. \quad (50)$$

Чем меньше погрешность, тем определеннее результат и меньше интервал, в пределах которого может находиться искомый размер.

Чтобы повысить точность измерений, если невозможно применить средство измерения с меньшей погрешностью, проводят многократные измерения одного и того же объекта. Как показывает теория вероятностей, погрешность при этом уменьшается в $\sqrt{N}$ раз, где N — число измерений.

Результат такой серии измерений записывают следующим образом:

$$D = \bar{D}_e \pm \frac{\Delta_{\text{lim}}}{\sqrt{N}}. \quad (51)$$

Если при определении одного размера косвенным методом необходимо использовать несколько инструментов или несколько измерений, то для получения искомого размера с целью оценки точности полученного результата следует суммировать погрешности. Систематические погрешности суммируют алгебраически со своими знаками, если они постоянны. Если они переменны, то суммируют максимальные значения с их знаком. Случайные погрешности суммируют геометрически по закону сложения случайных независимых событий.

Суммарная погрешность при наличии систематических и случайных погрешностей

$$\Delta_{\text{lim } \Sigma} = \Sigma \Delta_{i \text{ сист}} \pm \sqrt{\Delta_{\text{lim } 1}^2 + \Delta_{\text{lim } 2}^2 + \dots + \Delta_{\text{lim } n}^2}, \quad (52)$$

где $\Sigma \Delta_{i \text{ сист}}$ — алгебраическая сумма систематических погрешностей; $\Delta_{\text{lim } 1}, \Delta_{\text{lim } 2}, \dots, \Delta_{\text{lim } n}$ — предельные случайные погрешности.

Знак у квадратичной суммы должен быть одинаковым со знаком суммы систематических погрешностей, что позволит определить наибольшее значение суммарной предельной погрешности.

Глава 9. УНИВЕРСАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ

§ 38. ПЛОСКОПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ КОНЦЕВЫЕ МЕРЫ ДЛИНЫ

Плоскопараллельная концевая мера длины представляет собой цилиндрический стержень или прямоугольный параллелепипед (плитка). Расстояние между двумя точно доведенными параллельными поверхностями является рабочим размером концевой меры длины.

Цилиндрические стержни широкого распространения не получили. Их используют в основном как установочные меры (например, для микрометров). Плоскопараллельные концевые меры длины изготавливают из закаленной стали и подвергают шлифовке и точной доводке. Благодаря очень малой неплоскостности и минимальной шероховатости плитки обладают способностью притираться одна к другой. Притираемость объясняется молекулярным сцеплением между поверхностями плиток и чрезвычайно тонкой (до 0,002 мкм) жировой пленкой, сохраняющейся даже после промывания плиток в чистом бензине и протирания сухой чистой тканью. Плитки, притертые одна к другой, составляют цельный блок, точность размера которого не нарушается просветами между плитками. Цельным блоком удобно пользоваться при измерениях.

Плоскопараллельные концевые меры длины — основное средство сохранения единства мер в машиностроении. С их помощью поверяют, градуируют и устанавливают другие приборы и инструменты. В то же время их используют при снятии размеров деталей, их контроле, проведении разметочных работ. Для проверки и градуировки других измерительных средств применяют образцовые плитки, а для измерения деталей, их контроля и разметки — рабочие.

За размер плитки принимают ее срединный размер, т.е. расстояние от середины одной рабочей поверхности плитки (места пересечения диагоналей) по плоскости, к которой притерта плитка другой рабочей поверхностью.

По точности изготовления плоскопараллельные концевые меры длины подразделяют на пять классов — 00, 0, 1, 2, 3. Для концевых мер, находящихся в эксплуатации, установлены дополнительно два класса — 4 и 5. Концевые меры класса 00 изготавливают по заказу потребителя.

Класс концевой меры характеризует степень приближения срединного размера плитки к ее номинальному размеру. Для рабочих плиток, как правило, достаточно подобрать нужный класс, чтобы обеспечить необходимую точность. Для образцовых мер требуется более высокая точность, которая достигается установлением пяти разрядов — 1, 2, 3, 4, 5.

Разряд концевой меры характеризуется предельной погрешностью того прибора, с помощью которого определяли срединную длину меры и ее предельные отклонения от плоскопараллельности.

К концевым мерам, характеризваемым разрядами, дается аттестат, в котором указывается отклонение действительного размера плитки от номинального. Таким образом, точность такой плитки определяется только точностью прибора, с помощью которого она была аттестована.

Концевые меры длины для удобства пользования комплектуют в наборы. Всего выпускается восемь наборов. Многие наборы имеют в своем составе защитные плитки из твердого сплава, которые притираются с обеих сторон блока концевых мер при проведении массовых измерений и предохраняют концевые меры набора от износа и повреждений.

Чтобы подобрать блок концевых мер заданного размера, следует руководствоваться следующим правилом: размер каждой меры, включаемой в блок, должен исключать из заданного размера одну или две цифры справа. Например, блок плиток размером 39,98 мм необходимо подобрать так:

— 39,98	
— 1,08	(1-я плитка)
— 38,9	
— 1,9	(2-я плитка)
— 3,7	
— 7	(3-я плитка)
— 30	(4-я плитка)

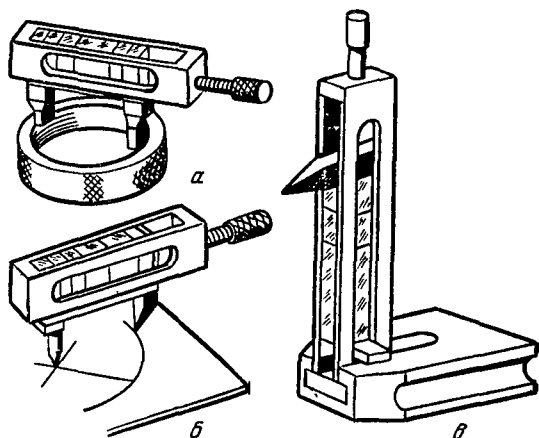


Рис. 29. Приспособления к плоскопараллельным концевым мерам длины:

а — струбцина с боковиками для контроля диаметра отверстия; *б* — центр и чертилка для точной разметки; *в* — чертилка с плитками, установленные на основание для пространственной разметки на плите.

Таким образом, блок будет состоять из четырех концевых мер размерами $1,08 + 1,9 + 7 + 30 = 39,98$ мм.

Блок концевых мер нельзя составлять более чем из пяти мер, иначе он будет иметь большую погрешность.

Область применения плоскопараллельных концевых мер можно значительно расширить, используя специальные приспособления: струбины, боковики, чертилки, основания и др. (рис. 29).

Работать с концевыми мерами следует осторожно; чтобы не повредить рабочие поверхности, рекомендуется брать плитки тканевыми салфетками. Нельзя ставить концевые меры размером более 5,5 мм рабочими поверхностями на стол и притирать рабочие поверхности к нерабочим. После измерения концевые меры надо промыть в чистом бензине, смазать бескислотным вазелином и разложить в футляре по своим местам.

Щупы (длинные тонкие пластинки) — разновидность концевых мер. Их применяют для измерений зазоров между поверхностями (между поршнем и цилиндром, в прерывателе-распределителе, в клапанах

и т. д.). Шупы выпускают наборами от № 1 до № 4, длиной 50, 100 и 200 мм и толщиной от 0,02 до 1 мм. Для получения необходимого размера подбирают несколько шупов так, чтобы их общая толщина равнялась заданному размеру. Точность шупов значительно ниже точности мерных плиток. В сочетании с линейкой шупами можно определять прямолинейность поверхности, а в комбинации с угольником — перпендикулярность.

§ 39. ШТАНГЕНИНСТРУМЕНТЫ

Штангенинструменты, из которых основными являются штангенциркуль, штангенглубиномер и штангенрейсмус, широко используют для измерения и разметки деталей, когда не требуется высокая точность. У этих инструментов отсчетное приспособление — линейный нониус, или вспомогательная шкала, которая позволяет отсчитывать доли деления основной шкалы.

Принцип построения нониуса заключается в следующем. На вспомогательной шкале откладывают отрезок, равный целому числу делений основной шкалы. Число делений на этом отрезке берется на одно больше, чем на основной шкале, т. е.

$$c(n-1) = bn; \quad (53)$$

$$i = c - b, \quad (54)$$

где c — цена деления основной шкалы; b — интервал деления шкалы нониуса; n — число делений нониуса; i — точность отсчета.

Подставив значение b из уравнения (54) в уравнение (53), получим:

$$c(n-1) = (c-i)n,$$

откуда

$$i = c/n. \quad (55)$$

Для удобства отсчета шкалу нониуса, как правило, делают растянутой, или модульной, т. е. деление шкалы нониуса принимают не приблизительно равным делению основной шкалы, а в γ раз больше. Величина γ называется модулем шкалы. В этом случае

$$c(\gamma n - 1) = bn, \quad i = \gamma c - b.$$

Подставляя значение b из второго уравнения в первое, получим

$$c(\gamma n - 1) = (c\gamma - i)n$$

и опять

$$i = c/n.$$

Отсюда следует, что точность отсчета i не зависит от модуля, а в любом случае зависит от цены деления c основной шкалы и числа делений n нониуса.

Пример. Необходимо рассчитать шкалу нониуса приспособления со следующими параметрами: цена деления основной шкалы $c = 1$ мм, точность отсчета $i = 0,05$ мм; модуль нониуса $\gamma = 2$; число делений нониуса $n = \frac{c}{i} = \frac{1}{0,05} = 20$.

Интервал деления нониуса $b = \gamma c - i = 2 \cdot 1 - 0,05 = 1,95$ мм; длина шкалы нониуса $l = bn = 1,95 \cdot 20 = 39$ мм.

Штангенциркуль, наиболее распространенный инструмент, изготавливают в двух вариантах.

Простейший штангенциркуль (рис. 30, а) состоит из штанги 4 с неподвижными губками, рамки 3 с подвижными губками, перемещающейся по штанге, стержня глубиномера 5, соединенного с рамкой, и стопорного винта 2. Губки 7 предназначены для измерения охватываемых размеров (валов), а губки 1 — охватывающих (отверстий). На штанге нанесена основная шкала с ценой деления 1 мм, а на скосе рамки — вспомогательная шкала (нониус) 6, с помощью которой отсчитывают десятые доли миллиметра.

Принцип пользования нониусом понятен из рисунка 31, на котором показаны примеры отсчета. Десять делений нониуса соответствуют девяти делениям основной шкалы. Следовательно, интервал делений нониуса составляет 0,9 мм. При сдвинутых вплотную губках штангенциркуля нулевой штрих нониуса совпадает с нулевым штрихом основной шкалы. Если рамку сдвинуть вправо на 0,1 мм, то со штрихом основной шкалы совпадет первый штрих нониуса, на 0,2 мм — второй штрих нониуса, на 0,3 мм — третий и т. д. На рисунке в первом примере с основной шкалой совпа-

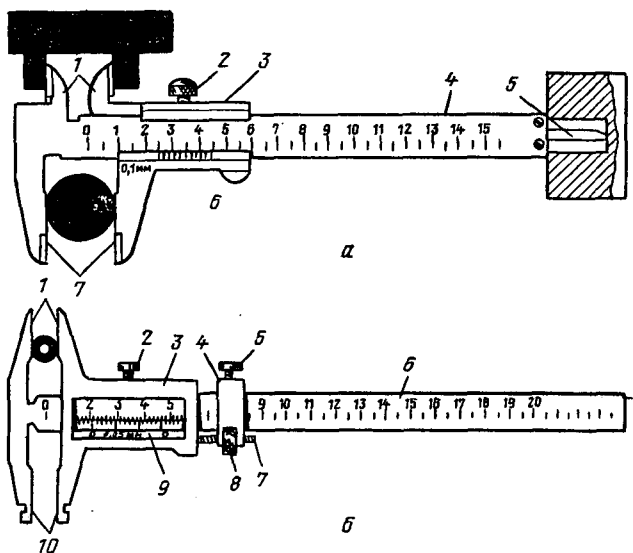


Рис. 30. Штангенциркули:

a — простейший; *б* — усовершенствованный.

дает четвертый штрих нониуса (размер 3,4 мм), во втором примере — седьмой (2,7 мм).

Целое число миллиметров находят по основной шкале, а доли миллиметра — по нониусу.

Если, сохранив число делений нониуса, увеличить интервал его делений до 1,9 мм, принцип определения размера не изменится, а пользоваться нониусом будет удобнее. Такие растянутые нониусы широко применяют в штангенинструментах, в частности в простейшем штангенциркуле с точностью отсчета 0,1 мм (см. рис. 30, *a*).

Более совершенен и точен штангенциркуль (рис. 30, *б*) с приспособлением для микрометрической подачи рамки с подвижными губками, которое состоит из движка 4 со стопорным винтом 5 и гайкой 8 и винта 7 микрометри-

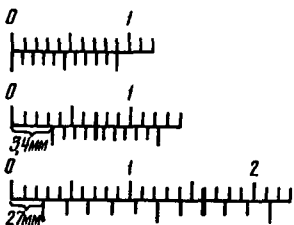


Рис. 31. Примеры отсчетов по нониусу.

ческой подачи, связанного с подвижной рамкой 3. Отпустив стопорный винт рамки 2 и закрепив стопорный винт 5 движка, можно, вращая гайку 8, медленно передвигать рамку 3 относительно штанги 6.

Перед измерением необходимо убедиться в исправности штангенциркуля. Не допускаются забоины и следы ржавчины на измерительных поверхностях губок. Если стопорный винт закреплен, рамка не должна качаться. Сдвинув губки, надо убедиться, что между ними нет просвета, видимого на глаз, и нулевой штрих нониуса 9 совпадает с нулевым штрихом основной шкалы.

При измерении губки штангенциркуля сводят или разводят до тех пор, пока они не будут перемещаться вдоль измеряемой поверхности с легким трением. После этого по основной шкале и нониусу отсчитывают результат. Когда определяют внутренний размер цилиндрическими губками 10, к показанию штангенциркуля прибавляют толщину губок, которая указана на них. При измерении наружных размеров губками 1 никаких поправок к показанию штангенциркуля не требуется.

Штангенциркули выпускают с пределами измерения 0...125, 0...150, 0...250, 0...160, 0...400, 250...630.

Нониусы позволяют отсчитывать показания с точностью 0,1; 0,05 мм.

Штангенглубиномер (рис. 32) измеряют высоту и глубину. Его основные части: штанга 1 с нанесенной на ней основной шкалой, основание (траверса) 5 с рамкой 7 и стопорным винтом 6 и движок микрометрической подачи 9 со стопорным винтом 8 и гайкой 2. Винт микроподдачи 3 соединен с рамкой. На боковой прорези рамки 7 прикреплена пластинка 4, на которой нанесена шкала нониуса. Измерительные поверхности штангенглубиномера — торцовая поверхность штанги и нижняя плоскость основания. При измерении основание с силой прижимают к поверхности детали, а штангу выдвигают до соприкосновения с другой ее поверхностью. При измерении штангенглубиномером надо следить, чтобы основание не приподнималось над поверхностью измеряемой детали, а было плотно прижато к ней.

Штангенглубиномеры изготавливают с пределом

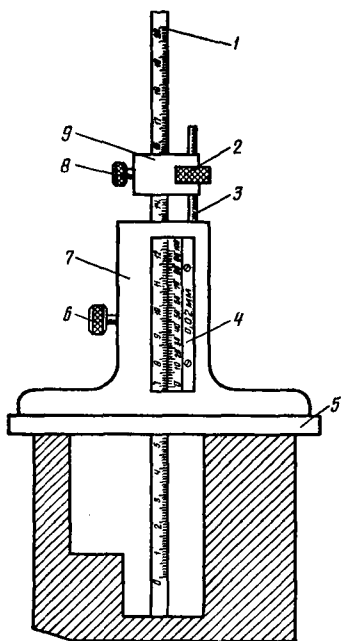


Рис. 32. Штангенглубиномер.

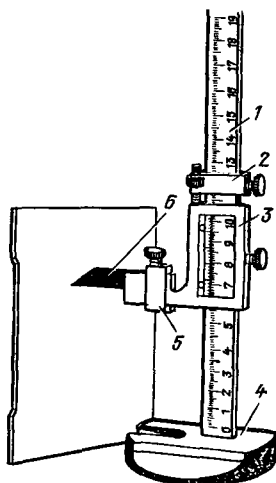


Рис. 33. Штангенрейсмус.

измерения от 0 до 160, 200, 250, 315, 400 и 500 мм и с точностью отсчета 0,1, 0,05 мм.

Штангенрейсмус (рис. 33) предназначен для разметки и измерения высоты деталей на плите. Штанга 1 прочно закреплена в массивном основании 4. По штанге перемещаются рамка 3 с нониусом и узел микроподачи 2. К рамке хомутиком 5 крепят сменные детали: ножку 6 для разметки и ножку для измерения высоты. По шкале и нониусу определяют расстояние от основания до нижней плоскости сменной ножки. Штангенрейсмусы выпускают с пределами измерения 0...250, 40...400, 60...630 и 100...1000 мм и с точностью отсчета 0,1; 0,05 мм.

§ 40. МИКРОМЕТРИЧЕСКИЕ ИНСТРУМЕНТЫ

К микрометрическим инструментам относятся микрометр для наружных измерений, микрометрический нутромер (штихмас) и микрометрический глубиномер.

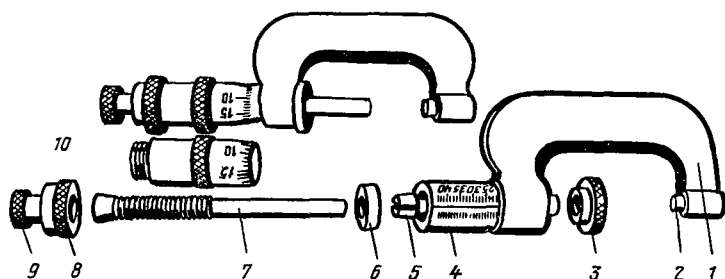


Рис. 34. Микрометр.

Микрометр (рис. 34) имеет скобу 1, в которую запрессована неподвижная пятка 2 с доведенной поверхностью. С другой стороны скоба заканчивается стеблем 4 с разрезным хвостовиком 5, имеющим внутреннюю и наружную резьбу. Навертывая гайку 6 на коническую часть хвостовика, можно уменьшать осевой зазор микрометрического винта 7, который перемещается внутри стебля по резьбовой поверхности. Конечная поверхность микрометрического винта также доведена и является второй измерительной поверхностью. К другому концу микровинта колпачком 8 прикреплен барабан 10 — тонкостенная втулка со скошенным краем, на котором нанесена шкала. В собранном виде микровинт и барабан представляют собой одно целое и при вращении перемещаются в продольном направлении одновременно. Трещотка 9 на колпачке ограничивает измерительное усилие в пределах 7 ± 2 Н.

На стебле нанесены продольная риска и двойная шкала. Штрихи под рисккой показывают целые миллиметры, над рисккой — половины миллиметров. Шаг резьбы микрометрического винта равен 0,5 мм, а на скосе барабана нанесено 50 делений. Следовательно, точность отсчета

$$i = \frac{p}{n} = \frac{0,5}{50} = 0,01 \text{ мм},$$

где p — шаг микрометрической резьбы; n — число делений на барабане.

По шкале на стебле отсчитывают целые миллиметры и половины миллиметров, а по шкале бара-

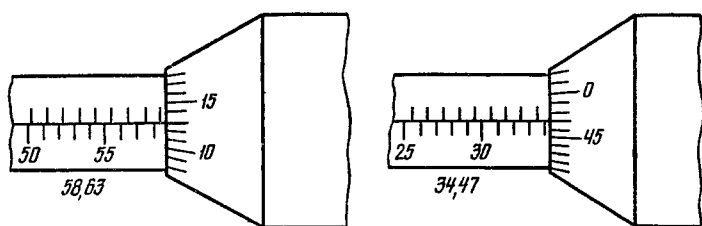


Рис. 35. Примеры отсчетов по шкале микрометра.

бана — сотые доли миллиметра. Примеры отсчетов по микрометру показаны на рисунке 35.

Перед каждым измерением микрометр проверяют. Для этого микрометром измеряют калибр, который к нему приложен, и определяют правильность отсчета. Например, при измерении калибра размером 50 мм скос барабана должен находиться на штрихе 50 мм, а нулевой штрих барабана совпадать с продольной риской. Если такого совпадения нет, то микрометр регулируют. Для этого осторожно зажимают калибр между измерительными поверхностями, вращая микровинт за трещотку (3...5 щелчков); не вынимая калибра, стопором 3 (см. рис. 33) закрепляют микрометрический винт; затем, придерживая от проворачивания барабан левой рукой, правой отвертывают колпачок. Когда барабан отъединится от микровинта, его проворачивают в нужное положение, т. е. так, чтобы нулевой штрих барабана совпал с продольной риской миллиметровой шкалы на стебле.

Удерживая барабан в этом положении левой рукой, правой осторожно завертывают колпачок. После того как барабан и микрометрический винт будут скреплены с помощью колпачка, повторно проверяют микрометр измерением калибра. Микрометры с пределами измерения 0...25 мм проверяют, сводя измерительные поверхности до их соприкосновения вращением барабана за трещотку.

При отсчете по шкале микрометра часто допускают ошибку в 0,5 мм. Это объясняется тем, что вследствие излишне сильной или слабой затяжки барабана его скос смещается в нулевом положении в ту или иную сторону от штриха. Такая неопределенность и вызы-

вает ошибку при отсчете. Чтобы ее исключить, надо при проверке микрометра запомнить, в какую сторону от штриха смещен скос барабана при нулевом отсчете.

Обычный микрометрический винт перемещается на 25 мм, так как трудно добиться точности шага резьбы на большей длине. Это определяет пределы измерения микрометров: 0...25, 25...50, 50...75, 75...100, 100...125 и так далее до 275...300 мм. Пределы измерения микрометров свыше 300 до 600 мм увеличивают сменными неподвижными пятками.

Микрометрический нутромер состоит из микрометрической головки (рис. 36, а) и набора удлинителей (рис. 36, б). Отсчетное устройство микрометрической головки такое же, как у микрометра. Конiec микрометрического винта 4 и конец стержня защитного удлинителя 1, ввертываемого в корпус 2 прибора, — измерительные поверхности нутромера. В нутромере нет устройства, ограничивающего измерительное усилие. В измеряемом отверстии его устанавливают наощупь, поэтому погрешность при измерении нутромером значительно больше, чем при измерении микрометром, хотя точность отсчета у них одинакова — 0,01 мм.

Нутромер проверяют по установочной мере, изго-

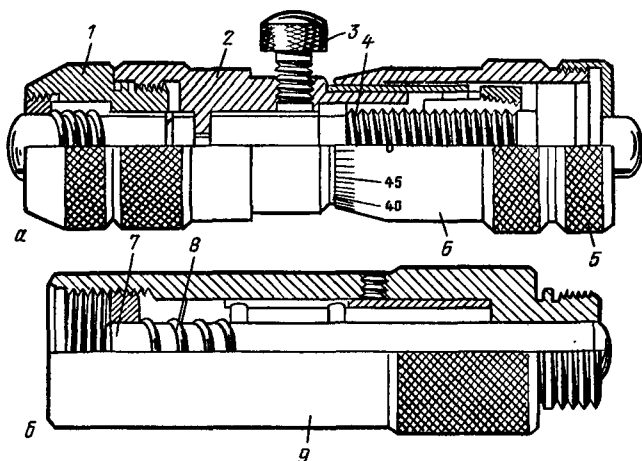


Рис. 36. Микрометрический нутромер.

товленной в виде скобы, определяя расстояние между ее внутренними измерительными плоскостями. Если показание нутромера не равно 75 мм, то его устанавливают на нуль. Для этого, не вынимая нутромера из установочной меры, стопорным винтом 3 закрепляют микрометрический винт 4. Затем, придерживая барабан 6, отвертывают колпачок 5, отъединяя тем самым барабан от микровинта. Установив барабан в нужное положение, его соединяют с микровинтом колпачком 5 и вторично проверяют, правильно ли настроен нутромер, используя установочную меру.

Удлинитель состоит из стержня 7, длина которого указана на трубке 9, предназначенной для присоединения стержня к нутромеру и предохранения его от повреждений. При заворачивании удлинителя пружина 8 плотно прижимает стержень к измерительной поверхности нутромера.

Удлинители подбирают в последовательности, указанной в табличках, прилагаемых к нутромеру.

Микрометрические нутромеры выпускают с пределами измерения 75...175, 75...600, 150...1260 и 600...2500 мм.

Микрометрический глубиномер (рис. 37) состоит из основания 5, микрометрической головки 2 и измерительного стебля 4, запрессованного в основание. Нижняя плоскость основания и конец измерительного стержня — измерительные поверхности прибора. Для

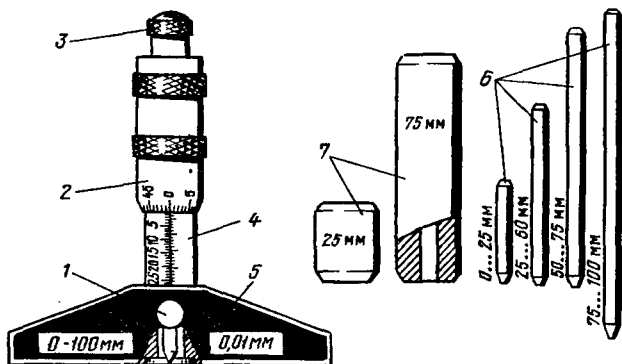


Рис. 37. Микрометрический глубиномер.

увеличения диапазона измерений глубиномер снабжен сменными измерительными стержнями 6. Пределы измерения глубиномеров: 0...100 и 0...150 мм.

На нуль глубиномер с измерительным стержнем 0...25 мм устанавливают на поверочной плите. Для этого основание прижимают к плите, а затем, вращая микрометрический винт за трещотку 3, доводят вторую измерительную поверхность до соприкосновения с плитой. Закрепив измерительный стержень стопорным винтом 1, прибор устанавливают на нуль. При использовании остальных измерительных стержней глубиномер устанавливают на нуль по установочным мерам 7. Сила, с которой при измерении основание необходимо прижимать к детали, должна превышать измерительное усилие.

§ 41. ИНДИКАТОРЫ И ИНДИКАТОРНЫЕ ПРИБОРЫ

Рассмотренные инструменты — штангенциркуль, микрометр и другие — предназначены для абсолютных измерений, когда весь определяемый размер находят непосредственно по шкале.

Индикатор часового типа (рис. 38) — наиболее распространенный прибор для относительных измерений.

Наша промышленность выпускает индикаторы следующих типов: ИЧ-2; ИЧ-5; ИЧ-10; ИЧ-25; ИЧ-50; ИТ-2 с ценой деления 0,01 мм. Цифра в обозначении типа прибора указывает предел измерений в миллиметрах.

Измерительный стержень 1, имеющий в средней части нарезанную рейку, перемещается вверх и вниз внутри гильзы 6. При своем перемещении он вращает двойное зубчатое колесо 3, которое, в свою очередь, приводит во вращение трибку 2 вместе со стрелкой, закрепленной на одной с ней оси. Дополнительное зубчатое колесо 8 с пружинным волоском 7 устраняет погрешность от бокового зазора в зубчатых зацеплениях и зазоров в опорах. Колесо 8 постоянно удерживает в зацеплении зубчатые колеса, причем во время хода измерительного стержня вверх или вниз зацепление происходит по одной стороне зубьев.

Передаточные отношения в индикаторе подобраны так, что передвижению стержня индикатора на 1 мм

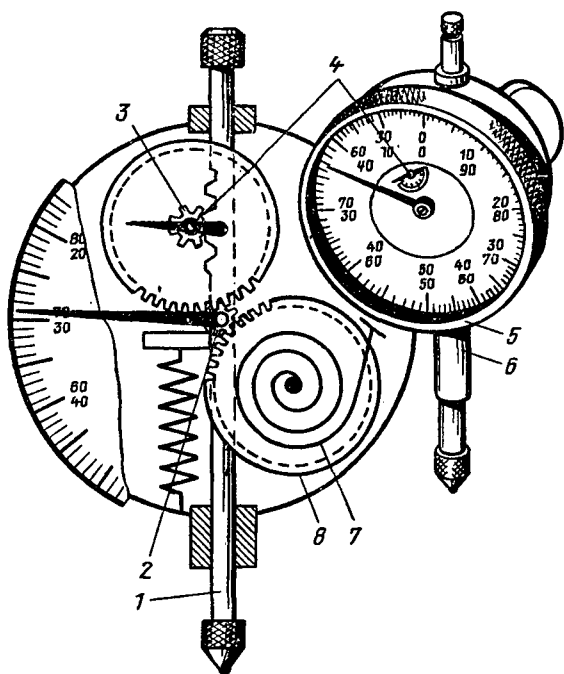


Рис. 38. Индикатор часового типа.

соответствует один оборот стрелки. Так как шкала имеет 100 делений, цена деления шкалы индикатора равна 0,01 мм. Для установки на нуль шкалу индикатора поворачивают за накатанный ободок 5. Число оборотов большой стрелки индикатора или число целых миллиметров хода измерительного стержня индикатора определяют по перемещению малой стрелки 4. Цена деления шкалы малой стрелки равна 1 мм.

Пределы измерения индикаторов часового типа: от 0 до 2,5, 10, 25 и 50 мм. Присоединительный размер гильзы 6 равен 8h7.

У индикатора лишь одна измерительная поверхность — конец измерительного стержня, поэтому измерять индикатором можно только в сочетании с другими приборами и приспособлениями.

Наружные размеры малогабаритных деталей определяют индикатором, закрепленным в стойке с круглым (размер детали до 80 мм) или квадратным (раз-

мер детали до 125 мм) столиком (рис. 39). При измерении деталей сложной формы и больших размеров удобно пользоваться индикаторными скобами (рис. 40), которые выпускают с пределами измерения 0...50, 50...100, 100...200 и т. д. до 600 мм, со сменными пятками до 1000 мм.

Индикаторы со стойкой и индикаторные скобы устанавливают по концевым мерам. Для этого подбирают блок, размер которого равен номинальному размеру измеряемой поверхности, и помещают его на столик. Измерительный стержень индикатора приводят в соприкосновение с блоком плиток и закрепляют в положении, когда малая стрелка индикатора укажет на цифру 1 или 2. Тем самым создают запас хода стержня индикатора на случай, если размер детали будет меньше номинального. После этого шкалу индикатора поворачивают за ободок, чтобы нулевой штрих совпал с концом большой стрелки. Отклонения стрелки от нуля при измерении будут равны отклонениям размера детали от номинального размера.

Индикаторными нутромерами (рис. 41) измеряют внутренние диаметры деталей. Перемещение измерительного стержня 1 через равноплечий рычаг 3 и стержень 4 передается на индикатор 5. С помощью сменного стержня 7 нутромер устанавливают на необходимый размер. Для этого подбирают блок концевых мер, равный номинальному размеру измеряемого отверстия, и закрепляют его с плоскими боковичками 1 (рис. 42) по краям в струбине 4. Затем между измерительными поверхностями боковичков 1 помещают измерительный стержень и сменный стержень 2 нутромера. Завертывая или вывертывая сменный стержень, добиваются того, чтобы кольцевая риска на измерительном стержне была приблизительно на уровне торца центрирующего мостика 3. В таком положении погрешность при измерении будет наименьшей.

Если при этом маленькая стрелка индикатора не показывает целого числа миллиметров, то головку индикатора передвигают вверх или вниз относительно корпуса нутромера. Когда маленькая стрелка индикатора встанет на риску 1 или 2 мм, сменный стержень стопорят контргайкой, а индикаторную головку в корпусе — стопорным винтом 6 (см. рис. 41). Поворачивая шкалу индикатора за ободок, большую стрелку

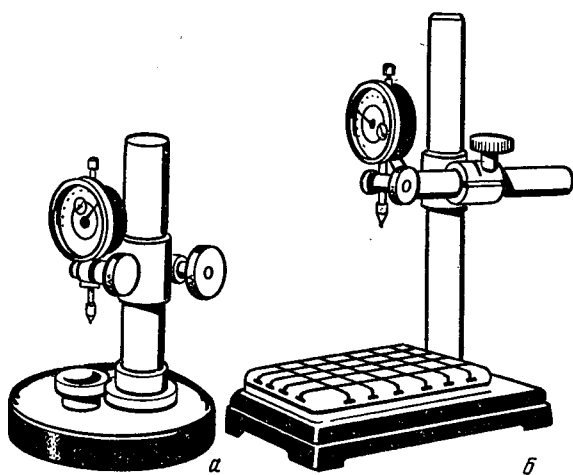


Рис. 39. Стойки с круглым (а) и квадратным (б) столиком.

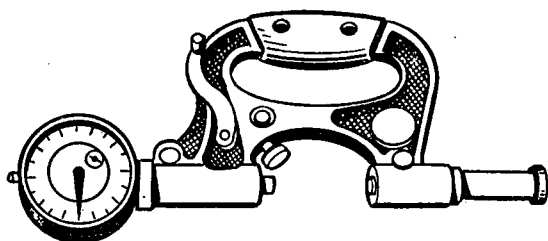


Рис. 40. Индикаторная скоба.

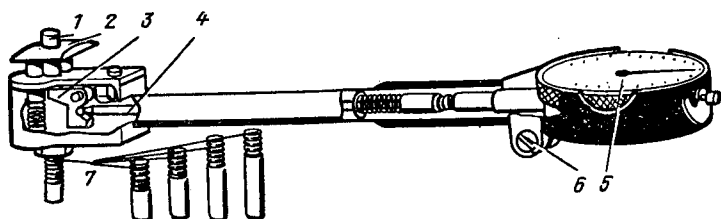


Рис. 41. Индикаторный нутромер.

устанавливают на нуль в положении, когда она изменяет направление вращения при покачивании нутромера в скобе из боковиков.

Размер, который показывает нутромер при правильном его размещении между плоскими боковиками, будет базовым. Отклонения показаний индикатора от базового размера при измерении равны отклонениям размера детали от номинального.

При измерении отверстия мостик 2, имеющий более сильные пружины, центрирует измерительный стержень строго по диаметру. Однако при этом стержень надо установить перпендикулярно оси цилиндра, т. е. зафиксировать наименьший из размеров, которые показывает нутромер. Для этого измерительный стержень и центрирующий мостик помещают в отверстие. Утопив их в корпусе нутромера, в отверстие вводят сменный стержень и устанавливают трубку нутромера приблизительно вдоль оси отверстия. Затем, предварительно наклонив трубку нутромера в плоскости измерительного стержня, постепенно перемещают ее, стремясь совместить с осью отверстия до тех пор, пока стрелка индикатора, движущаяся против хода часовой стрелки, не остановится и не начнет двигаться по ходу часовой стрелки. Наибольшее отклонение стрелки индикатора от базового размера укажет отклонение измеряемого размера от номинального.

При измерении индикаторный нутромер надо держать за пластмассовую термоизолирующую накладку, иначе, нагреваясь от руки, он даст большую погрешность. Несмотря на кажущуюся сложность определения размеров индикаторным нутромером, технику измерения освоить нетрудно. Точность измерений индикаторным нутромером значительно выше, чем микрометрическим.

Индикаторный нутромер незаменим при измерении диаметров цилиндров двигателей, его коренных подшипников, диаметров отверстий верхней и нижней головок шатуна и т. д. Пределы измерения инди-

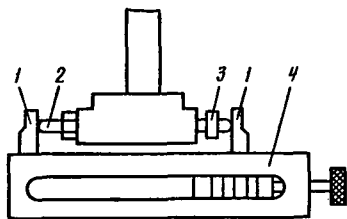


Рис. 42. Настройка индикаторного нутромера.

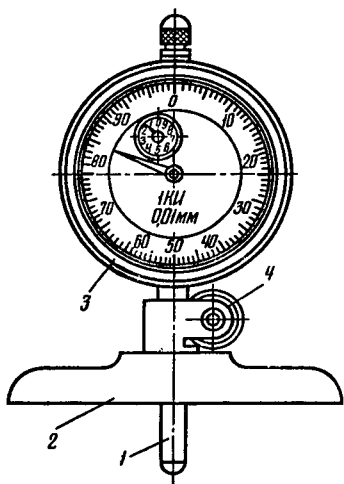


Рис. 43. Индикаторный глубиномер.

индикатор передвигают во втулке до тех пор, пока маленькая стрелка не встанет против цифры 10. В этом положении индикатор закрепляют стопорным винтом 4, а нуль шкалы совмещают с большой стрелкой. Отклонение от базового размера 10 мм будет в этом случае абсолютным размером измеряемой глубины.

торных нутромеров: 6...10, 10...18, 18...50, 50...100, 100...160, 160...250, 250...450 мм.

Индикаторный глубиномер (рис. 43) состоит из основания 2 с нижней измерительной поверхностью, индикатора 3 и сменного измерительного стержня 1. Благодаря набору таких стержней прибором можно измерять глубину в пределах 0...100 мм.

Глубиномер с диапазоном измерений 0...10 мм устанавливают на нуль на поверочной плите. Для этого прибор помещают основанием на плиту, а индикатор

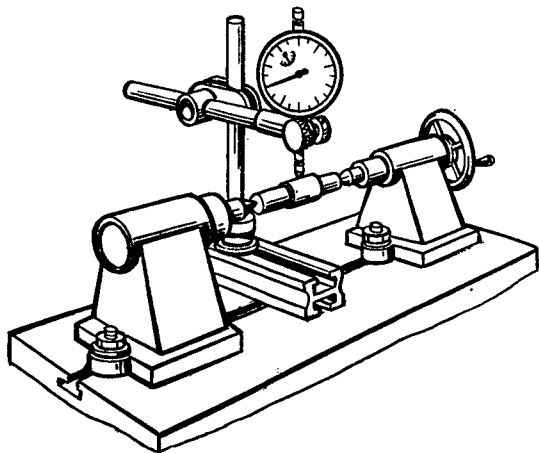


Рис. 44. Измерение индикатором радиального биения.

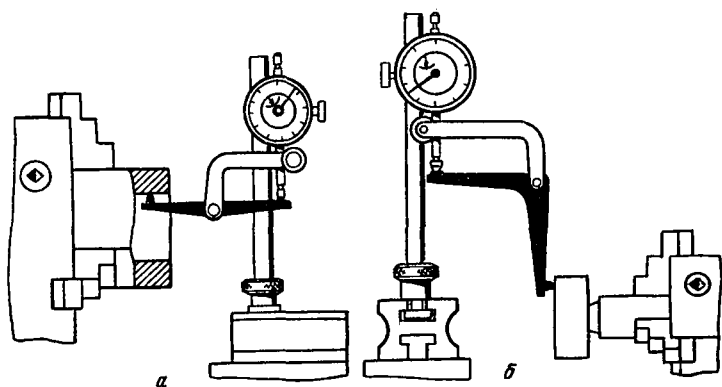


Рис. 45. Измерение индикатором:

а — радиального биения при помощи прямого рычага; *б* — торцевого биения при помощи углового рычага.

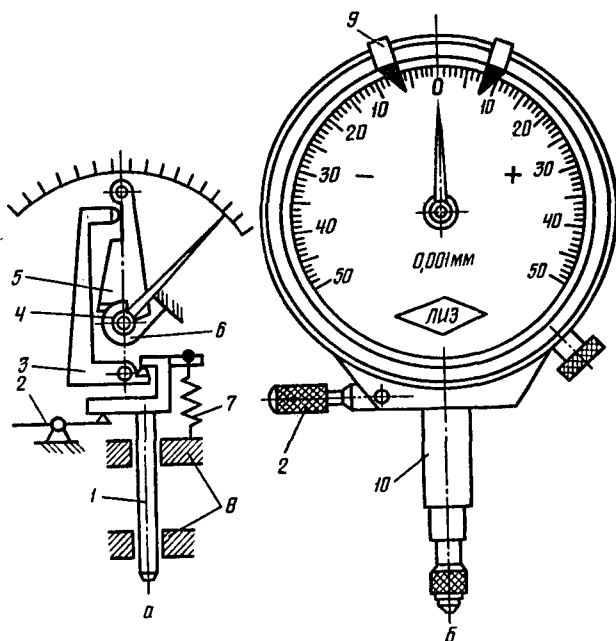


Рис. 46. Рычажно-зубчатая измерительная головка повышенной точности:

а — схема измерительного механизма; *б* — общий вид.

Если измеряют глубину больше 10 мм, то для установки на нуль используют две концевые меры или два блока концевых мер одинакового размера. Размер их должен равняться нижнему пределу измерения глубиномера с данным измерительным стержнем.

Индикатором в сочетании с универсальной стойкой (рис. 44) можно определять радиальное и торцевое биение, отклонения от прямолинейности и другие отклонения формы и расположения поверхностей. При измерении биения стержень индикатора располагают перпендикулярно к измеряемой поверхности и обеспечивают запас хода в один-два оборота стрелки. Провернув деталь, определяют биение по разности отсчетов двух крайних положений стрелки.

При измерении биения в труднодоступных местах с использованием индикатора часового типа применяют равноплечие прямые (рис. 45, а) и угловые рычаги (рис. 45, б).

Рычажно-зубчатые измерительные головки повышенной точности 1МИГ и 2МИГ (рис. 46) можно использовать там, где требуется более высокая точность измерения. Цена деления у этих головок соответственно 0,001 и 0,002 мм, диапазон показаний 1 и 2 мм. Регулировочный винт 6 предназначен для установки головок на нуль. Для этих же целей предназначен микромер — однооборотные рычажно-зубчатые головки типа 1ИГ и 2ИГ с ценой деления соответственно 0,001 и 0,002 мм. Диапазон показаний этих микромеров соответственно $\pm 0,05$ и $\pm 0,10$ мм.

В рычажно-зубчатой головке используется механизм с двумя рычажными и одной зубчатой передачами. При перемещении измерительного стержня 1 поворачивается рычаг 3, который своим длинным плечом воздействует возле оси на рычаг 5, заканчивающийся зубчатым сектором. Поворот рычага 5 вызывает перемещение стрелки, сидящей на одной оси с зубчатым колесом (трибкой) 4, которое находится в зацеплении с зубчатым сектором. Спиральная пружина 6 выбирает «мертвый ход», обеспечивая постоянный контакт в зубчатой передаче и между рычагами. Пружина 7, соединяющая измерительный стержень 1 с корпусом 8, обеспечивает необходимое измерительное усилие. Рычаг 2 служит арретиром и обеспечивает отвод измерительного стержня при установке прибора

для измерения. На шкале головки имеются два переставляемых указателя 9 границ допуска. Присоединительная часть головки — гильза 10 диаметром 8 мм.

§ 42. РЫЧАЖНО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ

Рычажно-механические приборы с точностью отсчета до 0,001 мм просты в изготовлении и надежны в эксплуатации. Их широко применяют на машиностроительных заводах и в ремонтных предприятиях.

Микрокатор. Измерительный стержень 6 (рис. 47) микрокатора подвешен на пружинящем диске 5 и горизонтальной части пружинного угольника 4. Чувствительная пружина 3 скручена за середину так, что левая и правая части образуют спирали различного направления. Один конец пружины регулировочными винтами 1 привернут к корпусу прибора, другой — к вертикальной части пружинного угольника. К средней части чувствительной пружины прикреплена стрелка 2. При перемещении стержня 6 вниз или вверх пружинный угольник поворачивается и растягивает или сжимает чувствительную пружину; стрелка при этом отклоняется.

Все подвижные части этого прибора скреплены между собой, зазоры в соединениях отсутствуют, поэтому чувствительность данного прибора высокая. Микрокаторы выпускают с ценой деления 0,1; 0,2; 0,5; 1; 2; 5; 10 мкм и с пределами измерения ± 30 делений шкалы. Микрокатор, как и индикатор, используют только в сочетании с другими приборами и приспособлениями.

Присоединительный размер микрокатора 28h7. Его наиболее часто применяют с тяжелой стойкой (С-I или С-II) (рис. 48).

На размер микрокатор устанавливают по концевым мерам длины. Вначале блок концевых мер, размер которого равен номинальному размеру измеряемой детали, размещают на столике, затем кронштейн 4 с микрокатором опускают почти до соприкосновения измерительного наконечника с блоком концевых мер. В таком положении кронштейн закрепляют стопорным винтом 3. После этого, вращая винт 1 микрометрической подачи, поднимают стол до тех пор, пока нако-

нечник микрокатора не соприкоснется с блоком концевых мер и стрелка микрокатора не совместится с нулем шкалы. Добившись этого, стопорят стол винтом 2.

Микатор, принцип действия которого идентичен принципу действия микрокатора, можно применять для головок приборов с присоединительным размером 8h7 и легкими стойками.

Рычажные скобы бывают шести типоразмеров. Рычажные скобы изготавливают с пределами измерения

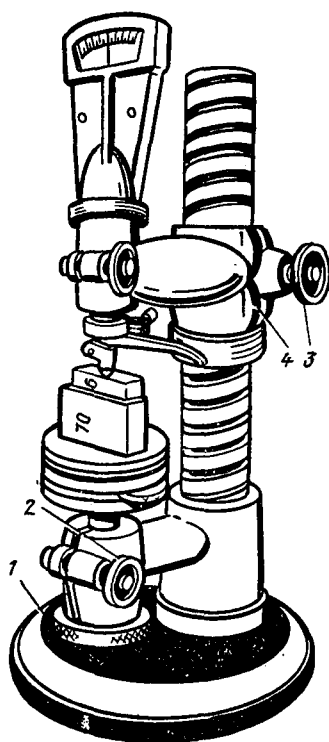
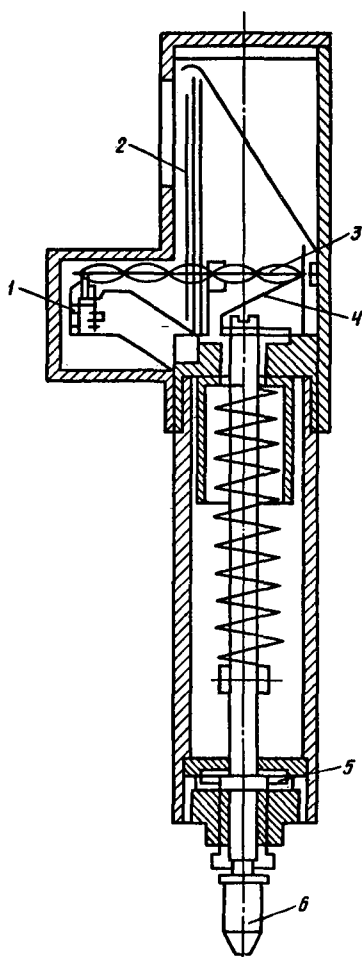


Рис. 47. Схема микрокатора.

Рис. 48. Установка на размер прибора с тяжелой стойкой.

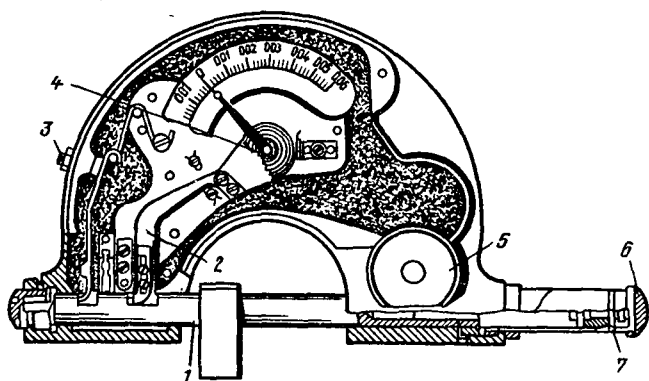


Рис. 49. Рычажная скоба.

0...25, 25...50, 50...75, 75...100, 100...125, 125...150 мм (цена деления шкалы 0,002 мм).

Подвижная пятка 1 (рис. 49) рычажной скобы передает движение рычагу 2, большое плечо которого заканчивается зубчатым сектором. Сектор, поворачиваясь, вращает трибку 4, на оси которой укреплена стрелка. Скобу настраивают по концевым мерам. Для этого снимают защитный колпачок 6, ослабляют стопорный винт 5 и, вставив между измерительными поверхностями блок плиток, размер которого равен номинальному размеру измеряемой детали, вращают винт 7 микрометрической подачи до тех пор, пока стрелка прибора не встанет на нулевой штрих шкалы. В этом положении завертывают стопорный винт и надевают защитный колпачок.

При установке измеряемой детали между пятками скобы следует пользоваться отводкой 3, которая позволяет отклонять подвижную пятку, что уменьшает износ измерительных поверхностей.

При перестройке на новый размер рычажную скобу надо заново настраивать по концевым мерам.

Рычажный микрометр (рис. 50) не имеет этого недостатка. При измерении барабан 5 прибора вращают до тех пор, пока стрелка 1 рычажного механизма не встанет на нуль. Затем барабан продолжают вращать до совпадения ближайшего штриха шкалы со штрихом на стебле 7. К показанию, полученному

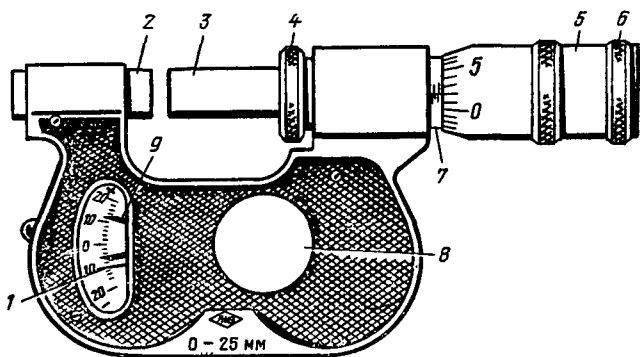


Рис. 50. Рычажный микрометр.

по микрометру, прибавляют размер отклонения от нуля стрелки рычажного механизма со своим знаком.

При измерении партии одинаковых деталей рычажным микрометром можно пользоваться как скобой. Для этого его настраивают на номинальный размер, а по шкале отсчитывают отклонения от данного размера. Указатели 9 границ поля допуска облегчают работу контролера. Отвернув крышку 8, устанавливают обе стрелки специальным ключом по верхнему и нижнему отклонениям размера. Деталь будет годной, если стрелка при измерении остановится между указателями.

Чтобы прибор настроить на нуль, между измерительными пятками 2 и 3 следует вставить установочную меру и вращать барабан 5 до тех пор, пока стрелка 1 рычажного механизма не совпадет с нулем. В этом положении микрометрический винт фиксируют стопором 4. Отвернув колпачок 6 и освободив барабан, его поворачивают до совмещения нулевого штриха с продольной риской на стебле 7. После этого, заворачивая колпачок, закрепляют барабан. Точность настройки проверяют по установочной мере.

§ 43. ОПТИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ И ОПТИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ

Точность отсчета можно повысить без увеличения габаритов и массы прибора, используя в некоторых случаях оптическое плечо.

Оптиметр — наиболее распространенный оптико-механический прибор.

Измерительная головка оптиметра представляет собой Г-образную трубку, на одном конце которой находится окуляр, а на другом — измерительный стержень 1 (рис. 51), заканчивающийся вправленным в него закаленным шариком, упирающимся в зеркало 10 оптиметра. Зеркало, укрепленное на шарнире 11, пружиной 2 постоянно прижимается к измерительному стержню (измерительное усилие составляет 2 Н).

Свет от внешнего источника 7 с помощью бокового зеркала 6 направляется в щель, где освещает шкалу 5 прибора. Отражение шкалы через систему призм 8 и линз 9 направляется на нижнее зеркало 10, находящееся в контакте с измерительным стержнем, и от него — в окуляр 3. Перемещение измерительного стержня приводит к повороту зеркала, а следовательно, к перемещению отражения 4, видимого в окуляр оптиметра.

Шкала прибора неподвижна и в окуляр невидима, перемещается только отражение шкалы в зависимости от положения измерительного стержня и нижнего зеркала.

Положение отраженной шкалы определяется относительно указателя в форме треугольника со стрелкой, расположенного в центре поля, видимого в окуляр. При перемещении измерительного стержня отражение шкалы перемещается относительно указателя вверх или вниз.

Цена деления оптиметра 0,001 мм, предел показаний прибора ± 100 делений, или $\pm 0,1$ мм.

Головку оптиметра можно использовать только в сочетании с тяжелой стойкой. В зависимости от линии

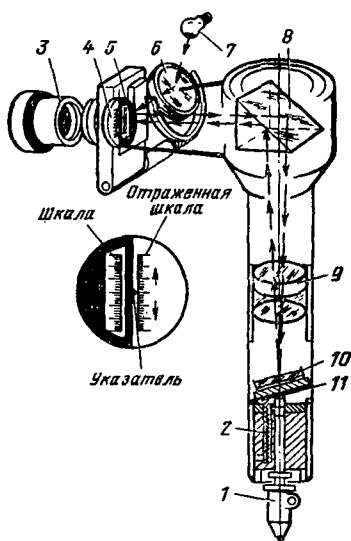


Рис. 51. Измерительная головка оптиметра.

измерения различают вертикальный и горизонтальный оптиметры.

Вертикальный оптиметр настраивают так же, как и микрокатор, который также используют с тяжелой стойкой.

Горизонтальный оптиметр более универсален. Его можно использовать как для наружных, так и для внутренних измерений. К массивному основанию 1 (рис. 52) прикреплена направляющая 2, на которой установлены передвижные кронштейны 3, фиксируемые в нужном положении стопорными винтами. На левом кронштейне закреплена пиноль 5 с микровинтом 4, перемещающим стержень со сменным наконечником 6, торец которого является одной из измерительных поверхностей. На правом кронштейне закреплена измерительная головка оптиметра, трубка 8 которого предназначена для соединения с кронштейном. Оптическое устройство 9 устанавливают под углом, удобным для выполнения измерений. Измерительный стержень головки оптиметра является второй измерительной поверхностью. При измерении наружных размеров блок концевых мер, необходимых для настройки, устанавливают на предметный столик 7, помещенный

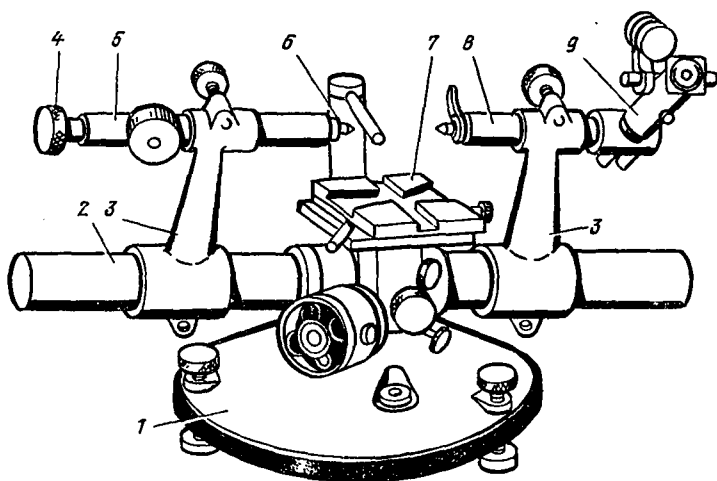


Рис. 52. Горизонтальный оптиметр.

на основание 1. В процессе измерения на предметный столик устанавливают измеряемую деталь.

Для измерения внутренних размеров горизонтальный оптиметр снабжают специальными рычажными приспособлениями — измерительными дугами (рис. 53). Конец 1 рычага соприкасается с измерительной поверхностью прибора, а конец 2 является измерительным наконечником дуги. Прибор устанавливают на нуль или по калибру, или по блоку концевых мер, с боковичками, скрепленными струбциной.

Инструментальные микроскопы предназначены для измерения углов и линейных размеров резьбовых калибров, метчиков, резьбовых фрез, шаблонов, фасонных резцов и др. Малый инструментальный микроскоп (ММИ), устроенный так же, как и большой инструментальный микроскоп (БМИ), имеет меньшую точность и меньший предел измерений.

На литом чугунном основании 15 (рис. 54) имеются направляющие, по которым на шариковых опорах перемещается стол 2 в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Стол перемещают двумя микрометрическими винтами 1 в пределах 0...25 мм. Чтобы увеличить предел измерения прибора в продольном направлении (до 75 мм у ММИ и до 150 мм у БМИ), между концом микровинта и измерительным упором стола микроскопа вставляют концевую меру необходимого размера.

Верхнюю часть стола с предметным стеклом можно поворачивать относительно основания для совмещения линии измерения с направлением продольного и поперечного перемещения стола.

К основанию микроскопа на оси 13 крепится стойка 11, по которой перемещается кронштейн 9 с тубусом 5. Стойка 11 при помощи маховичка 14 может наклоняться вокруг оси 13 в обе стороны на угол до 12,5°, что необходимо при измерении резьб.

Микроскоп фокусируют маховичком 10, перемещающим кронштейн 9 вверх или вниз. После грубой настройки кронштейн стопорят винтом 12. Для точной

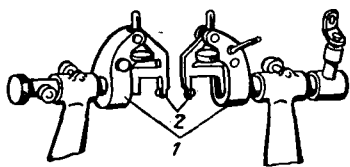


Рис. 53. Дуги для внутренних измерений.

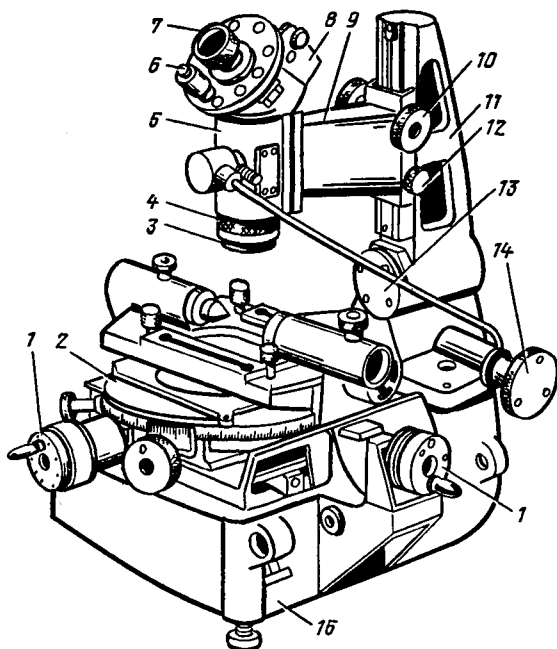


Рис. 54. Инструментальный микроскоп.

настройки используют рифленое кольцо 4, при вращении которого тубус передвигается по направляющим относительно кронштейна. В нижней части тубуса установлен объектив 3, в верхней части — сменная окулярная угломерная головка ОГУ-21 с визирным окуляром 7 и отсчетным микроскопом 6. Вместо данной головки можно использовать или головку двойного изображения ОГУ-22, или окулярную револьверную (профильную) ОГР-23, которые поставляют по дополнительному заказу. Все эти головки дают десятикратное увеличение изображения измеряемой детали. В комплекте микроскопа имеется проекционная насадка типа НП-7, на экране которой можно получить изображение, наблюдаемое в окуляре. Крепят насадку в отверстии прилива 8.

Принцип измерения с помощью инструментальных микроскопов заключается в следующем. Одну из пунктирных линий окулярной головки совмещают с краем поверхности детали и записывают показание микро-

метрического устройства. Затем эту же линию совмещают с другим краем измеряемой поверхности и записывают второе показание. Разность показаний будет равна измеренной величине. Деталь, закрепленная на столе или в центрах, в процессе измерения углов остается неподвижной или, как при измерении линейных размеров, перемещается со столом относительно тубуса.

На рисунке 55 приведены примеры измерения параметров резьбы с помощью инструментального микроскопа. При измерениях наружного, внутреннего и среднего диаметров пунктирную линию совмещают с соответствующим краем детали выступами (рис. 55, а) или впадинами, боковой стороной витка (рис. 55, б), т. е. приводят в положение *I*. Затем, перемещая стол в поперечном направлении, пунктирную линию переводят в положение *II*. Разность показаний микрометрического устройства поперечной подачи в положениях *I* и *II* будет равна измеряемому диаметру. Необходимо отметить, что при измерении среднего диаметра тубус должен быть наклонен на угол подъема резьбы с тем, чтобы оба края профиля резьбы были видны резко.

При измерении шага резьбы (рис. 55, в) пунктирную линию сначала совмещают с одной из сторон профиля резьбы (положение *I*) и записывают показание микрометрического устройства продольной подачи. Затем пунктирную линию совмещают с такой же (левой или правой) стороной следующего витка или с такой же стороной *n*-го витка (положение *II*). Разность показаний микрометрического винта продольной подачи будет равна шагу либо шаг может быть определен делением разности показаний на *n*.

Угол профиля резьбы измеряют отдельно для левой и правой сторон профиля, т. е. определяют $\alpha/2$ (лев) и $\alpha/2$ (прав). Для этого вращением штриховой

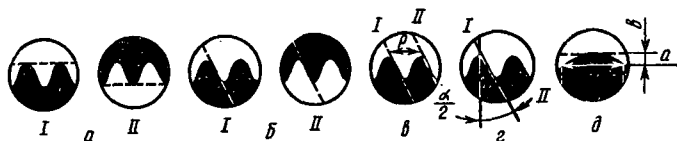


Рис. 55. Примеры измерений инструментальным микроскопом.

стеклянной пластинки окулярной головки пунктирную линию ставят в положение, перпендикулярное оси резьбы, и записывают показание угла на отсчетном микроскопе (рис. 55, з). Затем эту же пунктирную линию совмещают с краем профиля резьбы. Разность показаний будет равна половине угла профиля $\alpha/2$.

С помощью инструментального микроскопа можно также измерять радиусы окружности деталей сложной формы косвенным методом. Для этого измеряют длину хорды a и высоту сегмента b (рис. 55, д). Радиус определяют по формуле

$$R = \frac{b}{2} + \frac{a^2}{8b}. \quad (56)$$

Из приведенных примеров видно, что инструментальные микроскопы можно использовать для измерения деталей сложной формы бесконтактным методом.

§ 44. ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ

Пневматические приборы предназначены для относительных измерений деталей высокой точности. С их помощью контролируют, измеряют и сортируют по размерным группам детали шатунно-поршневой группы, плунжерных пар, гидравлических систем и др.

Преимущества пневматических приборов: большое передаточное отношение, легко регулируемое в широких пределах; возможность измерять легкодеформируемые детали, так как измерение проводится бесконтактным методом; быстрота измерений; возможность работать в режиме измерения и в режиме контроля. К недостаткам этих приборов следует отнести настройку на каждый измеряемый размер, подвод сжатого воздуха, сравнительно большие размеры. Кроме того, инерционность показаний и влияние шероховатости поверхности контролируемой детали снижают точность измерений. Эти свойства и определяют сферу применения приборов в ремонтном производстве: специализированные мастерские и цехи ремонтных заводов, цехи по централизованному восстановлению деталей.

Используют три типа универсальных пневматических измерительных приборов: манометрические приборы низкого (до 50 гПа) давления; ротаметрические

приборы высокого (более 1000 гПа) давления; сильфонные приборы.

Принцип действия приборов низкого давления основан на использовании перепада давления воздуха. Прибор низкого давления (рис. 56) состоит из цилиндрического баллона 1, заполненного водой и сообщающегося с атмосферой, и вставленной в него закрытой в верхней части трубки 2. Через отверстие 3 воздух подается

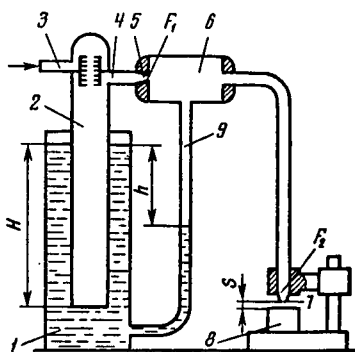


Рис. 56. Схема пневматического прибора низкого давления.

в трубку 2, а через отверстие 4 поступает в измерительную камеру 6. Избыток воздуха свободно выходит из трубки 2 через нижний конец, поэтому внутри трубки поддерживается постоянное давление, определяемое высотой H столба воды в баллоне 1.

Воздух из трубки 2 попадает в камеру 6 через калиброванное отверстие (сопло) 5 с постоянными диаметром d_1 и площадью сечения F_1 , а выходит через сообщающееся с атмосферой измерительное сопло 7 с диаметром d_2 и площадью сечения F_2 . Давление в камере 6, зависящее от соотношения площадей F_1 и F_2 , измеряется водяным манометром 9, выполненным в виде стеклянной трубки с делениями, соединенным с камерой 6 и баллоном 1.

Изменение зазора S между измерительным соплом 7 и измеряемой деталью 8 сразу же приводит к изменению давления в камере 6, а следовательно, к изменению разности давлений h в камере 6 и в баллоне 1. Эта разность давлений приближенно может быть определена по формуле

$$h = \frac{H}{1 + 16 \frac{d_2^2}{d_1^2} S^2}, \quad (57)$$

где d_2 и d_1 — диаметры соответственно измерительного и входного сопла; S — зазор у измерительного сопла.

Поскольку параметры H , d_1 и d_2 постоянны, то измерительное давление зависит только от размера за-

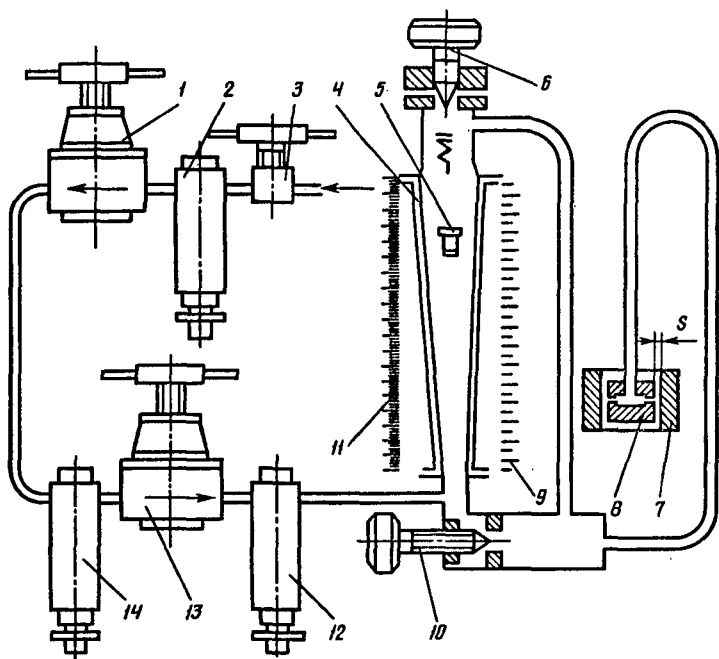


Рис. 57. Схема пневматического прибора высокого давления.

зора. Зависимость $h=f(S)$ называется характеристикой пневматического устройства. Тангенс угла наклона этой кривой характеризует передаточное число, которое может изменяться в пределах 600...10 000. Цена деления прибора от 0,001 до 0,0005 мм.

При использовании приборов такого типа для одновременного измерения нескольких размеров число водяных манометров должно быть равно числу измеряемых размеров.

В приборах высокого давления (рис. 57) основные части — ротаметр, который представляет собой коническую стеклянную трубку 4, укрепленную широким концом вверх, и находящийся внутри нее поплавок 5. Струя воздуха, проходящая снизу, поддерживает поплавок во взвешенном состоянии.

Чем больше зазор между измерительными соплами калибра 8 и поверхностью измеряемой детали 7, тем больше расход воздуха и его скорость в трубке рота-

метра, тем выше поднимается поплавков. Отсчет показаний ведется по шкале 9, закрепленной рядом с трубкой 4, указателем является верхний край поплавка. Для установки прибора на нуль необходима также равномерная шкала 11.

Поскольку точность измерения зависит от постоянства давления воздуха, в схему прибора входят вентиль 3, стабилизатор давления (редуктор) 1, редуктор-фиксатор 13 и отстойник 12. Воздух от пыли и масла очищается фильтрами 2 и 14. Игольчатые вентили 6 и 10 предназначены для установки прибора на нуль и для изменения передаточного отношения в пределах 2000...30 000. Цена деления может изменяться от 0,002 до 0,0002 мм.

Сильфонные приборы, основой которых является сильфон — сосуд с гибкими, растягивающимися стенками, изменяющий свою длину с изменением давления, — применяют как непосредственно для измерения, так и в качестве пневматических датчиков в автоматических устройствах (см. § 46).

§ 45. ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННЫЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ И КОНТРОЛЯ ЛИНЕЙНЫХ РАЗМЕРОВ

Среди электрифицированных приборов наиболее распространены электроконтактные и индуктивные преобразователи-датчики. Электроконтактные датчики в зависимости от числа контактов могут быть одно-, двух- и многопредельными. Наиболее универсален двухпредельный рычажный электроконтактный датчик модели 228. Он предназначен для определения и контроля размеров.

Измерительный стержень 8 (рис. 58) со съемным наконечником 1 перемещается в корпусе 4 и возвращается в исходное положение пружиной 6, создающей измерительное усилие. Гайка 2 микроподачи предназначена для перемещения стержня при настройке датчика. От проворачивания стержень удерживается хомутиком 3, перемещающимся по направляющему штифту 15, параллельному измерительному стержню. Индикатор в верхней части корпуса крепят с помощью винта 9. Измерительный наконечник индикатора упирается в верхний торец измерительного стержня дат-

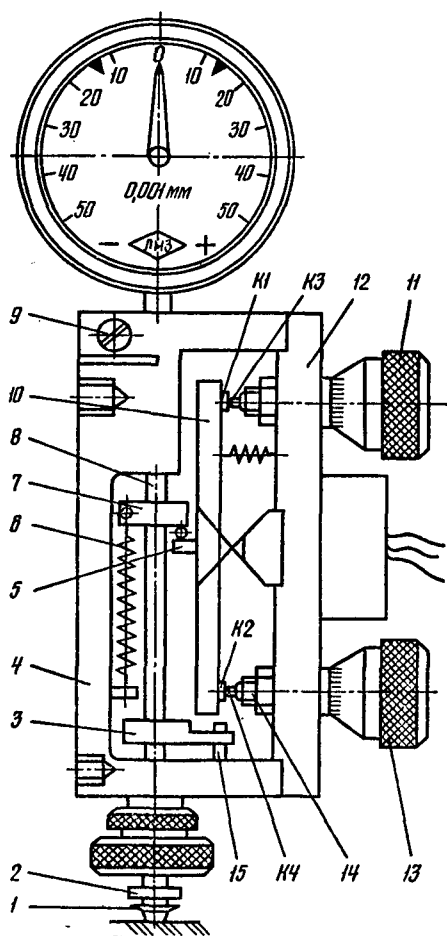


Рис. 58. Электроконтактный датчик модели 228.

чика. Индикатор используют при настройке датчика для внесения поправок на отклонения размеров настроечных образцов от требуемых предельных размеров детали.

Рычаг 10 с электроконтактами K1 и K2 при помощи крестообразной пружины крепятся к планке 12, изготовленной из диэлектрического материала. В эту же планку ввернуты винты 14, контакты которых K3 и K4

расположены против контактов рычага 10. С наружной стороны на винтах 14 установлены микрометрические барабаны 11 и 13 с ценой деления 0,002 мм, предназначенные для поднастройки датчика.

Перемещение измерительного стержня 8 хомутиком 7 с пластинкой из твердого сплава передается на корундовый штифт 5, являющийся малым плечом рычага 10, вызывает угловое отклонение этого рычага и замыкание или размыкание контактов.

Для повышения надежности прибора контакты выполнены из сплавов повышенной электроэрозионной стойкости. Сила тока от 0,1 до 0,2 мА, напряжение от 8 до 12 В. Сигналы от датчика усиливаются электронным реле модели 238.

Электроконтактный датчик настраивают по концевым мерам или специальным калибром, вращая гайки 2 микроподачи измерительного стержня 8, и через барабаны 11 и 13 микрометрической подачи винтов 14 с контактами КЗ и К4. Погрешность срабатывания электроконтактных датчиков $\pm (0,5...1)$ мкм.

Принцип действия контактного безрычажного дифференциального индуктивного прибора с малым ходом можно уяснить из схемы рисунка 59. При перемещении измерительного стержня 2 в зависимости от размеров контролируемой детали 1 перемещается закрепленный на нем якорь 5, расположенный между магнито-

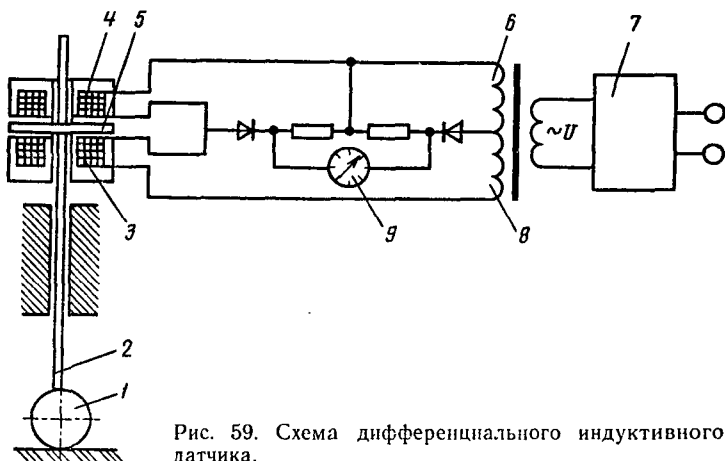


Рис. 59. Схема дифференциального индуктивного датчика.

проводами индуктивных катушек 3 и 4. Изменение зазоров между катушками и якорем вызывает увеличение индуктивного сопротивления в одной из них и уменьшение — в другой. При нарушении равновесия моста, образованного катушками 3 и 4 и резисторами 6 и 8, появляется ток, сила которого фиксируется отсчетным прибором 9, включенным в диагональ моста через фазочувствительный выпрямитель. Прибор получает питание от стабилизированного генератора 7 звуковой частоты.

Транзисторные индуктивные приборы моделей 207, 212 и 214 с ценой деления 0,02; 0,05; 0,2; 0,5; 2 мкм, а также с цифровыми устройствами, имеющими три регулируемых предела измерения с ценой деления 0,005; 0,05; 0,5 мкм, выпускают серийно. Кроме того, имеется большое число конструкций датчиков, используемых с электрическими преобразователями линейных перемещений других типов: емкостными, электронными, потенциометрическими, фоторезисторными и др. Электрические датчики широко применяют в многомерных измерительных приспособлениях и системах автоматического контроля, а также в приборах активного контроля.

§ 46. АВТОМАТИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ

Автоматические средства контроля выполняют в виде контрольно-сортировочных автоматов и полуавтоматов, в которых используются механические, электрические и пневматические датчики. В автоматах все операции по загрузке, транспортированию, ориентированию, контролю, сортировке осуществляются автоматически, в полуавтоматах часть операций выполняют вручную.

Примером чисто механического устройства может служить контрольно-сортировочный автомат с клиновидным калибром, показанный на рисунке 60. Контролируемые шарики из бункера 1 попадают на две линейки 3, образующие расширяющуюся щель.

Шарик под действием силы тяжести катится по линейкам до того места, где щель между линейками равна его диаметру; там он проваливается, попадая в один из пяти отсеков 2. В течение часа автомат может рассортировать по размерам на пять групп

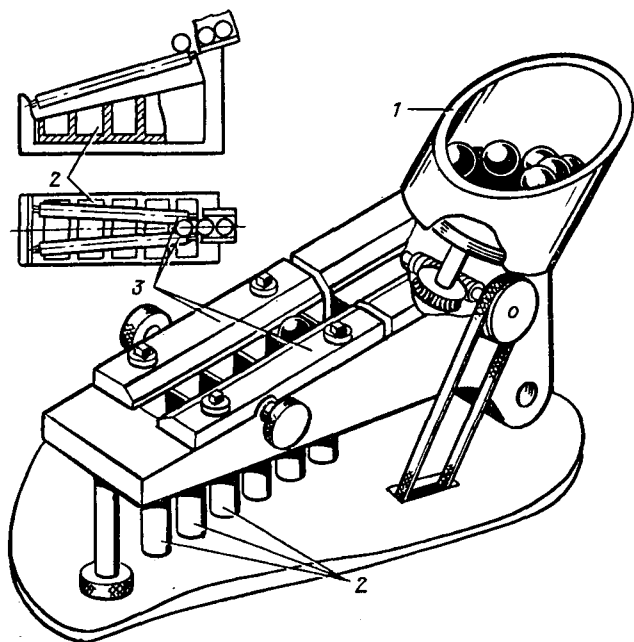


Рис. 60. Контрольно-сортировочный автомат.

9 тыс. шариков. Допуск на размер в пределах группы можно регулировать от 2 до 5 мкм.

Схема автомата с электроконтактным датчиком показана на рисунке 61. Контролируемая деталь 1 из бункера 3 подается толкателем 2 под измерительный стержень электроконтактного датчика 4. Через некоторое время, необходимое для измерения, включается реле 5.

Если размер детали меньше допустимого, нижний контакт замкнут, электромагнит 7 отпускает якорь и заслонка 8 под действием пружины 6 поднимается, как показано на рисунке. Деталь попадает в отсек, предназначенный для деталей, размер которых меньше допустимого (для валов — неисправимый брак). При этом зажигается сигнальная лампочка, обозначенная знаком минус. Если размер детали больше допустимого, то замыкается верхний контакт, срабаты-

вает электромагнит 9, поднимается заслонка 10 первого отсека и зажигается лампочка, обозначенная знаком плюс.

Если размер детали находится в пределах допуска, оба контакта остаются разомкнутыми, оба электромагнита удерживают заслонки в закрытом положении и деталь попадает в постоянно открытый отсек для годных деталей. В этом случае зажигается сигнальная лампочка, обозначенная буквой Г.

Пневматические датчики в автоматических устройствах можно использовать при наличии элементов пневмоавтоматики в исполнительных органах автоматических средств контроля. Если же исполнительные органы приводятся в действие электрическим током, то применяют один из типов пневмоэлектроконтактных датчиков.

Принцип их действия можно проиллюстрировать на примере дифференциального пневмоэлектроконтактного сильфонного преобразователя, схема которого показана на рисунке 62. Воздух из магистрали под давлением P попадает в камеру 4, откуда через

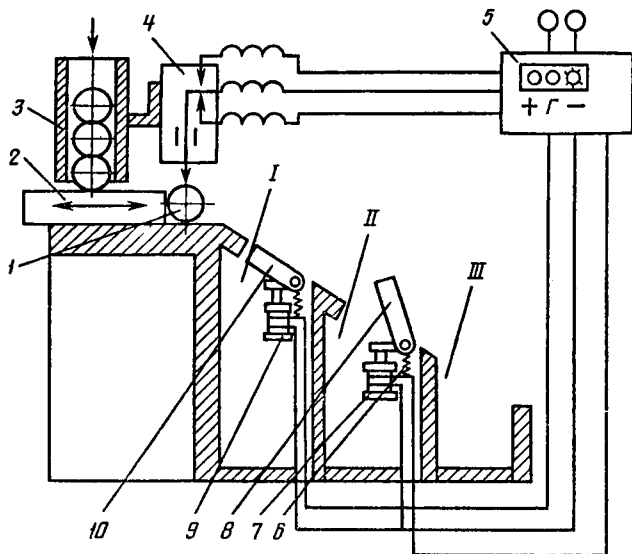


Рис. 61. Автомат с электроконтактным датчиком:

I — исправимый брак; *II* — неисправимый брак; *III* — годные детали.

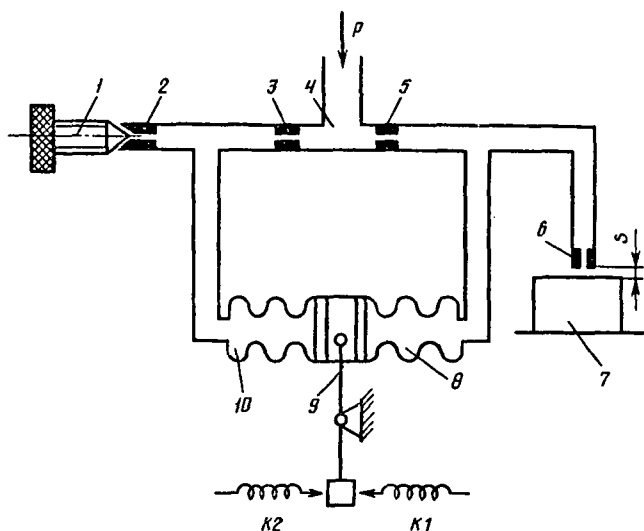


Рис. 62. Дифференциальный пневмоэлектроконтактный сифонный преобразователь.

калиброванные отверстия 3 и 5 поступает в левую 10 и правую 8 камеры сиффона. Левая камера соединяется с атмосферой через измерительное сопло 6. При увеличении зазора S между соплом 6 и контролируемой деталью 7 давление в камере 8 падает и рычаг 9 замыкает контакт $K2$. При уменьшении зазора S давление в камере 8 увеличивается и рычаг 9 замыкает контакт $K1$.

Контролирующие и контрольно-сортировочные автоматы и полуавтоматы целесообразно использовать для изготавливаемых или восстанавливаемых деталей простой конфигурации, требующих 100%-ного контроля или сортировки на размерные группы.

§ 47. СРЕДСТВА АКТИВНОГО КОНТРОЛЯ

Все рассмотренные ранее средства измерения и контроля только фиксируют результат размерной обработки детали и не влияют на сам технологический процесс. В то же время появление брака, особенно на конечных операциях (шлифовальных, хонинговальных), приводит к большим убыткам, так как на из-

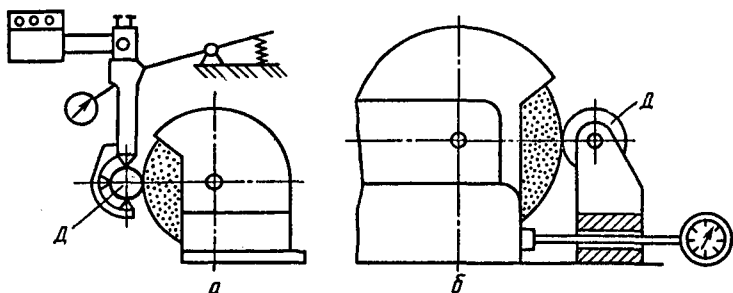


Рис. 63. Средства активного контроля:
а — прямым методом; *б* — косвенным методом.

готовление таких сложных деталей, как блок цилиндров или коленчатый вал, уже затрачено много труда и средств. Чтобы избежать брака, на шлифовальных и хонинговальных станках используют устройства для контроля размеров деталей в процессе их обработки.

Размеры деталей в процессе обработки можно контролировать прямым и косвенным методами. На рисунке 63, *а* показано механическое трехконтактное устройство, позволяющее измерять размер детали *Д* прямым методом. Прибор показывает значение фактического размера между двумя (верхним и нижним) скользящими контактами, являющимися измерительными поверхностями. Боковой контакт настраивают таким образом, чтобы измерение проводилось строго по диаметру. При косвенном методе контролируется не размер непосредственно, а перемещение какой-либо части станка, связанной с режущим инструментом (рис. 63, *б*).

В процессе обработки по шкале прибора определяют, укладывается ли размер детали в поле допуска, и по мере необходимости вручную поднастраивают станок. Если шкальный прибор заменить, например электроиндуктивным датчиком, то можно вести обработку в автоматическом режиме; как только размер достигнет границы поля допуска, станок автоматически выключится.

Для автоматической подналадки станка в процессе обработки по данным активного контроля используют более сложные устройства.

§ 48. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ОТКЛОНЕНИЙ ФОРМЫ И РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Для контроля отклонений формы и расположения поверхностей в большинстве случаев применяют обычные универсальные средства, используя в качестве базы измерения измерительные призмы, центры и поверочные плиты. Так, если овальность шейки вала можно определить, измерив диаметр с помощью, например микрометра в двух взаимно перпендикулярных плоскостях, то огранку с нечетным числом граней можно найти только с помощью индикатора со стойкой, поместив деталь в призму (рис. 64). Разность показаний индикатора будет равна удвоенному значению огранки (2Δ).

Конусообразность, бочкообразность, седлообразность (корсетность) определяют измерением диаметров детали в нескольких сечениях, а изогнутость — с помощью индикатора со стойкой, при этом деталь устанавливают в центрах или на призмах и поворачивают вручную (рис. 65). Таким образом дифференцированно находят отклонения от цилиндрической формы. Пока не существует прибора, определяющего комплексный показатель — отклонение от цилиндричности.

Отклонения плоских поверхностей контролируют, используя поверочные линейки и плиты. Обычно отклонение от плоскостности проверяют методом «на краску». Количественной оценкой плоскостности служит число пятен на единицу площади (как правило, квадрат 25×25 мм).

Радиальное и торцевое биение легко измерить индикатором, если деталь установлена в центрах (когда базой отсчета биения указана ось детали), или в призмах (когда надо найти биение одной цилиндрической поверхности относительно другой), как показано на рисунке 66.

Отклонение от соосности отверстий наиболее просто и надежно можно проконтролировать специальным проходным калибром (рис. 67). Его можно определить и универсальными средствами, разработав методику измерения, соответствующую форме детали и ее измерительным базам.

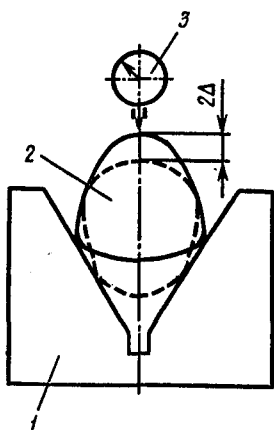


Рис. 64. Измерение огранки:
1 — призма; 2 — деталь; 3 — индикатор.

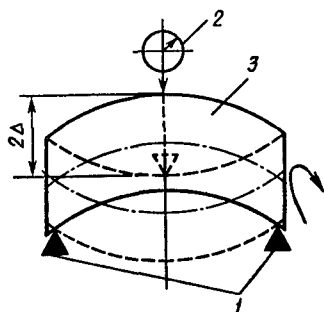


Рис. 65. Контроль изогнутости:
1 — опоры; 2 — индикатор; 3 — деталь.

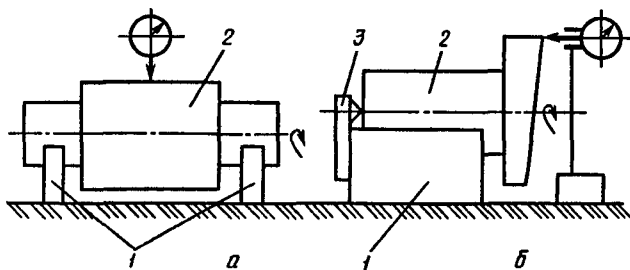


Рис. 66. Контроль радиального (а) и торцового (б) биения:
1 — призма; 2 — деталь; 3 — упор.

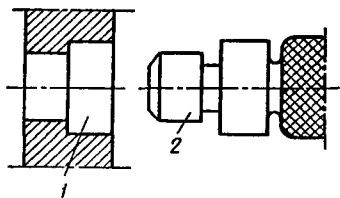


Рис. 67. Применение калибра для контроля отклонения от соосности.

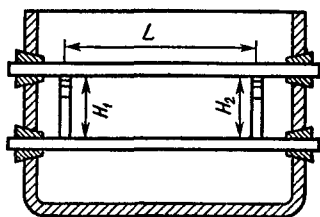


Рис. 68. Способ определения отклонения от параллельности осей.

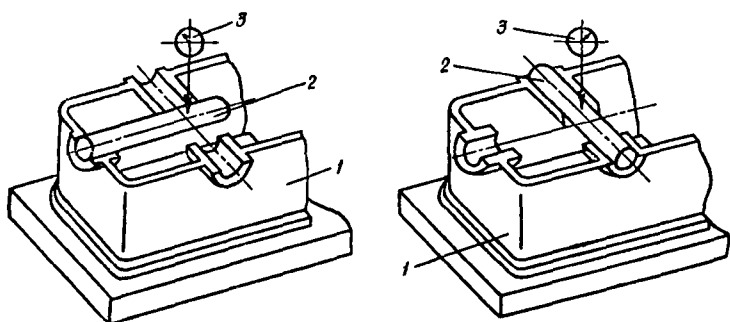


Рис. 69. Контроль отклонения от пересечения осей.

Отклонение от параллельности осей чаще всего контролируют с помощью двух измерительных скалок, установленных в отверстия с помощью центрирующих конусов (рис. 68). Разность расстояний H_1 и H_2 между скалками на установленной длине L показывает значение отклонения. Отклонение от пересечения осей также можно определять с помощью измерительных скалок и индикатора со стойкой (рис. 69).

Отклонение от параллельности плоскостей определяют на плите индикатором со стойкой как разность показаний индикатора на заданной длине L (рис. 70).

Отклонение от перпендикулярности плоскостей контролируют также на поверочной плите индикатором, но с применением угольника или призмы с поверхностью, перпендикулярной поверхности поверочной плиты.

Более производительны и надежны для контроля отклонений расположения поверхностей специальные калибры, форма и конструкция которых определяются формой детали и видом контролируемого отклонения (рис. 71). Калибры целесообразно применять в специализированных ремонтных предприятиях при достаточно большой программе.

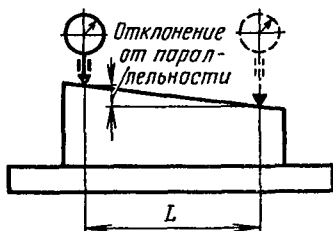


Рис. 70. Контроль отклонения от параллельности плоскостей.

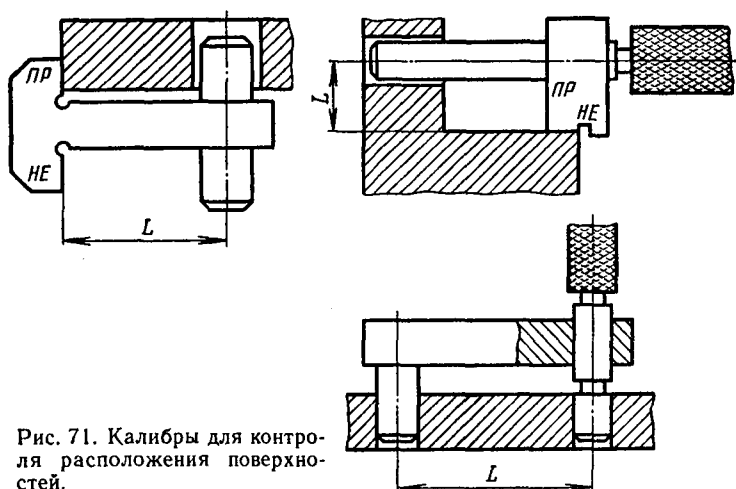


Рис. 71. Калибры для контроля расположения поверхностей.

§ 49. СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ

Существующие средства измерения шероховатости или очень ненадежны и имеют большую погрешность, или достаточно сложны и используются только в лабораториях.

В производственных условиях для ориентировочной оценки шероховатости используют образцы шероховатости, которые визуально сравнивают с поверхностью детали. Сравнивать необходимо образцы, изготовленные тем же способом обработки, что и деталь, так как поверхности, имеющие одинаковую высоту шероховатости, но полученные разными способами (например, шлифованием и тонким точением), визуально отличаются одна от другой.

Шероховатость поверхностей с небольшими неровностями можно измерять или непосредственно на детали в лаборатории, или методом реплик (отпечатков), полученных с поверхности детали и затем измеренных в лаборатории.

В лабораторных условиях для измерения шероховатости используют двойной микроскоп Линника

МИС-11 (рис. 72). Из осветительного микроскопа 1 под углом 45° к поверхности детали 5 через узкую щель 3 и объектив 4 падает пучок света. Линия пересечения световой полосы с поверхностью детали не является ровной, а копирует неровности поверхности в данном сечении. В увеличенном через объектив 6 и окуляр 7 виде размер неровностей определяют визуально с помощью окулярного микрометра 2 или фотонасадки.

При помощи четырех сменных микрообъективов изображение можно увеличивать от 87 до $517\times$, погрешность измерения при этом колеблется от 7,5 до 24%. Существенный недостаток двойного микроскопа — небольшое поле зрения, поэтому шероховатость измеряется не на всей базовой длине, а только на ее участках.

Профилографы-профилометры блочной конструкции — наиболее совершенные приборы для измерения шероховатости. Прибор состоит из унифицированных

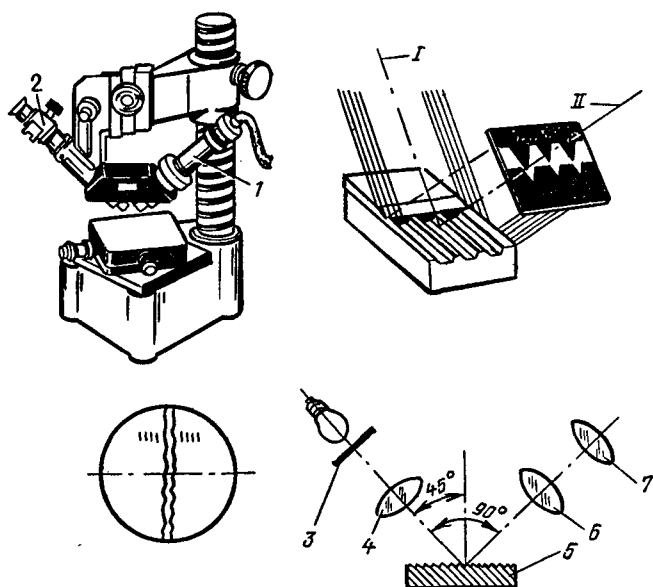


Рис. 72. Двойной микроскоп Линника МИС-11.

I — направление светового пучка; II — направление визирования.

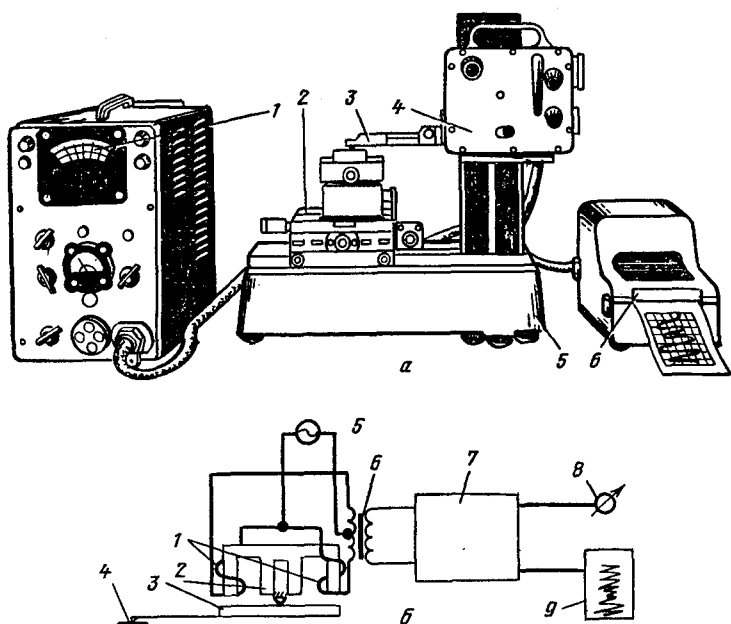


Рис. 73. Профилограф-профилометр блочной конструкции.

блоков (рис. 73, а): стойки с кареткой 5, универсального столика 2, датчика 3 (на коромысле которого закреплена алмазная игла), мотопривода 4, электронного блока с показывающим прибором 1 и записывающего прибора 6. При перемещении ощупывающей иглы по поверхности детали ее колебания преобразуются в изменения напряжения электрического тока индуктивным методом. Малая сила давления иглы на поверхность измеряемой детали позволяет измерять шероховатость без повреждения поверхности деталей из цветных металлов, пластмасс и других неметаллических материалов. Это качество прибора позволяет широко применять метод реплик (отпечатков) для измерения шероховатости поверхности в труднодоступных местах.

В магнитную систему датчика входят сдвоенный Ш-образный сердечник 2 (рис. 73, б) с двумя катушками 1 и пластина коромысла 3, соединенная с ощупывающей иглой 4. Катушки 1 датчика и две половины

первичной обмотки дифференциального входного трансформатора 6 образуют балансный мост, который питается от генератора звуковой частоты 5. Колебания иглы, перемещающейся по измеряемой поверхности, приводят к колебаниям пластины коромысла относительно сердечника, что изменяет воздушный зазор между катушками датчика и пластиной коромысла. При этом изменяется напряжение на выходе дифференциального трансформатора, которое усиливается электронным блоком 7 и подается или на показывающий прибор 8, или на записывающий 9.

Показывающий прибор оценивает шероховатость по параметру R_a при базовой длине от 0,08 до 2,5 мм. По профилограммам могут быть определены все параметры шероховатости, предусмотренные стандартом, хотя это требует больших затрат времени на их обработку. При записи профилограмм горизонтальное увеличение может быть до 4 тыс., а вертикальное увеличение — до 200 тыс. раз. Погрешность измерения не превышает $\pm 10\%$.

Кроме перечисленных, существуют самые разнообразные конструкции механических, оптических, электрических средств измерения шероховатости, но ввиду сложности пользования ими, малой надежности и очень больших погрешностей при измерении широкого распространения они не получили.

Глава 10. ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ, МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ ГЛАДКИХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

Гладкие цилиндрические соединения по назначению можно подразделить на три следующие типа:

п о д в и ж н ы е — со свободным взаимным перемещением деталей, обеспечиваемым гарантированным зазором;

н е п о д в и ж н ы е — в процессе работы которых отверстие и вал относительно не перемещаются, что обеспечивается гарантированным натягом или применением еще и дополнительных деталей (шпонок, стопорных винтов и т. д.);

п е р е х о д н ы е — в которых центрирование деталей обеспечивается наличием небольших зазоров или натягов, а взаимные перемещения предотвращаются применением дополнительных деталей.

В соответствии с этим необходимо иметь посадки с гарантированным зазором, с гарантированным натягом и переходные.

Чтобы обеспечить минимально необходимое число посадок в соответствии с эксплуатационными требованиями, разрабатываются системы допусков и посадок.

Системой допусков и посадок называется закономерно построенная совокупность допусков и посадок, оформленная в виде стандартов. Использование стандартных допусков и посадок обеспечивает взаимозаменяемость деталей и делает возможной стандартизацию режущего и измерительного инструмента. В нашей стране действует Единая система допусков и посадок стран — членов СЭВ (ЕСДП СЭВ), разработанная в строгом соответствии с рекомендациями международной организации по стандартизации ИСО и оформленная в виде стандартов ГОСТ 25346—82 (СТ СЭВ 145—75) и ГОСТ 25347—82 (СТ СЭВ 144—75).

§ 50. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ЕДИНОЙ СИСТЕМЫ ДОПУСКОВ И ПОСАДОК (ЕСДП)

Стандартами системы установлены допуски и посадки для диаметров до 3150 мм. Однако абсолютное большинство соединений в тракторах, автомобилях, сельскохозяйственных и гидромелиоративных машинах имеет размеры до 500 мм. Поэтому более подробно целесообразно рассмотреть систему допусков и посадок для этого интервала размеров.

Единая система допусков и посадок характеризуется следующими признаками.

Основание системы. Стандартами установлены две равноправные системы посадок: система отверстия и система вала.

Посадки в системе отверстия — посадки, в которых различные зазоры и натяги получаются соединением различных валов с основным отверстием (рис. 74, *а*). Основное отверстие имеет нижнее отклонение, равное нулю.

Посадки в системе вала — посадки, в которых различные зазоры и натяги получаются соединением различных отверстий с основным валом (рис. 74, *б*). Основной вал имеет верхнее отклонение, равное нулю.

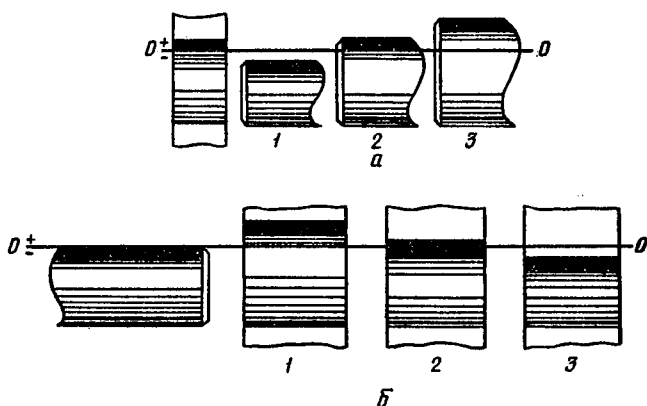


Рис. 74. Различные посадки:

а — в системе отверстия; *б* — в системе вала; 1, 2 и 3 — посадки соответственно с зазором, переходная, с натягом.

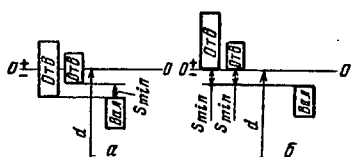


Рис. 75. Симметричное (а) и асимметричное (б) расположение поля допуска основной детали

нижнее отклонение отверстия всегда будет равно нулю ($EI = 0$), а если допуски заданы в системе вала, то верхнее отклонение вала всегда будет равно нулю ($es = 0$) независимо от посадки.

Одностороннее расположение полей допусков основной детали имеет ряд преимуществ по сравнению с симметричным расположением, принятым в некоторых странах. Главное преимущество заключается в использовании в одном соединении вала и отверстия разной точности изготовления. При этом характер соединения деталей остается без изменения. Симметричное же расположение поля допуска основной детали при использовании в одном соединении вала и отверстия разной точности приводит к искажению посадки, т. е. к значительному изменению зазоров или натягов (рис. 75).

Единица допуска. Производственный опыт показывает, что при прочих равных условиях с увеличением диаметра сложнее достигнуть заданную точность изготовления. Другими словами, погрешности обработки возрастают с увеличением диаметра. Это было известно давно, однако потребовались специальные исследования, чтобы установить зависимость между диаметром обрабатываемой детали и погрешностями размеров при различных видах обработки. Для этого на ряде одинаковых и полностью исправных станков обрабатывали большие партии деталей под один заранее заданный размер. Затем детали измеряли, определяли среднее квадратическое отклонение и находили поле рассеяния размеров V . По экспериментальным данным были построены кривые (рис. 76), объективно характеризующие зависимость погрешностей обработки от диаметра d на существующем оборудовании. Анализ полученных зависимостей 1, 2,

Расположение поля допусков основной детали. В ЕСДП принято одностороннее предельное расположение поля допусков основной детали относительно номинального размера соединения. Поэтому, если допуски заданы в системе отверстия, то ниж-

3, 4 показал, что поля рассеяния различны для разных способов обработки. Например, для одного и того же диаметра поле рассеяния при тонкой обточке будет значительно больше, чем при тонком шлифовании. Однако для всех способов обработки характер кривых, а следовательно, и зависимость поля рассеяния от диаметра подчиняются определенной закономерности, которая аналитически выражается следующим образом:

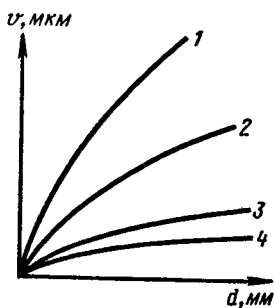


Рис. 76. Зависимость поля рассеяния от диаметра обрабатываемой детали.

$$V = C\sqrt[x]{d}, \quad (58)$$

причем величина x изменяется в пределах 2,5...3,5, а коэффициент C для шлифованных валов приблизительно равен 0,0005.

Эти данные легли в основу построения единой системы допусков и посадок, где зависимость допуска от диаметра выражается так называемой единицей допуска, мкм,

$$i = 0,45\sqrt[3]{d_{cp}} + 0,001d_{cp}, \quad (59)$$

где d_{cp} — среднее геометрическое граничных значений диаметра, мм, в интервале, определяемое по формуле

$$d_{cp} = \sqrt{d_{max} d_{min}}. \quad (60)$$

Линейный член в формуле единицы допуска учитывает влияние погрешностей измерения и температурных погрешностей.

Единицу допуска используют как сравнительный масштаб, характеризующий сложность изготовления детали в зависимости от ее диаметра.

Интервалы диаметров. Так как зависимость между допуском и диаметром установлена, казалось бы, можно определить допуск для любого диаметра или по крайней мере для любого из нормальных диаметров в диапазоне от 1 до 500 мм. Однако в этом нет необходимости. При небольших отклонениях номинальных размеров допуски на них будут отличаться незначительно. Технологическая трудность изготовления деталей в определенном диапазоне диаметров

будет одинаковой, причем этот диапазон тем меньше, чем меньше сами размеры. С увеличением размеров расширяется и диапазон. Поэтому единая система допусков и посадок предусматривает 13 интервалов размеров (диаметров) от 1 до 500 мм, в пределах которых значение единицы допуска, а следовательно, и значения допусков устанавливаются постоянными (табл. 12).

12. Значения единицы допуска для разных интервалов размеров

Интервал размеров, мм	Единица допуска, мкм

От 1 до 3	0,63
Свыше 3 до 6	0,83
6 » 10	1,00
10 » 18	1,21
18 » 30	1,44
30 » 50	1,71
50 » 80	1,90
80 » 120	2,20
120 » 180	2,50
180 » 250	2,90
250 » 315	3,38
315 » 400	3,60
400 » 500	4,00

13. Значения числа единиц допуска для квалитетов IT5...IT17

Квалитет	Число единиц допуска

IT5	7
IT6	10
IT7	16
IT8	25
IT9	40
IT10	64
IT11	100
IT12	160
IT13	250
IT14	400
IT15	640
IT16	1000
IT17	1600

Из таблицы видно, что интервалы растут вместе с размерами, составляя приблизительно геометрическую прогрессию со знаменателем 1,5.

Для номинальных размеров свыше 10 мм введены промежуточные интервалы, которые делят основной интервал на два или три. Их используют для определения предельных отклонений, которые с номинальным размером связаны относительно крутой зависимостью, т. е. даже при небольшом изменении номинального размера наблюдаются значительные изменения основного отклонения.

Ряды допусков (квалитеты). Допуски ЕСПД стандартизованы в виде 19 рядов, называемых квалитетами.

К в а л и т е т — это совокупность допусков, изменяющихся в зависимости от номинального размера

так, что уровень точности для всех номинальных размеров остается одинаковым.

Таким образом, квалитет характеризует сложность получения размера независимо от диаметра. Обозначаются квалитеты таким образом: $IT01$, $IT0$, $IT1$, $IT2$, $IT3$, ..., $IT16$, $IT17$. Значение допуска в каждом из квалитетов характеризуется постоянным числом единиц допуска a , называемым коэффициентом точности, и определяется по формуле

$$IT = ai. \quad (61)$$

Значения числа единиц допуска для квалитетов с $IT5$ по $IT17$ приведены в таблице 13.

Из таблицы видно, что число единиц допуска, a значит, и допуски увеличиваются при переходе от одного квалитета к другому по геометрической прогрессии со знаменателем 1,6. Через каждые пять квалитетов, начиная с $IT6$, допуски увеличиваются в 10 раз; таким образом можно получить значения допусков более грубых квалитетов:

$$IT17 = 10IT12 = 1600;$$

$$IT18 = 10IT13 = 2500;$$

$$IT19 = 10IT14 = 4000.$$

Такая система построения рядов допусков позволяет по известным номинальному размеру и допуску определить квалитеты, а следовательно, и сложность получения размера в заданном допуске.

Например, шейку коленчатого вала шлифуют под размер $85^{+0.012}_{-0.034}$ мм. Допуск составляет 22 мкм, а единица допуска для диаметра 85 равна 2,2.

Определяем число единиц допуска

$$a = IT/i = 22/2,2 = 10,$$

что соответствует квалитету $IT6$.

Квалитеты включают допуски, назначаемые на соединяемые и несоединяемые размеры, допуски калибров. Строгого разграничения областей применения различных квалитетов нет, но преимущественно используют квалитеты:

для концевых мер длины — $IT01...IT1$;

для калибров и особо точных изделий — $IT2...IT5$;

для соединяемых размеров — *IT6...IT12*;
 для несоединяемых размеров — *IT13...IT17*.

Каждый квалитет может быть достигнут различными способами обработки, но из них назначают обычно экономические технологические процессы, при которых себестоимость изготовления наименьшая. В машиностроении для окончательной обработки наиболее распространены квалитеты *IT6* и *IT7*.

Методы обработки, обеспечивающие получение различных квалитетов при средней экономической точности, приведены в таблице 14.

14. Методы обработки, обеспечивающие получение различных квалитетов при средней экономической точности

Квалитеты		Методы обработки (в скобках указаны возможные пределы колебания достижимых квалитетов)
вала	отверстия	
4...5	5...6	Шлифование круглое, тонкое; полирование тонкое; притирка тонкая; хонингование цилиндров (6, 7); суперфиниширование; анодно-механическое шлифование притирочное (5, 6)
6...7	7...8	Обтачивание или растачивание тонкое (алмазное), чистовое (6...9); развертывание чистовое, тонкое (6, 7); протягивание чистовое, отделочное; шлифование круглое чистовое; шлифование плоское чистовое, тонкое; прошивание чистовое (7...9); калибрование отверстий шариком или оправкой после растачивания или развертывания; обкатывание или раскатывание роликами или шариками (6...9); полирование обычное; хонингование плоскостей, лаппингование предварительное и среднее; анодно-механическое шлифование черновое (6...9), чистовое; электрополирование декоративное (6...9); электромеханическое точение обычное (6...9), чистовое; электромеханическое сглаживание
8...9	9	Строгание тонкое; фрезерование тонкое; обтачивание поперечной подачей тонкое (8...11); развертывание получистовое (9, 10, для чугуна 8); протягивание получистовое; шабрение тонкое; слесарная опиловка (9...11); шлифование круглое-получистовое (8...11); калибрование отверстий шариком или оправкой после сверления

Квалитеты		Методы обработки (в скобках указаны возможные пределы колебания достижимых квалитетов)
вала	отверстия	
10	10	Зенкерование чистовое (10, 11) [см. также методы обработки для 9-го квалитета (возможные пределы колебания квалитетов)]
11	11	Строгание чистовое (11...13), фрезерование скоростное чистовое (11...13); обтачивание поперечной передачей чистовое (11...13); обтачивание скоростное; подрезка торцов (11...13); сверление по кондуктору (11...13); шабрение грубое; литье по выплавляемым моделям — мелкие детали из черных металлов (11...13)
12	13	Строгание черновое (12...14); долбление чистовое; фрезерование черновое (12...14); фрезерование скоростное (12...14); обтачивание продольной подачей получистовое (12...14); сверление без кондуктора (12...14); рассверливание (12...14); зенкерование черновое, растачивание получистовое (12...14); литье в оболочковые формы — детали из черных металлов (12...14)
14...17		Автоматическая газовая резка (15...17); отрезка ножницами и пилами (15...17); отрезка резцом и фрезой (14...16); долбление черновое (14, 15); обтачивание продольной подачей обдирочное (15...17); обтачивание поперечной подачей обдирочное (16, 17), получистовое (14, 15); растачивание черновое (15...17); литье в песчаные формы — черные металлы (14...16); литье в песчаные формы (большие допуски) — цветные сплавы (16, 17); литье в кокиль — черные металлы (14...16); центробежное литье (15); горячаяковка в штампах (14...17)

Ряды основных отклонений. Положение поля допуска относительно нулевой линии определяется основным отклонением, т. е. ближайшим к нулевой линии, соответствующей номинальному размеру. ЕСТД установлены 28 основных отклонений для отверстий и валов, каждое из которых обозначается одной или двумя латинскими буквами: прописной — для отверстий и строчной — для валов.

На рисунке 77 показано схематично положение допусков, определяемое основными отклонениями. Вто-

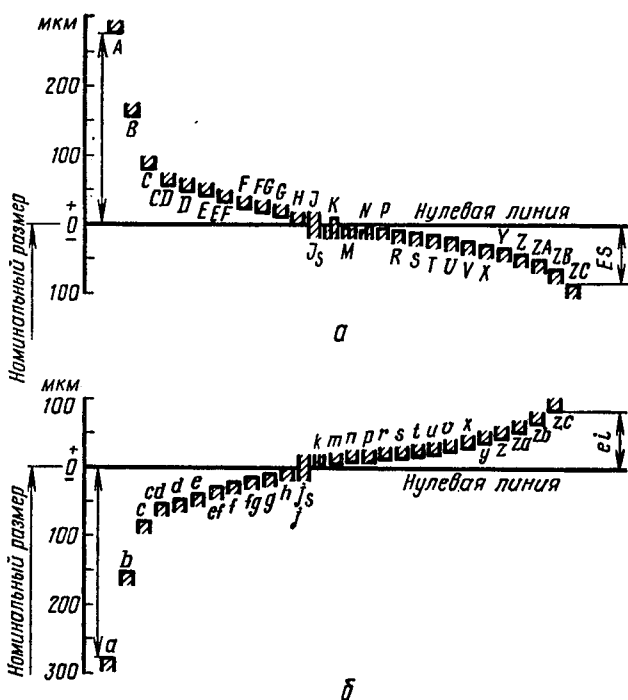


Рис. 77. Основные отклонения отверстий (а) и валов (б) в системе ИСО.

рое отклонение зависит от значения поля допуска, его вычисляют по формулам.

Если основное отклонение верхнее, то нижнее равно:

$$\text{для отверстия } EI = ES - IT;$$

$$\text{для вала } ei = es - IT.$$

Если основное отклонение нижнее, то верхнее равно:

$$\text{для отверстия } ES = EI + IT;$$

$$\text{для вала } es = ei + IT.$$

Буквой H обозначается нижнее отклонение отверстия, равное нулю, а буквой h — верхнее отклонение вала, равное нулю. Следовательно, основное отверстие в системе отверстия обозначается H , а основной вал в системе вала — h .

Основные отклонения отверстий равны, как прави-

ло, по значению и противоположны по знаку одноименным основным отклонениям валов, т. е. симметричны относительно нулевой линии. Это позволяет получать одинаковые посадки в системе отверстия и в системе вала.

Отклонения от A до H (от a до h) предназначены для образования полей допусков в посадках с зазорами: от J до N (от j до n) — в переходных посадках; от P до ZC (от p до zc) — в посадках с натягами.

Для отверстий и валов, обозначенных буквами J_s и j_s , поле допуска располагается строго симметрично относительно нулевой линии и предельные отклонения равны по значению и противоположны по знаку:

$$ES(es) = +IT/2; \quad EI(ei) = -IT/2.$$

Принципиально допускаются любые сочетания полей допусков отверстия и вала любых квалитетов, что позволяет иметь огромный набор различных посадок, в чем нет необходимости.

В ГОСТ 25347—82 установлен основной набор полей допусков как сочетания некоторых основных отклонений и квалитетов, включающий 72 поля допусков отверстий и 80 полей допусков вала. Дополнительный набор из 34 полей допусков вала и 32 полей допусков отверстий, который дается в приложении, является непредпочтительным. Его можно применять только в технически и экономически обоснованных случаях.

Но и основной набор дает значительно больше полей допусков, чем практически используется. Поэтому в ГОСТ 25347—82 из основного отбора полей допусков выделен более узкий ряд для предпочтительного использования (они указаны в таблицах буквенным обозначением, заключенным в рамку), позволяющий в наибольшей степени унифицировать изделия и технологическую оснастку.

Разрешается применять любое поле допуска из основного или дополнительного отбора. Однако, чтобы предотвратить необоснованное многообразие в допусках и посадках и повысить экономические показатели

ли, установлен следующий порядок выбора полей допусков:

в первую очередь следует применять предпочтительные поля допусков;

если невозможно обеспечить конструктивные и технологические требования за счет предпочтительных полей допусков, следует использовать поля допусков из основного отбора;

в некоторых технически обоснованных случаях, если при использовании полей допусков основного отбора не обеспечиваются требования, предъявляемые к изделиям, допускается применять дополнительные поля допусков.

Такая очередность исходит из того, что в специализированном производстве размерных инструментов и калибров в первую очередь будут применяться предпочтительные поля допусков, а дополнительные, как правило, использовать не будут. Поля допусков, не предусмотренные стандартом, считаются специальными. Их допускается применять лишь в технически и экономически обоснованных случаях. Основанием для использования специальных полей допусков, в частности, могут быть другие стандарты для соответствующих видов продукции (например, подшипники качения), материалов (например, изделия из пластмасс) или способов обработки. В качестве специальных по возможности следует применять поля допусков, которые могут быть получены из основных отклонений и допусков по ГОСТ 25346—82 (см. приложения II и III).

Поля допусков валов и отверстий основного набора приведены в приложениях IV и V. Посадки рекомендуется назначать в системе отверстия или системы вала.

Температурный режим. Система допусков и посадок разработана, исходя из условий, что детали будут контролировать при определенной температуре. ЕСПИ СЭВ установлено, что температура контролируемой детали и средств измерения должна быть одинаковой, равной 20°C.

Особенно важно соблюдать температурный режим при контроле калибров, переаттестации универсальных средств измерения, измерениях больших диаметров и в случаях, когда материал детали и мате-

риал, из которого изготовлен измерительный инструмент, имеют значительно отличающиеся один от другого коэффициенты линейного расширения. Поэтому в лабораториях температура должна поддерживаться на уровне $20 \pm 2^\circ\text{C}$. В условиях цеха, где поддерживать постоянную температуру сложнее, при проведении точных измерений следует вычислять поправку:

$$\Delta l = l(\alpha_1 \Delta t_1 - \alpha_2 \Delta t_2),$$

где l — измеряемый размер; α_1 — коэффициент линейного расширения материала детали; α_2 — коэффициент линейного расширения материала измерительного средства; $\Delta t_1 = 20^\circ\text{C} - t_1$ — разность между нормальной температурой и температурой детали; $\Delta t_2 = 20^\circ\text{C} - t_2$ — разность между нормальной температурой и температурой средства измерения.

§ 51. ОБОЗНАЧЕНИЕ НА ЧЕРТЕЖАХ ПОСАДОК, КВАЛИТЕТОВ И ПРЕДЕЛЬНЫХ ОТКЛОНЕНИЙ

Положение поля допуска относительно нулевой линии и его значение зависят соответственно от основного отклонения и качества. Условное обозначение поля допуска образуется сочетанием латинской буквы (или двух букв) — основное отклонение и номера качества. Поле допуска указывают непосредственно после номинального размера. Например, $\varnothing 50 H6$, $\varnothing 40 p7$.

Посадка соединения обозначается сразу после номинального размера полями допусков отверстия и вала, начиная с отверстия таким образом: $\varnothing 40 \frac{H7}{g6}$, или $\varnothing 40 H7/g6$, или $\varnothing 40 H7 - g6$.

Предельные отклонения линейных размеров могут быть указаны на чертежах одним из трех способов: условными обозначениями полей допусков, например $18H7$; $12e8$;

числовыми значениями предельных отклонений, например $18^{+0,018}$; $12_{-0,059}^{-0,032}$;

условными обозначениями полей допусков с указанием справа в скобках числовых значений предельных отклонений, например $18H7^{(+0,018)}$; $12e8^{(-0,032)}_{(-0,059)}$.

На период внедрения ЕСДП рекомендуется более широко применять второй и третий способы.

Общие записи о неуказанных отклонениях относительно низкой точности (от 12 качества и грубее) следует давать так.

1. «Неуказанные предельные отклонения размеров: отверстий $H14$, валов $h14$, остальных $\pm \frac{IT14}{2}$ ».

2. «Неуказанные предельные отклонения размеров: диаметров $H12$, $h12$, остальных $\pm \frac{IT12}{2}$ ».

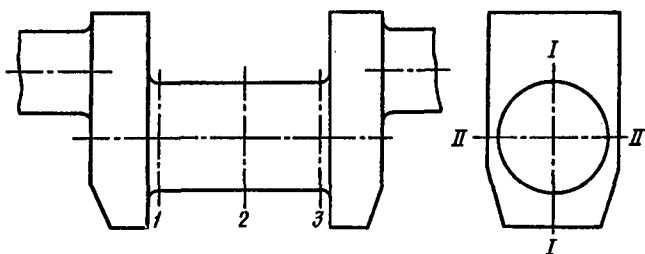
В первом примере отклонения $H14$ относятся к размерам всех внутренних (в соединениях — охватывающих) элементов, а отклонения $h14$ — к размерам всех наружных (в соединениях — охватываемых) элементов. Во втором примере отклонения $H12$ относятся только к диаметрам круглых отверстий, отклонения $h12$ — к диаметрам круглых валов.

В общей записи обозначение $\pm \frac{IT}{2}$ рекомендуется для симметричных отклонений — межцентровых расстояний, высот, глубин.

§ 52. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ГЛАДКИХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

При помощи универсальных средств измерения можно устанавливать все необходимые линейные размеры гладких цилиндрических соединений. Однако при контроле деталей и если необходимо дать заключение, соответствуют ли размеры, форма и расположение поверхностей деталей техническим условиям, приходится пользоваться различными методами.

При повышенных, т. е. специально установленных требованиях к точности формы часто необходимо про-



78. Места измерения шейки коленчатого вала для определения погрешностей формы.

вести не одно, а несколько измерений. Так, шейки коленчатого вала измеряют микрометром или рычажной скобой в трех сечениях — 1, 2 3 и двух плоскостях — I, II, чтобы определить значения овальности, конусности, бочкообразности или корсетности (рис. 78). Чтобы проконтролировать форму гильз цилиндров индикаторным нутромером, также следует провести ряд измерений в различных сечениях и плоскостях. Но для определения такого параметра, как разностенность, необходимо использовать специальное индикаторное приспособление (рис. 79).

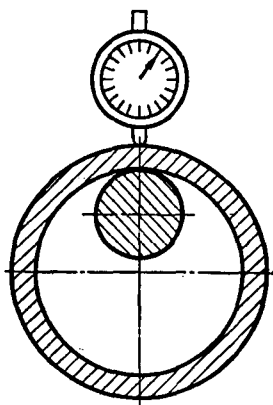


Рис. 79. Приспособление для измерения разностенности гильз.

Для проведения этих измерений требуется много времени и большое число квалифицированных контролеров. Поэтому в серийном производстве в большинстве случаев стараются применять калибры, шаблоны и специальные приспособления. Использование калибров и шаблонов при ремонте машин, по данным Государственного всесоюзного научно-исследовательского технологического института ремонта и эксплуатации машинно-тракторного парка (ГОСНИТИ), снижает трудоемкость дефектации деталей в 3...4 раза. Специализация ремонтной сети создает благоприятные условия для широкого использования калибров при ремонте машин.

§ 53. ПРЕДЕЛЬНЫЕ КАЛИБРЫ

По способу проверки различают калибры нормальные и предельные. При контроле нормальным калибром годность изделия определяют по плотности его вхождения. При этом от квалификации контролера целиком зависит, правильно ли определена годность изделия. Более просто и точно контролируют детали предельными калибрами, выполненными по предельным размерам изделия. Если калибр ПР проходит, а калибр НЕ нет, изделие считают годным.

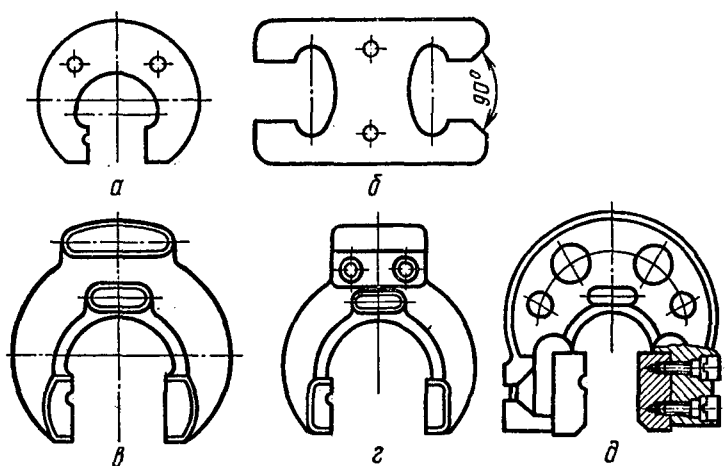


Рис. 80. Предельные калибры для контроля валов.

Диаметры валов контролируют скобами. Наиболее удобны односторонние двухпредельные скобы (рис. 80, а), которые могут быть листовыми, штампованными и литыми. В инструментальных цехах заводов обычно применяют листовые скобы (рис. 80, б), на специализированных заводах — штампованные (рис. 80, в, г) и литые (рис. 80, д). Длину проходных губок скоб делают в 2...3 раза больше длины непроходных, чтобы увеличить срок их службы.

Большое распространение при ремонте машин должны получить и регулируемые скобы (рис. 81). Для установки скобы 1 на определенный размер отвертывают на два-три оборота стопорный винт 6 и, нажав на его головку, выталкивают втулку 5 стопора, освобождая измерительную головку 2. Между измерительными поверхностями скобы вставляют блок концевых мер 3 необходимого размера и винтом 4 выдвигают измерительную головку до соприкосновения с блоком плиток. В таком положении измерительную головку закрепляют стопорным винтом 6. После этого проверяют, правильно ли установлены скобы. Скоба должна с легким трением перемещаться по блоку плиток. Если скобу нельзя сдвинуть или она перемещается слишком свободно, настройку повторяют. Так как правильность настройки скобы оценивают по

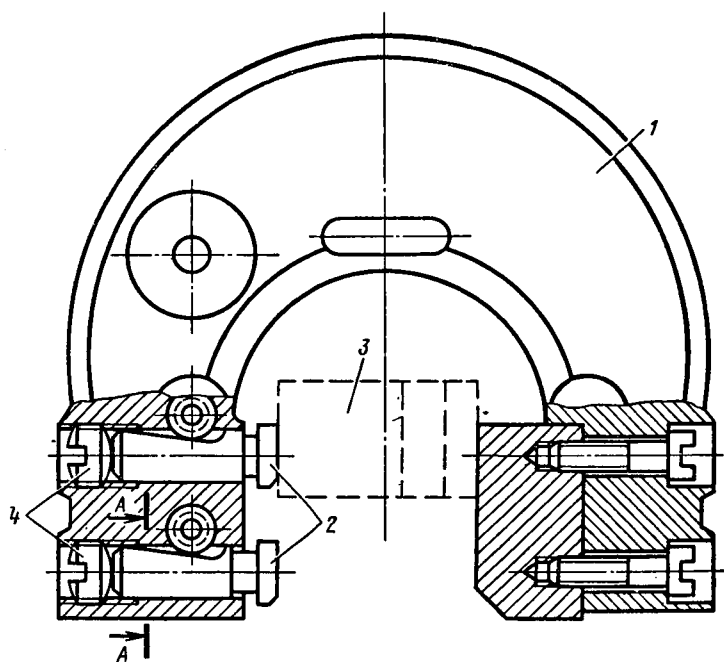


Рис. 81. Регулируемая скоба.

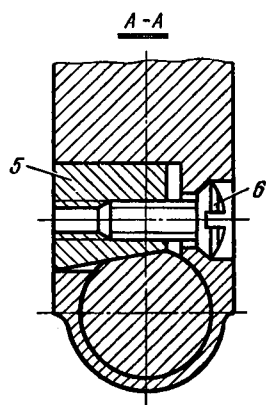
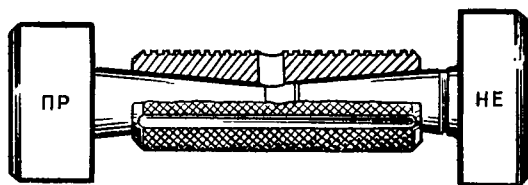


Рис. 82. Двухсторонняя пробка.



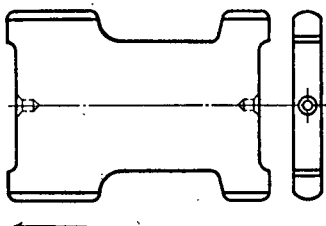
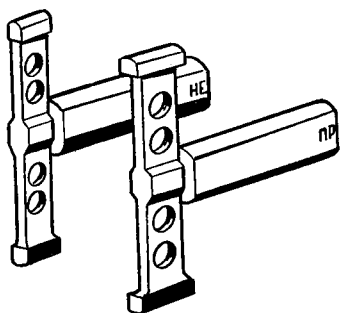


Рис. 83. Неполные пробки.

Рис. 84. Листовая пробка.

ощущению, а полученный размер сохраняется недостаточно надежно, не рекомендуется для контроля изделий выше 8-го квалитета применять регулируемые скобы. Их целесообразно использовать при дефектации, настроив предварительно на выбраковочный размер.

При контроле изделий скобами большую роль играет усилие измерения. Скоба должна проходить проходной стороной и задерживаться на непроходной под действием собственной массы. Иногда удобнее изделие вдвигать в скобу или скобу надвигать на изделие не сверху, а сбоку. Но в любом случае усилие измерения должно быть приблизительно равно массе скобы.

Диаметры отверстий контролируют пробками. Наиболее распространены двусторонние пробки (рис. 82). Если проходная сторона (ПР) изнашивалась, ее можно заменить. Непроходная сторона (НЕ) служит дольше.

Для контроля диаметров свыше 50 мм изготавливают неполные пробки двутаврового профиля с высверленными отверстиями (рис. 83). Такие пробки легче, экономичнее и пользоваться ими удобнее. Однако, чтобы определить годность отверстия, его надо проверить неполной пробкой несколько раз, поворачивая ее на некоторый угол. Этот же недостаток присущ листовым пробкам (рис. 84). Из-за простоты изготовления их целесообразно применять на ремонтных предприятиях. Регулируемые пробки ввиду их конструктивной сложности и дороговизны широкого распространения не получили.

При изготовлении предельных калибров в инструментальных цехах их размеры необходимо выдерживать в пределах допусков на калибры, установленных стандартами.

§ 54. ДОПУСКИ ГЛАДКИХ КАЛИБРОВ

Размеры и предельные отклонения калибров зависят от их назначения. По назначению различают предельные калибры рабочие, приемные и контрольные. Рабочие калибры, обозначаемые Р-ПР и Р-НЕ, предназначены непосредственно для контроля деталей при их изготовлении на рабочих местах. Приемные калибры, обозначаемые П-ПР и П-НЕ, специально не изготавливают, а в качестве них используют частично изношенные рабочие калибры. Приемными калибрами пользуются представители заказчика. Контрольные калибры предназначены для проверки или установки на размер рабочих калибров — скоб. Допуски на размеры рабочих калибров до 500 мм установлены ГОСТ 24853—81.

Из-за неточно изготовленных калибров, особенно при малых допусках на изготовление, на сборку могут попасть детали, размеры которых выходят за пределы поля допуска изделия. Для выхода из данного положения на сборке должна обеспечиваться взаимозаменяемость.

Так как в процессе работы непроходная сторона калибров почти не изнашивается (практически износ образуется только при контроле бракованных деталей), поле допуска на обработку непроходной стороны расположено симметрично относительно ее номинального размера ($D_{\max}$ и $D_{\min}$), что при нормальном законе распределения дает наибольшую вероятность получения размера, близкого к номинальному (рис. 85).

Проходная сторона калибра с трением проходит по поверхности всех годных деталей, поэтому износ ее значителен и его необходимо учитывать. Исходя

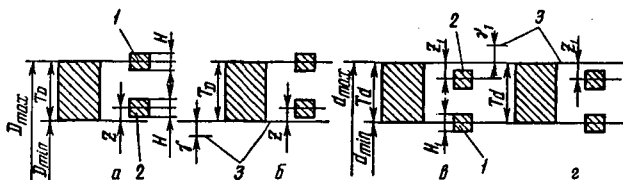


Рис. 85. Схемы расположения полей допусков калибров:

а — для отверстий квалитетов 6, 7 и 8; б — для отверстий квалитетов от 9 до 17; в — для валов квалитетов 6, 7 и 8; г — для валов квалитетов от 9 до 17; 1 — непроходная сторона; 2 — проходная сторона; 3 — граница износа.

из этого, для проходной стороны, кроме допуска на обработку, дается еще допуск на износ калибра. Чтобы выход размеров деталей за пределы поля допуска изделия не был большим, поле допуска на обработку проходного калибра сдвигают на размер z для отверстия или z_1 для вала внутрь поля допуска изделия, а допуск на износ ограничивают величиной γ или γ_1 , определяющей границу износа (рис. 85, а и в). При этом производственный допуск сокращается, что особенно усложняет обработку при малых допусках изделия в квалитетах *IT6...IT8*. В более грубых квалитетах точности *IT9...IT17* граница износа проходной стороны не выходит за пределы поля допуска изделия (рис. 85, б и г).

При контроле размеров свыше 180 мм необходимо учитывать дополнительные источники погрешностей — деформацию скобы, температурные колебания, а также то, что при надвигании скобы на деталь сложно обеспечить постоянное усилие. Скобы для контроля малых диаметров достаточно жесткие, и их деформацией можно пренебречь. Но с увеличением контролируемого размера масса скобы увеличивается быстрее, причем зависимость между ними кубическая. Колебания температуры калибра и контролируемой детали при малых размерах также незначительны, а с увеличением размера их роль возрастает. Следует учитывать, что пробки для контроля размеров свыше 180 мм изготавливают неполными, что тоже вносит определенную погрешность.

Чтобы компенсировать эти дополнительные погрешности при контроле размеров свыше 180 мм, вводят специальный размер компенсации α для пробок и α_1 для скоб, на который уменьшают допуск на износ (рис. 86). Если обозначить допуск на износ калибров через $H_{\text{изн}}$, то в самом общем виде он будет

$$H_{\text{изн}} = z + \gamma - \alpha; \quad H_{1\text{изн}} = z_1 + \gamma_1 - \alpha_1. \quad (62)$$

Для размеров до 180 мм значение α и α_1 будет равно нулю, а для более грубых квалитетов *IT9...IT17* равно нулю будет значение γ или γ_1 . Допуск непроходной стороны для калибров свыше 180 мм также смещается на размер компенсации α или α_1 внутрь поля допуска изделия.

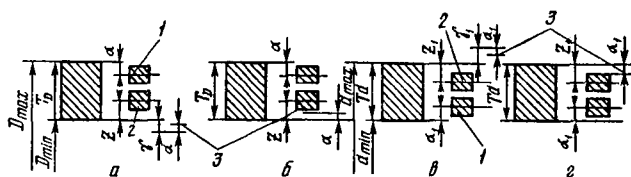


Рис. 86. Схемы расположения полей допусков калибров для номинальных размеров свыше 180 мм:

а — для отверстий квалитетов 6, 7 и 8; б — для отверстий квалитетов от 9 до 17; в — для валов квалитетов 6, 7 и 8; г — для валов квалитетов от 9 до 17; 1 — непроходная сторона; 2 — проходная сторона; 3 — граница.

Контрольные калибры К-ПР и К-НЕ имеют своими номинальными размерами середины полей допусков рабочих калибров Р-ПР и Р-НЕ, а калибр К-И, предназначенный для выбраковки калибров из-за износа, своим номинальным размером имеет границу износа.

При отклонениях размеров калибров сокращается производственный допуск, особенно значительно в высоких квалитетах IT_6 , IT_7 , поэтому при контроле таких размеров целесообразнее использовать достаточно точные универсальные средства измерения.

§ 55. ВЫБОР СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ

Конкретные средства измерения применяют в зависимости от многих факторов: масштаба производства, принятой организационно-технической формы контроля, конструкции и материала детали, точности изготовления.

В массовом производстве с отработанным технологическим процессом, включающим контрольные операции, используют высокопроизводительные механизированные и автоматические средства измерения и контроля. Универсальные средства измерения применяют преимущественно для наладки оборудования.

В серийном производстве на машиностроительных заводах, а также на ремонтных заводах и в крупных специализированных ремонтных предприятиях основными средствами контроля годности деталей должны быть жесткие предельные калибры, шаблоны, специальные контрольные приспособления.

Можно также применять универсальные средства измерения.

В индивидуальном и мелкосерийном производстве в ремонтных мастерских основными являются универсальные средства измерения, поскольку применять специальные контрольные приспособления экономически неоправдано, а использование жестких предельных калибров при громадном разнообразии контролируемых размеров потребовало бы соответственно огромного числа калибров различных типоразмеров.

При стабильном технологическом процессе в массовом и крупносерийном производстве преимущественно используют статистический метод выборочного контроля. Сплошной контроль, применяемый в индивидуальном и мелкосерийном производстве, обязателен и в ремонтном производстве, где проводят дефектацию деталей и используют частично изношенные детали. При выборе средств измерения, кроме того, необходимо учитывать размеры, массу, конфигурацию детали, а также можно ли физически измерить данный размер выбранным инструментом. От материала детали, ее жесткости, шероховатости поверхности зависит измерительное усилие средства измерения и какой тип измерительных средств применять. Когда все эти факторы учтены, из возможных для использования средств измерения необходимо выбрать такое, погрешность которого обеспечивала бы заданную точность изготовления или восстановления детали.

Как показывает расположение полей допусков предельных калибров (см. § 55), в годные попадает часть деталей, размеры которых выходят за пределы поля допуска на обработку из-за непроходной стороны на размер, равный половине поля допуска калибра $H/2$ или $H_1/2$, и из-за допускаемого выхода размера изношенной проходной стороны на γ или γ_1 (см. рис. 85 и 86). Выход размера за пределы поля допуска изделия, установленный стандартом, обеспечивает взаимозаменяемость на сборке. Это объясняется и теоретически доказывается малой вероятностью попадания таких деталей на сборку и еще меньшей вероятностью того, что в одно соединение попадут именно две такие детали с выходами за пределы поля допуска в неблагоприятную сторону. Например, если

вероятность выхода вала за пределы $d_{\min}$ принять равной 0,01, а вероятность выхода отверстия за пределы $D_{\max}$ также равной 0,01, то вероятность появления в соединении зазора, превышающего допускаемый ($S_{\max}$), будет равна 0,0001.

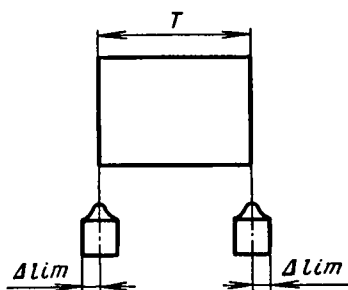


Рис. 87. Поле рассеяния при контроле универсальными средствами измерения.

При использовании для контроля универсальных средств измерения также возможен выход размеров признанных годными деталей за пределы поля допуска. На первый взгляд кажется, что возможный выход за пределы поля допуска равен $\Delta_{\lim}$ (рис. 87). Однако, поскольку появление какого-то размера в партии деталей в пределах поля рассеяния V — событие случайное и погрешность универсального средства измерения в пределах $\pm \Delta_{\lim}$ также величина случайная, в силу вступает закон сложения случайных и независимых величин.

Рассмотрим на конкретном примере, каково же будет фактическое значение выхода размеров за пределы поля допуска при контроле универсальным средством измерения. Пусть предстоит проконтролировать вал $\varnothing 50 h7_{-0,025}$, для которого $\gamma_1 = 3$ мкм. Поскольку выход за пределы поля допуска для универсального средства измерения в обе стороны одинаков, примем допускаемое поле рассеяния равным

$$V_{\text{доп}} = IT + 2\gamma_1 = 25 + 2 \cdot 3 = 31 \text{ мкм.}$$

Выберем для контроля универсальный инструмент, имеющий $\Delta_{\lim} = 3$ мкм, и рассчитаем, каково будет фактическое поле рассеяния деталей $V_{\text{ун}}$.

$$\sigma_{\text{изд}} = \frac{IT}{6} = \frac{25}{6} = 4,1; \quad \sigma_{\Delta_{\lim}} = \frac{\Delta_{\lim}}{3} = \frac{3}{3} = 1.$$

Тогда

$$\sigma_{\text{ун}} = \sqrt{\sigma_{\text{изд}}^2 + \sigma_{\Delta_{\lim}}^2} = \sqrt{4,1^2 + 1^2} = 4,22,$$

$$V_{\text{ун}} = 6\sigma_{\text{ун}} = 6 \cdot 4,22 = 25,3 \text{ мкм}$$

при допускаемом поле рассеяния $V_{\text{доп}} = 31$ мкм.

Следовательно, инструмент выбран излишне точный и допускаемая погрешность измерения может быть больше.

ГОСТ 8.051—81 устанавливает значения погрешностей, допускаемых при измерениях линейных размеров от 1 до 500 мм (см. приложение VI). Предел допускаемой погрешности измерения является наибольшей допускаемой погрешностью измерения, включающей влияние погрешности измерительных средств, установочных мер, температурных деформаций, базирования и т. д. Кроме того, он включает случайные и неучтенные систематические погрешности измерения. Случайная погрешность измерения не должна превышать 0,6 от предела допускаемой погрешности измерения и принимается с доверительной вероятностью $0,954(\pm 2\sigma)$. Даже при этих условиях предел допускаемой погрешности в приведенном ранее примере составляет 4,5 мкм, т. е. в 1,5 раза больше γ_1 .

Окончательное заключение о выборе средства измерения должно быть сделано после учета экономического фактора, зависящего от стоимости инструмента и трудоемкости проведения измерения. Например, требуется выбрать инструмент для измерения шейки коленчатого вала, имеющей размер $85 \pm_{0,034}^{0,012}$ мм. Это наружный размер цилиндрической части детали, который может быть измерен многими измерительными средствами. Однако размер, форма и масса детали не позволяют измерить этот размер такими стационарными приборами, как оптиметр, микрокатор со стойкой, индикатор со стойкой. В этом случае удобнее применить переносной прибор типа индикаторной скобы, микрометра или рычажной скобы. Остается определить, какой из этих приборов обеспечит необходимую точность измерения. Для диаметра 85 мм и допуска 22 мкм по таблице приложения VI находим, что предел допускаемой погрешности измерения составляет $\delta = 6$ мкм. По таблице предельных погрешностей средств измерения приложения VII находим, что самый точный микрометр, дающий погрешность измерения $\Delta_{\text{lim}} = 7$ мкм, нельзя применять для такой ответственной измерительной операции. В данном примере только рычажная скоба обеспечивает необходимую точность измерения (у этого прибора предельная погрешность составляет 4,5 мкм).

Глава 11. ОСНОВЫ РАСЧЕТА И ВЫБОРА ПОСАДОК

§ 56. ВЫБОР СИСТЕМЫ ПОСАДОК

Две системы посадок (система отверстия и система вала) необходимы как из-за конструктивных особенностей узлов машин, так и из-за особенностей технологии изготовления деталей машин и их сборки. Для работы того или другого соединения совершенно безразлично, в какой системе назначены допуски и посадки, так как только значения зазоров или натягов определяют характер работы соединения. Выбор той или другой системы определяет бóльшую или меньшую сложность изготовления деталей и их сборки, а следовательно, и стоимость изготовления данного узла.

Сверление с последующим развертыванием, зенкерование или протягивание — наиболее простые и дешевые технологии получения отверстий малого и среднего диаметров. Годность отверстий контролируют пробками. При этом каждый инструмент можно использовать для обработки или контроля отверстия только одного размера. Следовательно, целесообразно применять такую систему посадок, при которой отверстие, различных по размерам, будет меньше, а значит потребуются меньшая номенклатура режущих и измерительных инструментов (разверток, зенкеров, протяжек, пробок). Такой системой посадок является система отверстия, в которой различные посадки обеспечиваются изменением размеров вала. Но получение валов различных размеров достигается изменением поперечной подачи суппорта на токарном или шлифовальном станке и не требует увеличения номенклатуры режущих инструментов. Поэтому система отверстия наиболее распространена как экономически выгодная в большинстве случаев.

Вместе с тем иногда целесообразно применять систему вала. Ее обычно используют в следующих случаях:

когда можно применять валы из чистотянутой калиброванной стали без механической обработки посадочных мест (рис. 88);

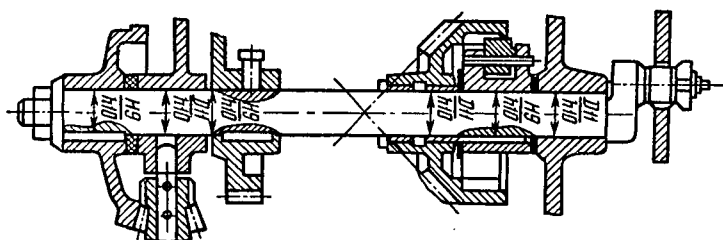


Рис. 88. Пример использования системы вала (узел вязального аппарата пресс-подборщика).

когда на валах или на их отдельных участках одного номинального размера необходимо обеспечить различные посадки нескольких деталей (рис. 89);

когда в сопряжении применяют стандартные узлы или детали, изготовленные по системе вала (например, посадка наружных колец подшипников качения в корпус).

В автотракторной промышленности в большинстве случаев используют систему отверстия. В сельскохозяйственном машиностроении в качестве основной была принята система вала, так как в сельскохозяйственных машинах прежних конструкций широко

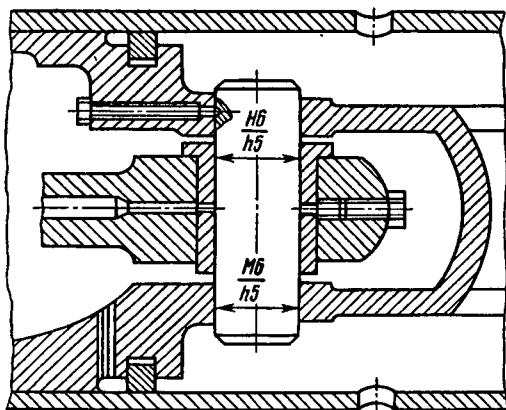


Рис. 89. Пример использования системы вала (сопряжение поршень — палец — втулка верхней головки шатуна компрессора).

были распространены гладкие валы, изготавливаемые из калиброванной чистотянутой стали без последующей механической обработки посадочных мест. Однако за последнее время в сельскохозяйственных машинах вместо подшипников скольжения все больше используют шариковые и роликовые подшипники, увеличивается удельный вес полностью точеных ступенчатых валов, при которых выбор системы отверстия является более обоснованным. Кроме того, следует помнить, что даже для чистотянутых валов применение системы вала более выгодно лишь для соединений с гарантированным минимальным зазором. Посадки с нулевым минимальным зазором могут быть в этом случае выполнены и в системе вала и в системе отверстия, а посадки с натягом — только в системе отверстия.

§ 57. ВЫБОР КАЛИТЕТА

Определение оптимальной точности обработки и выбор квалитета — сложная технико-экономическая задача. При произвольном назначении более грубого квалитета ухудшается качество работы соединения, сокращается его технический ресурс, снижается надежность. При выборе необоснованно высокого квалитета с малыми допусками резко увеличивается стоимость изготовления деталей (рис. 90).

Между допусками и зазорами существует вполне определенная зависимость (27):

$$S_{\max} - S_{\min} = T_D + T_d = T_{\Delta}.$$

Поэтому задача определения необходимых допусков и квалитета сводится к установлению предельно допустимых зазоров для данного соединения, исходя из эксплуатационных требований, которые и определяют значение функционального допуска.

$$S_{\text{пред. доп}} - S_{\text{нач}} = T_{\Delta \text{ф}}. \quad (63)$$

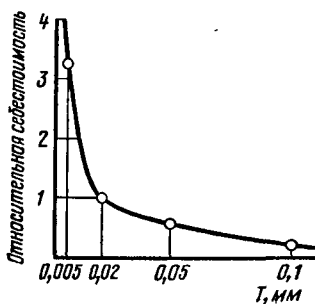


Рис. 90. Зависимость себестоимости обработки от допуска.

Предельно допустимым называется зазор $S_{\text{пред. доп.}}$, после достижения которого нормальная эксплуатация соединения невозможна, так как приводит к аварийному износу и выходу из строя деталей. Начальный зазор также обусловлен особенностями эксплуатации данного соединения. В любом случае он не может быть меньше необходимой толщины масляного слоя, а в некоторых случаях необходимо учитывать и температурные расширения в рабочем состоянии. Разность двух этих зазоров равна функциональному допуску посадки.

Если разность этих зазоров использовать как допуск на обработку, то возможен случай, когда будет собрано новое соединение с зазором, равным предельно допустимому, т. е. соединение, нормальная эксплуатация которого невозможна и которое уже требует ремонта. Поэтому функциональный допуск должен быть разделен на две части — конструктивный и эксплуатационный:

$$T_{\Delta\phi} = T_{\Delta k} + T_{\Delta z}. \quad (64)$$

Конструктивный допуск используют для компенсации погрешностей в процессе изготовления деталей, сборки соединения, регулировки.

Эксплуатационный допуск необходим для создания определенного запаса точности и сохранения требуемого уровня эксплуатационных показателей в течение длительной эксплуатации.

Запас точности соединения

$$K_T = T_{\Delta\phi} / T_{\Delta k}. \quad (65)$$

От запаса точности соединения в значительной степени зависят его технические ресурс и надежность.

Это и определяет выбор качества, который неотделим от выбора посадки конкретного соединения. Окончательно качество устанавливают, учитывая технологические возможности изготовления деталей необходимой точности. Самое общее представление о применении тех или других качеств в соединениях машин можно получить из приведенных далее примеров.

IT5, IT6 применяют в особо точных соединениях: поршневой палец — втулка верхней головки шатуна,

шейки коленчатого вала двигателя — вкладыши подшипников скольжения и др.

IT7 распространен в машиностроении: в посадках зубчатых колес на валы, подшипников качения в корпуса, фрез на оправки и т. п.

IT8 используют в неподвижных соединениях: в посадках шкивов и кривошипов на валы, в посадке втулки шпинделя хлопкоуборочной машины в корпус и др.

IT9 применяют в соединениях гравитационных двигателей (соединения поршневое кольцо — канавка поршня по высоте, втулка — верхняя головка шатуна), в подвижных соединениях сельскохозяйственных машин при сравнительно высоких требованиях центрирования и соосности подшипников во время работы (посадка звездочек на вал, посадка вала вязального аппарата пресс-подборщика).

IT10 применяют в основном там, где требования к точности соединения понижены и где можно изготовить гладкие валы из калиброванного чистотянутого материала без последующей обработки посадочных мест (например, верхний вал наклонной камеры жатки комбайна).

IT11 распространен в подвижных соединениях сельскохозяйственных машин, в посадках часто снимаемых деталей (например, крышки, фланцы, штампованные детали, кривошипный вал вязального аппарата, контрпривод мотовила).

IT12 применяют в сварных и подвижных соединениях сельскохозяйственных машин (например, посадка колес сеялки на ось).

§ 58. РАСЧЕТ И ВЫБОР ПОСАДОК С ЗАЗОРОМ

Характер и условия работы подвижных соединений чрезвычайно разнообразны. Например, соединения шейки коленчатого вала — вкладыш; поршень — гильза; поршневой палец — втулка верхней головки шатуна одного и того же двигателя внутреннего сгорания заметно отличаются одно от другого по характеру взаимного перемещения деталей, температурному режиму, способу подвода смазки, направлению действия нагрузок и т. п.

Понятно, что единой методики расчета зазоров подвижных соединений быть не может, и для каждого типа таких соединений необходимо использовать свою методику расчета. Для основных типов подвижных соединений методика расчета зазоров различна, поэтому для наиболее ответственных подвижных соединений машин и механизмов систему посадок выбирают на основании расчетов.

Рассмотрим в качестве примера методику расчета одного из наиболее распространенных типов подвижных соединений вал — подшипник скольжения. В состоянии покоя под действием силы тяжести вал находится в крайнем нижнем положении. При вращении силы трения увлекают смазку в узкую клинообразную щель между валом и отверстием. Под действием возникающего в клине давления при определенном соотношении размеров соединения, частоты вращения, вязкости смазки и давления вал как бы всплывает, опираясь на масляный клин и несколько смещаясь в сторону вращения (рис. 91).

Известно, что соотношение между величинами h и S в подшипниках конечной длины выражается зависимостью

$$hS = \frac{0,52d_n^2\omega\eta}{q} \frac{l}{d_n + l}, \quad (66)$$

где h — толщина масляного слоя в месте наибольшего сближения поверхностей вала и подшипника в рабочем состоянии, м;
 S — зазор между валом и подшипником в состоянии покоя, м;

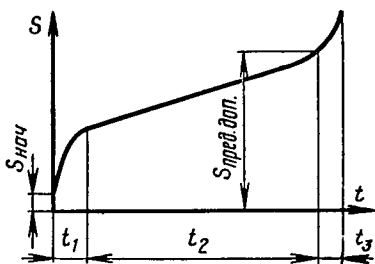
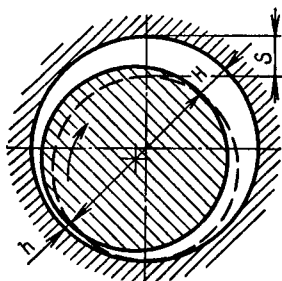


Рис. 91. Положение вала в соединении вал — подшипник скольжения.

Рис. 92. Процесс увеличения зазора во времени.

d_n — номинальный диаметр соединения, м; l — длина подшипника, м; ω — угловая скорость, рад/с; η — абсолютная вязкость смазочного масла при рабочей температуре, Па·с; q — среднее удельное давление, Па, в подшипнике, определяемое через нагрузку R , H , на цапфу из выражения

$$q = R/(d_n l).$$

Известно также, что если при установившемся движении $h = 0,25S$, то коэффициент трения получается наименьшим, следовательно, и тепловой режим работы подшипника будет наилучшим. Подставив это значение h в формулу, найдем значение наивыгоднейшего зазора, м,

$$S_{\text{наив}} = 2\sqrt{\frac{0,52d_n^2\omega\eta}{q} \frac{l}{d_n + l}} = 2\sqrt{hS}. \quad (67)$$

При расчете и выборе подвижных посадок необходимо учитывать, что в процессе работы изнашиваются поверхности вала и отверстия, в результате чего зазор увеличивается. В подвижных сопряжениях процесс увеличения зазора во времени характеризуется кривой, показанной на рисунке 92. В первый период времени t_1 — период приработки — зазор нарастает быстро из-за сглаживания шероховатостей, выравнивания погрешностей формы. Период t_2 — время нормальной работы сопряжения. Зазор в это время нарастает сравнительно медленно, прямо пропорционально времени работы. Наконец, третий период t_3 характеризуется резким увеличением зазора. Нормальная работа сопряжения нарушается, и дальнейшая его эксплуатация может привести к аварии. Поэтому зазор, соответствующий окончанию периода нормальной эксплуатации сопряжения, называется предельно допустимым зазором $S_{\text{пред. доп.}}$.

При определенном постоянном темпе нарастания зазора и постоянном предельно допустимом зазоре долговечность соединения может быть увеличена за счет уменьшения начального зазора $S_{\text{нач.}}$. Поэтому целесообразно первоначальный зазор уменьшить на сумму высот шероховатостей вала и отверстия, что обеспечит больший технический ресурс сопряжения. Учитывая, что в процессе приработки высота шероховатости уменьшается на 0,7 первоначальной, расчет-

ный зазор, по которому следует выбирать посадку, можно определить из выражения

$$S_{\text{расч}} = S_{\text{наив}} - 1,4(R_{ZD} + R_{Zd}). \quad (68)$$

Чтобы бо́льшая часть сопряжений при сборке имела зазор, близкий к расчетному, при выборе стандартной посадки необходимо выдержать условие

$$S_{\text{ср.ст}} \approx S_{\text{расч}},$$

поскольку в этом случае средний зазор в сопряжении будет являться наиболее вероятным.

Однако выбирать посадку со средним зазором больше расчетного нежелательно, так как это будет сокращать технический ресурс соединения. Поэтому условие выбора посадки можно записать так:

$$S_{\text{ср.ст}} \leq S_{\text{расч}}.$$

Посадку выбирают в первую очередь из числа предпочтительных, помня, что для соединения вал — подшипник скольжения посадки с минимальным зазором, равным нулю, применять нельзя. Выбранную посадку необходимо проверить, исходя из условия обеспечения наименьшего слоя смазки при наиболее неблагоприятных условиях. В этом случае

$$h_{\text{min}} = \frac{hS}{S_{\text{max ст}} + 1,4(R_{ZD} + R_{Zd})}. \quad (69)$$

Чтобы избежать сухого трения, наименьшая толщина масляного слоя должна быть больше суммы высот шероховатостей вала и отверстия, т. е.

$$h_{\text{min}} > R_{ZD} + R_{Zd}. \quad (70)$$

Если оба условия выдерживаются, посадка выбрана правильно. Если посадка не удовлетворяет второму условию, нужно выбрать другую посадку и вновь провести проверку. Только если ни одна из предпочтительных посадок не удовлетворяет обоим условиям, следует выбирать посадку из числа рекомендуемых.

Шероховатости отверстия и вала при расчете и выборе подвижной посадки задают, исходя из общих принципов, изложенных в главе 4, а также на основании экспериментальных исследований по определению оптимальной шероховатости для сопряжений различного типа. Для сопряжений типа вал — подшип-

ник скольжения оптимальные шероховатости находятся в пределах $R_z = 1,6 \dots 6,3$ мкм.

Пример. Требуется подобрать стандартную посадку с зазором для следующих условий: $d_n = 0,095$ м; $l = 0,05$ м; $\omega = 100$ рад/с; $\eta = 0,03$ Па·с; $q = 55 \cdot 10^5$ Па. Заданы шероховатости отверстия $R_{ZD} = 3,2$ мкм и вала $R_{Zd} = 3,2$ мкм.

1. Определяем значение

$$hS = \frac{0,52 d_n^2 \omega \eta}{q} \cdot \frac{l}{d_n + l} = \frac{0,52 \cdot 0,095^2 \cdot 100 \cdot 0,03}{55 \cdot 10^5} \cdot \frac{0,05}{0,095 + 0,05} = 880 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2 = 880 \text{ мкм}^2.$$

2. Определяем наивыгоднейший зазор

$$S_{\text{наив}} = 2\sqrt{hS} = 2\sqrt{880} = 59,5 \text{ мкм.}$$

3. Находим расчетный зазор

$$S_{\text{расч}} = S_{\text{наив}} - 1,4(R_{ZD} + R_{Zd}) = 59,5 - 1,4(3,2 + 3,2) = 50,5 \text{ мкм.}$$

4. По таблицам подбираем посадку, удовлетворяющую условию $S_{\text{ср.ст}} \leq S_{\text{расч}}$ (см. приложение VIII). Такому условию отвечает посадка $\varnothing 95 \text{ H7/g6}$, у которой $S_{\text{max}} = 69$ мкм, $S_{\text{min}} = 12$ мкм, а

$$S_{\text{ср.ст}} = \frac{69 + 12}{2} = 40,5 \text{ мкм.}$$

5. Выполним проверку по наименьшей толщине масляного слоя

$$h_{\text{min}} = \frac{hS}{S_{\text{max ст}} - 1,4(R_{ZD} + R_{Zd})} = \frac{880}{69 + 1,4(3,2 + 3,2)} = 11,28 \text{ мкм.}$$

Условие $h_{\text{min}} > R_{ZD} + R_{Zd}$ выдерживается ($11,28 > 3,2 + 3,2$), следовательно, посадка выбрана правильно. Для этой посадки отклонения находим в приложениях II и III.

Для практических расчетов посадок соединений типа вал — подшипник скольжения разработана уточненная методика; она также базируется на основных положениях гидродинамической теории смазки, но учитывает и еще некоторые факторы.

В тех случаях, когда методика расчета подвижного сопряжения данного типа не разработана, оптимальный зазор можно установить экспериментально. Дальнейший расчет, связанный с учетом шероховатостей, и выбор наиболее подходящей стандартной посадки выполняют так же, как в рассмотренном ранее примере.

Для ориентировочного выбора посадок с целью дальнейшего экспериментального уточнения оптимального зазора, а также для выбора посадок неот-

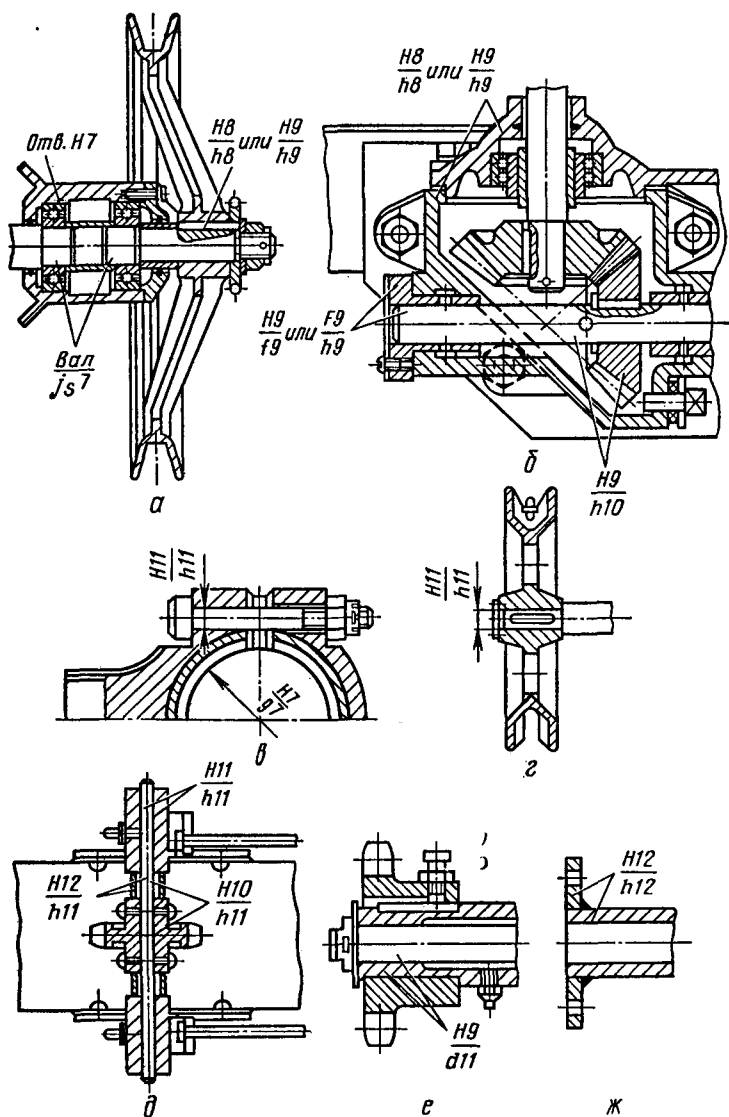


Рис. 93. Примеры использования посадок с зазором:

а — узел крепления шкива; *б* — коробка передач льнотеребилки; *в* — нижняя головка шатуна тракторного двигателя; *г* — звездочка тяговой цепи; *д* — ведомый валик колосового элеватора; *е* — контрпривод мотовила; *ж* — сварное соединение.

ветственных сопряжений, не влияющих на технический ресурс, используют метод аналогии, заключающийся в назначении посадки, аналогичной известным посадкам хорошо работающих соединений этого же типа.

Примеры применения посадок с зазором в авто-тракторном и сельскохозяйственном машиностроении показаны на рисунке 93.

§ 59. РАСЧЕТ И ВЫБОР ПОСАДОК С НАТЯГОМ

Посадки с натягом применяют в неразъемных соединениях, причем относительная неподвижность сопрягаемых деталей достигается за счет упругих деформаций, возникающих при запрессовке. Иногда при передаче больших крутящих моментов для разгрузки контактирующих поверхностей применяют дополнительно крепежные детали (шпонки, винты, штифты). В этом случае крутящий момент передается шпонкой, а натяг удерживает деталь от осевых перемещений.

Натяг в неподвижной посадке должен быть таким, чтобы, с одной стороны, гарантировал относительную неподвижность вала и отверстия, а с другой — не вызывал разрушения деталей при их соединении. Исходя из этих условий, рассчитывают и выбирают неподвижную посадку. Возможны три вида нагрузок, передаваемых неподвижным сопряжением: крутящий момент ($M_{кр}$); осевая сила ($P_{ос}$); крутящий момент и осевая сила ($M_{кр}$ и $P_{ос}$). Давление, необходимое для передачи данных нагрузок, определяют в зависимости от ее вида соответственно из следующих выражений:

$$p \geq \frac{2M_{кр}}{\pi d_n^2 l f}; \quad p \geq \frac{P_{ос}}{\pi d_n l f}; \quad p \geq \frac{\sqrt{P_{ос}^2 + (2M_{кр}/d_n)^2}}{\pi d_n l f}, \quad (71)$$

где p — давление, Па; d_n — номинальный размер, м; l — длина сопряжения, м; $M_{кр}$ — наибольший крутящий момент, Н·м; $P_{ос}$ — наибольшая осевая сила, Н; f — коэффициент трения.

Рассчитав давление, необходимое для передачи заданной нагрузки, на основании зависимостей, известных из решения задачи Лямэ для толстостенных

цилиндров, можно для наиболее общего случая определить наименьший натяг, м, способный передать указанные ранее нагрузки:

$$N_{\min} = p d_n (C_D/E_D + C_d/E_d), \quad (72)$$

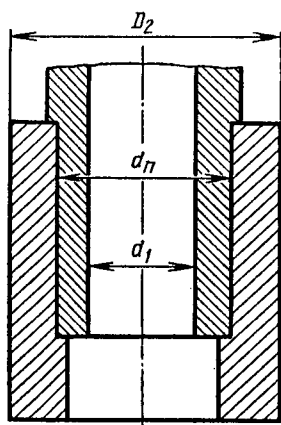
где E_D и E_d — модули упругости материала отверстия и материала вала, Па; C_D и C_d — коэффициенты, определяемые по формулам

$$C_D = \frac{1 + \left(\frac{d_n}{D_2}\right)^2}{1 - \left(\frac{d_n}{D_2}\right)^2} + \mu_D; \quad C_d = \frac{1 + \left(\frac{d_1}{d_n}\right)^2}{1 - \left(\frac{d_1}{d_n}\right)^2} - \mu_d. \quad (73)$$

Размеры d_1 и D_2 указаны на рисунке 94. Коэффициенты Пуассона для материала отверстия μ_D и материала вала μ_d : сталь — 0,3; чугун — 0,25; бронза — 0,35; латунь — 0,38.

При запрессовке вала в отверстие неровности поверхностей срезаются и сминаются, что уменьшает действительный натяг в соединении. Считают, что срезание и смятие неровностей при запрессовке составляет 60% от их высоты. Тогда расчетный натяг для выбора неподвижной посадки можно найти по формуле

$$N_{\text{расч}} = N_{\min} + 1,2(R_{zD} + R_{zd}). \quad (74)$$



При выборе стандартной посадки необходимо выдержать следующее условие относительной неподвижности сопрягаемых деталей:

$$N_{\min \text{ ст}} \geq N_{\text{расч}}. \quad (75)$$

Чтобы проверить детали на прочность, надо вычислить напряжения, Па, которые возникают в них при натяге, наибольшем для выбранной посадки:

$$p_{\max} = \frac{N_{\max \text{ ст}} - 1,2(R_{zD} + R_{zd})}{d_n \left(\frac{C_D}{E_D} + \frac{C_d}{E_d} \right)}. \quad (76)$$

Рис. 94. Соотношение размеров вала и отверстия в посадках с натягом.

Эти напряжения для охватывающей и охватываемой деталей будут соответственно равны

$$\sigma_D = \frac{1 + \left(\frac{d_n}{D_2}\right)^2}{1 - \left(\frac{d_n}{D_2}\right)^2} p_{\max}; \quad \sigma_d = \frac{2p_{\max}}{1 - \left(\frac{d_1}{d_n}\right)^2}. \quad (77)$$

Если эти напряжения меньше предела текучести материала, т. е.

$$\sigma_D < \sigma_{TD} \quad \text{и} \quad \sigma_d < \sigma_{Td}, \quad (78)$$

значит, посадка выбрана правильно.

Однако из-за значительных колебаний свойств материалов, погрешностей при обработке, различия в способах прессовых посадок прочность соединения перед массовым применением необходимо экспериментально проверить.

Пример. Требуется подобрать стандартную посадку с натягом для следующих условий: $d_n=0,15$ м; $D_2=0,25$ м; $l=0,18$ м; $M_{кр}=9000$ Н·м; $d_1=0$ (вал сплошной). Материал втулки и вала — сталь 40, $f=0,085$. Шероховатости вала $R_{zd}=6,3$ мкм, отверстия $R_{zD}=10$ мкм.

1. Определяем значение необходимого давления

$$p = \frac{2M_{кр}}{\pi d_n^2 l f} = \frac{2 \cdot 9000}{3,14 \cdot 0,15^2 \cdot 0,25 \cdot 0,085} = 120 \cdot 10^5 \text{ Па.}$$

2. Находим наименьший натяг

$$N_{\min} = p d_n \left(\frac{C_D}{E_D} + \frac{C_d}{E_d} \right) = 120 \cdot 10^5 \cdot 0,15 \left(\frac{2,43 + 0,7}{2,1 \cdot 10^{11}} \right) = 27 \cdot 10^{-6} \text{ м} = 27 \text{ мкм},$$

где

$$C_D = \frac{1 + \left(\frac{d_n}{D_2}\right)^2}{1 - \left(\frac{d_n}{D_2}\right)^2} + \mu_D = \frac{1 + \left(\frac{0,15}{0,25}\right)^2}{1 - \left(\frac{0,15}{0,25}\right)^2} + 0,3 = 2,43;$$

$$C_d = \frac{1 + \left(\frac{d_1}{d_n}\right)^2}{1 - \left(\frac{d_1}{d_n}\right)^2} - \mu_d = 1 - 0,3 = 0,7, \text{ так как } d_1 = 0.$$

3. Определяем расчетный натяг

$$N_{\text{расч}} = N_{\text{мин}} + 1,2(R_{ZD} + R_{Zd}) = 27 + 1,2(10 + 6,3) = 46,5 \text{ мкм.}$$

4. По таблицам находим, что условию $N_{\text{мин ст}} \geq N_{\text{расч}}$ удовлетворяет только одна предпочтительная посадка $\frac{H7}{s6}$, имеющая минимальный натяг 60 мкм (см. приложение IX). Проверяем эту посадку по условию прочности охватываемой детали.

5. Находим наибольшее давление, которое может возникнуть после запрессовки при использовании посадки $\varnothing 150 \frac{H7}{s6}$

$$\begin{aligned} p_{\text{max}} &= \frac{N_{\text{max ст}} - 1,2(R_{ZD} + R_{Zd})}{d \left(\frac{C_D}{E_D} + \frac{C_d}{E_d} \right)} = \\ &= \frac{[125 - 1,2(10 + 6,3)] \cdot 10^{-6}}{0,15 \left(\frac{2,43}{2,1 \cdot 10^{11}} + \frac{0,7}{2,1 \cdot 10^{11}} \right)} = 471 \cdot 10^5 \text{ Па.} \end{aligned}$$

6. Наибольшее напряжение во втулке

$$\begin{aligned} \sigma_D &= \frac{1 + \left(\frac{d_n}{D_2} \right)^2}{1 - \left(\frac{d_n}{D_2} \right)^2} p_{\text{max}} = \\ &= \frac{1 + \left(\frac{0,15}{0,25} \right)^2}{1 - \left(\frac{0,15}{0,25} \right)^2} \cdot 471 \cdot 10^5 = 1001 \cdot 10^5 \text{ Па.} \end{aligned}$$

7. Условие прочности охватываемой детали выдерживается, так как для стали 40 предел текучести $\sigma_T = 3400 \text{ Па}$ и $\sigma_D < \sigma_{TD}$, следовательно, посадка выбрана правильно.

Если бы условие прочности не было выдержано для этой посадки, то следовало проверить рекомендуемые посадки и выбрать из них ту, которая удовлетворяет обоим условиям.

После окончательного выбора посадки отклонения находим по приложениям II и III.

Для сопряжений, в которых крутящий момент или осевая нагрузка передается крепежными деталями, неподвижную посадку можно выбрать методом аналогии.

Примеры использования неподвижных посадок показаны на рисунке 95.

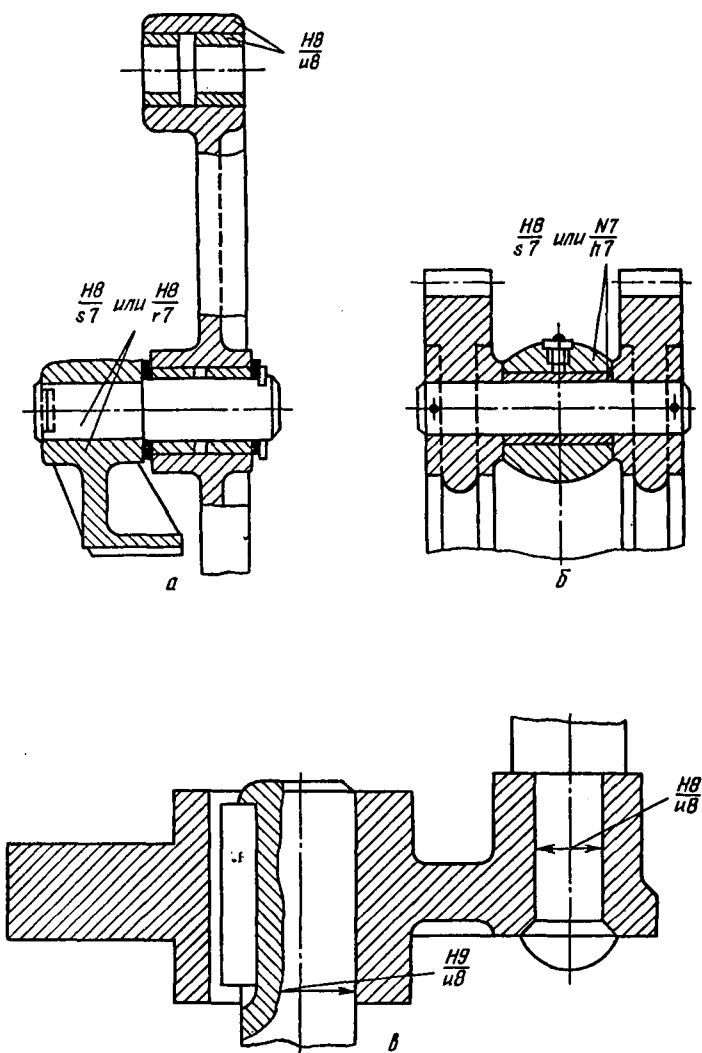


Рис. 95. Примеры использования посадок с натягом:

а — рычаг привода очистки зерноуборочного комбайна; **б** — кривошипные шестерни сенового пресса; **в** — кривошип косилки.

§ 60. ВЫБОР ПЕРЕХОДНЫХ ПОСАДОК

Переходные посадки, характеризующиеся возможностью появления в сопряжении как зазоров, так и натягов, близких к нулю, применяют для центрирования деталей, которые должны быть взаимно неподвижны в процессе работы. Неподвижность в этом случае достигается за счет использования шпонок, штифтов и других видов крепления, воспринимающих и передающих нагрузки. Требования к возможным значениям натягов и зазоров могут быть различными. Они зависят от частоты разборки и сборки сопряжения, необходимости предупреждения осевого смещения и допустимого значения радиального биения.

Рассмотрим методику определения вероятных зазоров и натягов для переходной посадки и их процентного соотношения на конкретном примере. Для сопряжения $\varnothing 55 \frac{H7(+0,030)}{n6(\pm 0,039)}$ примем, что поля рассеяния размеров валов и отверстий соответственно равны допускам на обработку; т. е. $V_D = IT_D$ и $V_d = IT_d$, и закон распределения размеров валов и отверстий в пределах поля рассеяния — нормальный (рис. 96). Тогда закон распределения зазоров (натягов) будет также нормальным. Он будет характеризоваться следующими величинами:

$$S_{cp} = \frac{S_{max} + S_{min}}{2} = \frac{10 + (-39)}{2} = -14,5 \text{ мкм};$$

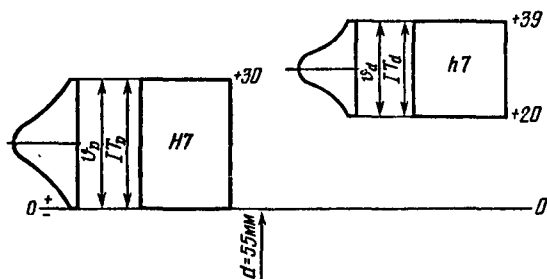


Рис. 96. Определение вероятных зазоров и натягов в переходной посадке.

$$\sigma_S = \sqrt{\sigma_D^2 + \sigma_d^2} =$$

$$= \sqrt{5^2 + 3,16^2} = 5,9 \text{ мкм},$$

где

$$\sigma_D = \frac{V_D}{6} = \frac{30}{6} = 5 \text{ мкм};$$

$$\sigma_d = \frac{V_D}{6} = \frac{19}{6} = 3,16 \text{ мкм}.$$

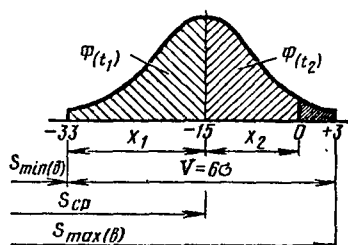


Рис. 97. Определение процентного соотношения зазоров и натягов в переходной посадке.

Из рисунка 97 видно, что вероятные зазоры и натяги могут быть найдены из выражений

$$S_{\max(\delta)} = S_{cp} + 3\sigma_S = -14,5 + 3 \cdot 5,9 = +3,2 \text{ мкм};$$

$$S_{\min(\delta)} = S_{cp} - 3\sigma_S = -14,5 - 3 \cdot 5,9 = -32,2 \text{ мкм}.$$

Чтобы определить вероятность появления зазоров и натягов в посадке, необходимо найти величины $\Phi(t_1)$ и $\Phi(t_2)$. Для этого вычислим коэффициенты риска

$$t_1 = \frac{x_1}{\sigma_S} = \frac{17,7}{5,9} = 3; \quad t_2 = \frac{x_2}{\sigma_S} = \frac{14,5}{5,9} = 2,49.$$

Соответствующие им функции Лапласа находим по таблицам приложения I. Вероятность появления натягов в пределах от $-14,5$ до $32,2$ равна $\Phi(t_1) = 0,5$. Вероятность появления натягов в пределах от $-14,5$ до 0 равна $\Phi(t_2) = 0,4931$. Тогда вероятность появления натягов в данной посадке будет равна $P_N = \Phi(t_1) + \Phi(t_2) = 0,5 + 0,4931 = 0,9931$, а вероятность появления зазоров $P_S = 1 - P_N = 1 - (\Phi(t_1) + \Phi(t_2)) = 1 - (0,5 + 0,4931) = 0,0069$.

15. 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%

Процентное соотношение зазоров и натягов находим из следующих выражений:

$$Q_N = 100P_N = 99,31\%; \quad Q_S = 100P_S = 0,69\%.$$

Таким образом, в посадке $\frac{H7}{n6}$ практически все соединения будут иметь натяг.

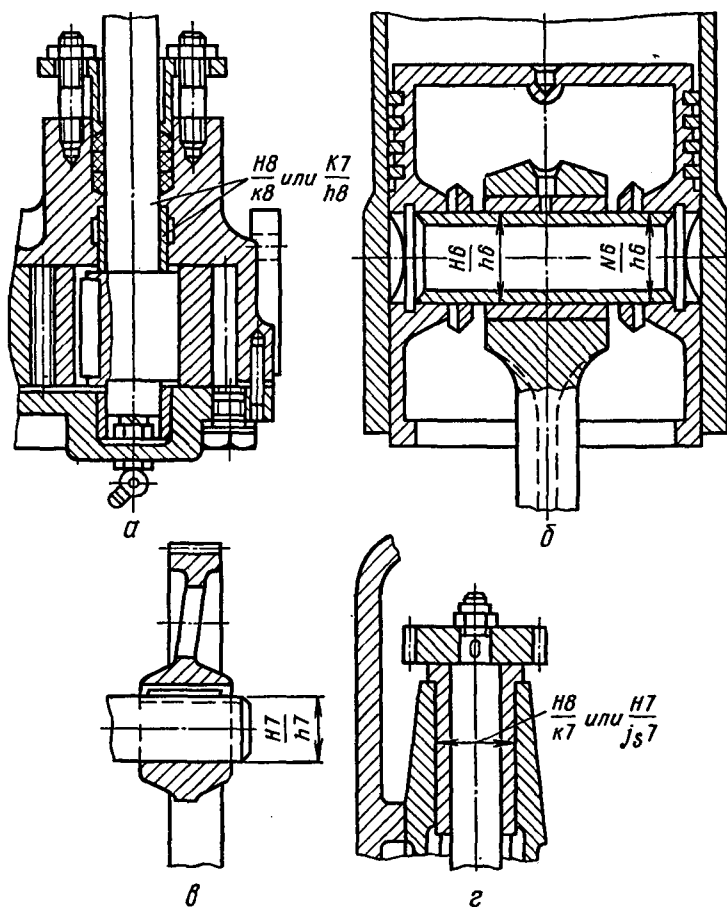


Рис. 98. Примеры использования переходных посадок:

а — шестеренный насос; б — узел кривошипно-шатунного механизма тракторного двигателя; в — соединение зубчатого колеса с валом; г — узел масляного насоса трактора.

Примерное соотношение посадок с натягом и с зазором в различных переходных посадках приведено в таблице 15.

Из таблицы видно, что при посадке $\frac{H7}{k6}$ бóльшая часть сопряжений будет иметь натяги и зазоры, близкие к нулю. Поэтому для центрирования деталей наибольшее распространение получила именно эта посадка, которая является предпочтительной. Посадку $\frac{H7}{n6}$, которая также относится к предпочтительным, применяют в тех случаях, когда, кроме центрирования, натяг необходим и для удерживания детали от осевых перемещений. При частой разборке и сборке сопряжения рекомендуется посадка $\frac{H7}{js6}$, которая является предпочтительной.

Примеры использования переходных посадок показаны на рисунке 98.

§ 61. РАСЧЕТ И ВЫБОР ПОСАДОК ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ

Надежность и долговечность подшипников качения в значительной степени зависят от правильно выбранных посадок подшипника в корпус и на вал при соблюдении правильного взаимного расположения поверхностей. По точности изготовления ГОСТ 520—71 (СТ СЭВ 774—77) подшипники делятся на пять классов точности — 0, 6, 5, 4 и 2 (в порядке повышения). Подшипники классов точности 6, 5, 4 и 2 используют в станкостроении, приборостроении. В тракторах, автомобилях, сельскохозяйственных и гидромелиоративных машинах применяют подшипники только класса 0.

Допуск на присоединительные размеры подшипника (d_m — внутреннего кольца и D_m — наружного кольца) для класса 0 примерно соответствует IT5, IT6, шероховатость поверхности $R_a = 1,25 \dots 2,5$ мкм.

Допуск на наружное кольцо подшипника задается, как для основного вала, — в тело детали, а допуск на внутреннее кольцо — из тела детали, — не как для основного отверстия. Это делается для того, чтобы у

сопряжений с натягом использовать валы, изготовленные по стандартным переходным посадкам, а не вводить новых посадок.

Для нормальной работы подшипника необходимо, чтобы между кольцами и телами вращения был зазор. При изготовлении подшипника обеспечивают начальный зазор, размер которого строго регламентирован. После посадки подшипника на вал и в корпус начальный зазор уменьшается, как правило, из-за деформации внутреннего кольца после напрессовки его на вал. При установившихся рабочем режиме и температуре в подшипнике образуется рабочий зазор больше посадочного. Именно от рабочего зазора и зависит долговечность подшипника. Но обеспечить рабочий зазор в нужных пределах можно, только правильно назначив посадку и выдержав посадочный зазор заданного размера, который будет зависеть от условий работы подшипника.

Посадку подшипников качения на вал и в корпус выбирают прежде всего в зависимости от характера нагружения колец. Различают три основных вида нагружения колец: циркуляционное, местное, колебательное.

При циркуляционном нагружении кольцо воспринимает нагрузку последовательно всей окружностью, что наблюдается при вращении кольца вместе с сопрягаемой деталью и при постоянном направлении действия нагрузки.

При местном нагружении кольцо воспринимает нагрузку ограниченным участком окружности, например при постоянном направлении нагрузки и неподвижном кольце.

При колебательном нагружении постоянная по направлению нагрузка сочетается с меньшей вращающейся радиальной нагрузкой, при этом равнодействующая сил не совершает полного оборота, а колеблется на определенном участке невращающегося кольца. Такой вид нагружения является как бы промежуточным между циркуляционным и местным.

Посадки подшипников назначают таким образом, чтобы циркуляционно нагруженные кольца были неподвижно соединены с сопрягаемой деталью, а местно нагруженные кольца имели посадку с небольшим зазором. Неподвижная посадка обеспечивает равномерный

износ циркуляционно нагруженного кольца. Зазор у местно нагруженного кольца позволяет ему под действием толчков несколько проворачиваться по посадочной поверхности, в результате чего у кольца попеременно нагружаются разные участки и износ становится более равномерным. Исходя из этих предпосылок, для установки радиальных подшипников рекомендуются поля допусков валов и отверстий, приведенные в таблице 16.

16. Поля допусков вала и отверстия для установки радиальных подшипников качения класса точности 0 [ГОСТ 3325—85 (СТ СЭВ 773—77)]

Вид нагружения колец	Поля допусков вала (под внутреннее кольцо подшипника)	Поля допусков отверстия корпуса (под наружное кольцо подшипника)
Циркуляционное	$j_s6, k6, m6, n6$	$K7, M7, N7, P7$
Местное	$f6, g6, h6, js6$	$J_s7, H7, H8, H9, G7$
Колебательное	$js6$	J_s7

Для циркуляционно нагруженных колец посадку можно выбрать более определенно по интенсивности радиальной нагрузки на посадочной поверхности P_R [2].

Интенсивность нагрузки

$$P_R = \frac{R}{B} K_n F F_A, \quad (79)$$

где R — расчетная радиальная реакция опоры, Н; B — рабочая ширина посадочного места, м; K_n — динамический коэффициент посадки, зависящий от характера нагрузки [коэффициент изменяется от 1 (при нагрузке с умеренными толчками и вибрацией, перегрузке до 150%) до 1,8 (при нагрузке с сильными ударами и вибрацией, перегрузке до 300%)] ; F — коэффициент, учитывающий степень ослабления посадочного натяга при полом вале и тонкостенном корпусе [коэффициент изменяется для вала от 1 до 3 (при массивном вале $F=1$), для корпуса — от 1 до 1,8]; F_A — коэффициент неравномерности распределения радиальной нагрузки R между рядами роликов в двухрядных конических роликоподшипниках или между вдвоенными шарикоподшипниками при наличии осевой нагрузки A на опору (коэффициент изменяется от 1 до 2; при отсутствии осевой нагрузки $F_A=1$).

17. Допускаемые значения интенсивности нагрузки P_R

Диаметр, мм	P_R , кН/м, при поле допуска									
	вала					корпуса				
	$js6$	$k6$	$m6$	$n6$	$k7$	$K7$	$M7$	$N7$	$P7$	
Отверстия внутреннего кольца подшипника свыше (до)										
18(80)	До 300	300... 1400	1400... 1600	1600... 3000	—	—	—	—	—	—
80(180)	До 600	600... 2000	2000... 2500	2500... 4000	—	—	—	—	—	—
180(360)	До 700	700... 3000	3000... 3500	3500... 6000	—	—	—	—	—	—
Отверстия наружной поверхности наружного кольца подшипника свыше (до)										
50(180)	—	—	—	—	—	До 800	800... 1000	1000... 1300	1300... 2500	1300... 2500
180(360)	—	—	—	—	—	До 1000	1000... 1500	1500... 2000	2000... 3300	2000... 3300

Допускаемые значения P_R , подсчитанные по средним значениям посадочных натягов, приведены в таблице 17.

Пример. У подшипника № 210 циркуляционно нагружено наружное кольцо. Радиальная нагрузка с сильными ударами составляет 8000 Н. Корпус массивный.

По таблице приложения X определяем, что наружный диаметр подшипника $D = 90$ мм, а ширина кольца $B = 20$ мм. Динамический коэффициент посадки в соответствии с характером нагрузки принимаем равным $K_n = 1,8$. Коэффициент, учитывающий степень ослабления посадочного натяга при тонкостенном корпусе, принимаем $F = 1$, так как корпус массивный. Коэффициент неравномерности распределения радиальной нагрузки $F_A = 1$, так как подшипник однорядный.

Тогда интенсивность нагрузки

$$P_R = \frac{R}{B} K_n F F_A = \frac{8000}{0,02} \cdot 1,8 \cdot 1 \cdot 1 = 720\,000 \text{ Н/м} = 720 \text{ кН/м}.$$

По таблице 17 выбираем посадку K7.

Для местно нагруженных колец посадку выбирают в зависимости от условий работы и в первую очередь от характера нагрузки и частоты вращения. Рекомендации по выбору посадок для местно нагруженных

18. Рекомендуемые посадки для местно нагруженных колец подшипников

Размеры посадочных диаметров, мм		Поля допусков сопрягаемой с подшипником детали		Типы подшипников
свыше	до	вал	стальной или чугунный корпус	
			неразъемный	

Нагрузка спокойная или с умеренными толчками и вибрацией

—	80	h6	H7	H7, H8	Все типы, кроме штампованных игольчатых
80	260	h6, g6	G7		

Нагрузка с ударами и вибрацией

—	80	h6	Js7	Js6	Все типы, кроме штампованных игольчатых и роликовых конических двухрядных
80	260		H7		

колец приведены в таблице 18, а отклонения — в приложении XI.

При назначении посадок, указанных в таблице, местно нагруженное кольцо может под действием толчков и вибрации проворачиваться. Однако при назначении посадок необходимо помнить, что проворачивание кольца вначале приводит к некоторому увеличению зазора, а затем оно может вызвать ускоренный износ посадочного места. Если учесть, что стоимость корпусных деталей, в которые устанавливают подшипники качения (например, корпус коробки передач, корпус заднего моста трактора или автомобиля), во много раз больше, чем стоимость подшипника, посадки с зазором следует назначать очень осторожно.

Основную систему допусков и посадок применяют только для валов и корпусов, сопрягаемых с подшипниками качения. Для самих подшипников предусмотрены специальные допуски.

Поле допуска диаметра отверстия внутреннего кольца расположено не как для основного отклонения H («в плюс»), а больше соответствует основному отклонению K («в минус»). Расположение поля допуска диаметра наружного кольца соответствует основному отклонению h . Поэтому на чертежах (рис. 99) поля допусков колец подшипников обозначают соответственно: наружного кольца $l0$, внутреннего $L0$ для подшипников класса точности 0. Для классов точности 16, 15, 14, 12 — соответственно $L6$, $L5$, $L4$, $L2$.

При сопряжении деталей, имеющих стандартные размеры, с кольцами подшипника зазоры и натяги

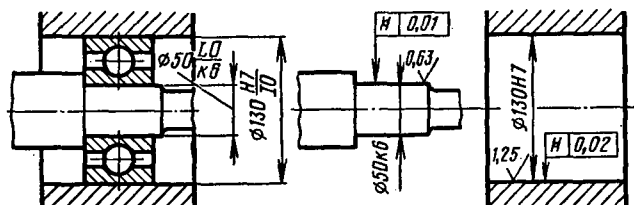


Рис. 99. Обозначение посадок подшипников качения на чертежах.

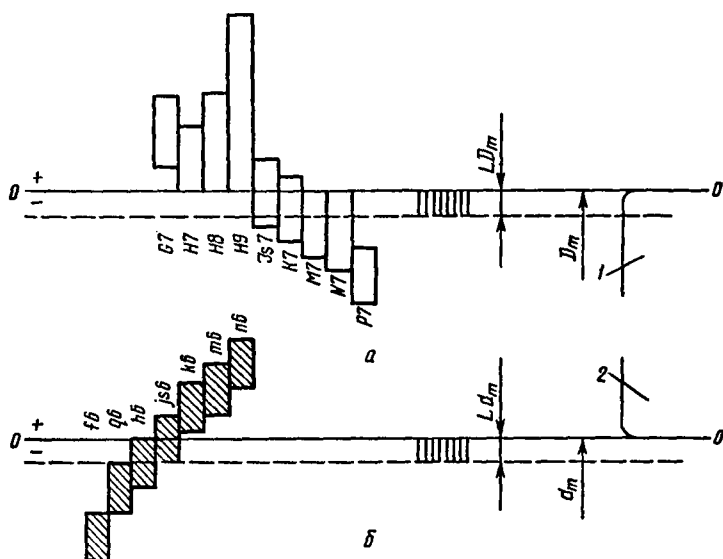


Рис. 100. Схемы расположения полей допусков колец подшипника и сопрягаемых с ним деталей:
 а — отверстия корпусов; б — валы; 1, 2 — наружное и внутреннее кольца.

будут отличными от обычных стандартных посадок. Например, при сопряжении внутреннего кольца подшипника с валами *k*, *m*, *n* вместо переходных посадок будут посадки с гарантированным натягом. Это объясняется расположением поля допуска внутреннего кольца из тела детали. Отличными от стандартных будут и сопряжения корпусов с наружными кольцами подшипника из-за малого допуска на обработку кольца (рис. 100).

Шероховатость посадочных поверхностей валов и отверстий корпусов, сопрягаемых с подшипниками качения, не должна значительно отличаться от шероховатости поверхности самих подшипников. Для подшипников класса точности 0 при диаметре сопрягаемых поверхностей до 80 мм $R_a \leq 1,25$ мкм, при диаметре свыше 80 мм — $R_a \leq 2,5$ мкм. Эти требования обусловлены тем, что неровности посадочных поверхностей срезаются и сминаются в процессе запрес

совки. Из-за этого уменьшается натяг в неподвижных соединениях колец с валом или корпусом. В подвижных соединениях при проворачивании кольца неровности быстро истираются, зазор увеличивается и значительное ослабление посадки приводит к ускоренному изнашиванию посадочных мест.

Допускаемые отклонения от правильной геометрической формы (овальность, конусность) посадочных поверхностей валов и корпусов не должны превышать $1/2$ допуска на обработку, так как данные отклонения приводят к уменьшению натяга в неподвижных соединениях колец с посадочной поверхностью и быстрому увеличению зазора в подвижных соединениях. И то и другое значительно уменьшает технический ресурс подшипников.

Глава 12. РАСЧЕТ РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ

В предыдущих главах рассматривали сопряжения, состоящие из двух деталей — вала и отверстия. Однако у машин, механизмов и некоторых деталей взаимное расположение осей и поверхностей зависит обычно от большого числа сопрягаемых размеров. Определить допуски на все эти размеры сложно, чтобы решить данную задачу, используют размерный анализ. Установление рациональных допусков размеров, определяющих взаимное положение осей и поверхностей, не только обеспечивает взаимозаменяемость и облегчает процесс сборки, но, как правило, обуславливает и эксплуатационные качества машины. Большое значение имеет использование размерного анализа при ремонте машин, когда приходится восстанавливать первоначальное взаимное положение осей и поверхностей.

§ 62. ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Размерный анализ основан на составлении и расчете размерных цепей и нормирован ГОСТ 16319—80 «Цепи размерные. Основные положения. Термины, обозначения и определения» и ГОСТ 16320—80 «Цепи размерные. Расчет плоских цепей».

Размерной цепью называется совокупность размеров, непосредственно участвующих в решении поставленной задачи по определению взаимного положения осей и поверхностей детали, механизма или машины в целом и образующих замкнутый контур.

Звенья — размеры, образующие размерную цепь. Звено, являющееся исходным при постановке задачи и которое при сборке или изготовлении детали выявляется последним, называется **замыкающим**. Остальные звенья называются **составляющими**. Звенья, входящие в цепь, принято обозначать одной буквой русского алфавита. На рисунке 101 показан узел редуктора размеры которого составляют размерную цепь, определяющую взаимное положение поверхностей и осей разных деталей.

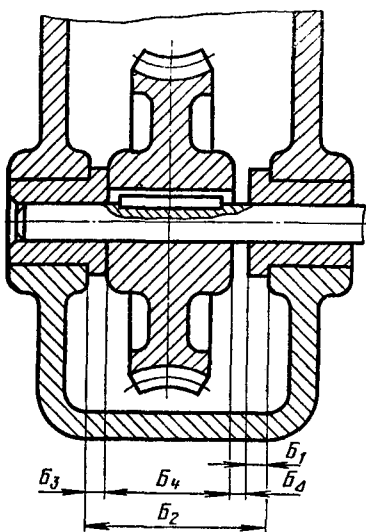


Рис. 101. Сборочная размерная цепь.

B_{Δ} — зазор между червячным колесом и опорной втулкой, так как он выявляется после изготовления всех деталей с размерами B_1, B_2, B_3, B_4 и их сборки.

Примером технологической размерной цепи является размерная цепь ступенчатого валика (см. рис. 102).

Какое из звеньев размерной цепи ступенчатого валика будет замыкающим, зависит от технологии его изготовления. Если валик будет обработан вначале под диаметр d_1 на длине L_1 , затем под диаметр d_2 на длине $(L_1 - L_2)$ и, наконец, под диаметр d_3 на длине $(L_1 - L_2 - L_3)$, то последним выявится размер L_4 , который и будет замыкающим. Если же обрабатывать валик с помощью копировального устройства и вначале получить d_3 на длине L_4 , затем d_2 на длине L_3 и, наконец, d_1 на длине L_2 , то в этом случае последним выявится размер L_1 ,

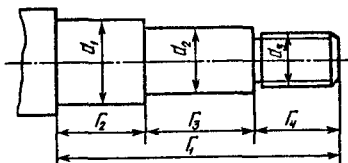


Рис. 102. Подетальная размерная цепь.

являющийся суммой уже полученных размеров. При такой технологии изготовления размер L_1 будет замыкающим звеном размерной цепи.

Составляющие звенья по-разному влияют на замыкающее звено. Например, при увеличении размера B_2 (см. рис. 101) и постоянном размере остальных звеньев замыкающее звено будет увеличиваться. При увеличении каждого из размеров B_1 , B_3 или B_4 и постоянном размере остальных звеньев замыкающее звено будет уменьшаться.

Звенья, с увеличением которых замыкающее звено также увеличивается, называют *увеличивающими*. А звенья, с увеличением которых замыкающее звено уменьшается, называют *уменьшающими*.

Размерные цепи могут быть *линейными*, звеньями которых являются линейные размеры, и *угловыми*, звеньями которых являются угловые размеры.

Различают также *плоские* и *пространственные* размерные цепи.

В плоских размерных цепях линейные размеры могут быть направлены под углом один к другому, но располагаются в одной или нескольких параллельных плоскостях, в пространственных размерных цепях — в непараллельных плоскостях.

§ 63. ПОРЯДОК СОСТАВЛЕНИЯ РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ

Составление размерной цепи начинается с выявления замыкающего звена, т. е. размера, к точности которого предъявляются определенные технические требования, так как он определяет качество работы данного механизма или детали. Такими размерами являются, например, зазор между бичами барабана и декой в молотильном устройстве, зазор между стержнем клапана и коромыслом в газораспределительном механизме и др.

На рисунке 103 показан чертеж узла крепления барабана лебедки. Чтобы обеспечить нормальную работу узла, между торцом барабана и внутренней стенкой боковины корпуса лебедки должен быть зазор, ко-

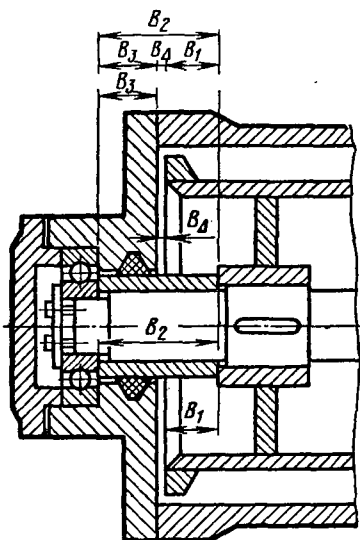


Рис. 103. Узел крепления барабана лебедки (вверху — схема размерной цепи).

положения внутренней стенки боковины корпуса лебедки и торца барабана. Барабан, в свою очередь, упирается внутренней втулкой в распорную втулку, находящуюся на валу. Распорная втулка упирается в подшипник, посаженный в корпус, и прижимается крышкой к торцевой поверхности отверстия под подшипник в корпусе. Коротко эти размерные связи можно записать так:

зазор — барабан;
 барабан — втулка;
 втулка — подшипник;
 подшипник — корпус;
 корпус — зазор.

В размерную цепь войдут размеры между поверхностями касания каждой из этих деталей: у барабана — B_1 , у распорной втулки — B_2 , у корпуса — B_3 . Размеры колец подшипника не влияют на замыкающее звено, так как корпус и втулка касаются его с одной стороны. Затем необходимо убедиться в том, что каждый из этих размеров влияет на замыкающее звено,

который является замыкающим звеном, так как он выявляется после сборки всего узла.

Чтобы построить размерную цепь, определяющую размер зазора B_4 , необходимо выявить все составляющие звенья, т. е. размеры, изменение которых влечет за собой изменение зазора. Зная, что положение деталей в узле определяется поверхностями касания соседних деталей, которые принято называть сборочными базами, мы выявляем эти поверхности, а через них — размерные связи. Рассматриваемый зазор B_4 зависит от взаимного

и определить, как он влияет. Если поочередно увеличивать каждый размер, считая, что остальные звенья в это время остаются постоянными, то размер замыкающего звена во всех случаях будет изменяться. Но с увеличением размера B_2 зазор B_Δ будет увеличиваться, а с увеличением размеров B_1 и B_3 — уменьшаться. Следовательно, размер B_2 — увеличивающее звено, а размеры B_1 и B_3 — уменьшающие звенья.

Для построения схемы размерной цепи необходимо отложить в верхней ее части размеры всех увеличивающих звеньев (в примере B_2), а в нижней части — уменьшающих (B_3 и B_1) и замыкающего звена. Так как размерная цепь — замкнутый контур, сумма номинальных размеров увеличивающих звеньев должна быть равна сумме номинальных размеров уменьшающих звеньев и замыкающего звена, т. е. для данного примера $B_2 = B_3 + B_1 + B_\Delta$, а в общем виде

$$\sum_{i=1}^m A_i^{yb} = \sum_{m+1}^{n-1} A_i^{ym} + A_\Delta,$$

откуда

$$A_\Delta = \sum_{i=1}^m A_i^{yb} - \sum_{m+1}^{n-1} A_i^{ym}, \quad (80)$$

где A_Δ — номинальный размер замыкающего звена; $\sum_{i=1}^m A_i^{yb}$ — сумма номинальных размеров увеличивающих звеньев; $\sum_{m+1}^{n-1} A_i^{ym}$ — сумма номинальных размеров уменьшающих звеньев; m — число увеличивающих звеньев; n — общее число звеньев размерной цепи.

Чтобы общее уравнение размерной цепи стало универсальным, т. е. пригодным для расчета линейных, плоскостных и пространственных цепей, необходимо ввести понятие «передаточное отношение», обозначаемой буквой ξ_i и равное

$$\xi_i = \frac{\partial A_\Delta}{\partial A_i}, \quad (81)$$

т. е. частной производной, показывающей отношение погрешности замыкающего звена (вызванной погрешностью составляющего звена) к погрешности состав-

ляющего звена. Для линейной цепи передаточное отношение равно: для увеличивающих звеньев $\xi_i^y = +1$, для уменьшающих звеньев $\xi_i^y = -1$.

Тогда для любого вида размерных цепей

$$A_{\Delta} = \sum_{i=1}^{n-1} \xi_i A_i. \quad (82)$$

§ 64. МЕТОДЫ ДОСТИЖЕНИЯ ТОЧНОСТИ ЗАМЫКАЮЩЕГО ЗВЕНА

Поскольку размер замыкающего звена зависит от размеров каждого из составляющих звеньев, обеспечить точность замыкающего звена можно, лишь определив необходимую точность каждого составляющего звена. В процессе конструирования при расчете размерных цепей приходится решать прямую и обратную задачи.

Прямая задача заключается в определении допусков и предельных отклонений на все составляющие звенья по известному допуску и предельным отклонениям замыкающего звена.

Обратная задача заключается в определении допуска и предельных отклонений замыкающего звена по известным допускам и предельным отклонениям всех составляющих звеньев. Как правило, ее используют для проверки правильно ли назначены допуски и предельные отклонения составляющих звеньев при решении прямой задачи. Обе эти задачи, цель которых достижение необходимой точности замыкающего звена, можно решать различными методами: полной взаимозаменяемости; неполной взаимозаменяемости; групповой взаимозаменяемости; пригонки; регулирования.

В размерных цепях, в которых должна быть обеспечена полная взаимозаменяемость, допуски рассчитывают по методу максимума-минимума.

Метод расчета на максимум-минимум учитывает только предельные отклонения звеньев размерной цепи и самые неблагоприятные их сочетания.

Размерные цепи, для которых оказывается экономически оправданным риск возможного выхода за пределы поля допуска замыкающих звеньев у части изделий, рассчитывают вероятностным методом.

Вероятностный метод расчета учитывает рассеяние размеров и вероятность различных сочетаний отклонений составляющих звеньев размерной цепи.

§ 65. МЕТОД РАСЧЕТА РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ НА МАКСИМУМ-МИНИМУМ

Чтобы обеспечить полную взаимозаменяемость, необходимо даже при самых неблагоприятных сочетаниях размеров составляющих звеньев получить размеры замыкающего звена в заданных пределах. Этот принцип лежит в основе метода расчета на максимум-минимум.

Запишем выражения максимального и минимального значений замыкающего звена:

$$A_{\Delta_{\max}} = \sum_{i=1}^m A_{i_{\max}}^{y^B} - \sum_{m+1}^{n-1} A_{i_{\min}}^{y^M};$$

$$A_{\Delta_{\min}} = \sum_{i=1}^m A_{i_{\min}}^{y^B} - \sum_{m+1}^{n-1} A_{i_{\max}}^{y^M}.$$

Вычтя из первого равенства второе и перегруппировав члены правой части с их знаками, получим

$$\begin{aligned} A_{\Delta_{\max}} - A_{\Delta_{\min}} &= \sum_{i=1}^m A_{i_{\max}}^{y^B} - \sum_{i=1}^m A_{i_{\min}}^{y^B} + \\ &+ \sum_{m+1}^{n-1} A_{i_{\max}}^{y^M} - \sum_{m+1}^{n-1} A_{i_{\min}}^{y^M}. \end{aligned}$$

Так как разность предельных размеров есть допуск, то можно записать

$$TA_{\Delta} = \sum_{i=1}^m TA_i^{y^B} + \sum_{m+1}^{n-1} TA_i^{y^M}$$

или

$$TA_{\Delta} = \sum_{i=1}^{n-1} TA_i, \quad (83)$$

т. е. допуск замыкающего звена равен сумме допусков всех составляющих звеньев.

Это понятно, так как замыкающее звено выявляется последним и все отклонения размеров составляющих звеньев сказываются на отклонениях размера замыкающего звена. Именно поэтому его допуск не может быть меньше суммы допусков составляющих звеньев, а в крайнем случае должен быть равен этой сумме.

Чтобы определить отклонения замыкающего звена, выразим предельные размеры в виде алгебраической суммы номинального размера и предельного отклонения:

$$A_{\Delta} + ESA_{\Delta} = \left(\sum_{i=1}^m A_i^{yb} + \sum_{i=1}^m ESA_i^{yb} \right) - \left(\sum_{m+1}^{n-1} A_i^{ym} + \sum_{m+1}^{n-1} EIA_i^{ym} \right);$$

после перегруппирования

$$ESA_{\Delta} = \sum_{i=1}^m A_i^{yb} - \sum_{m+1}^{n-1} A_i^{ym} - A_{\Delta} + \sum_{i=1}^m ESA_i^{yb} - \sum_{m+1}^{n-1} EIA_i^{ym}.$$

Так как первые три члена правой части вместе равны 0, что следует из общего уравнения размерной цепи, получаем

$$ESA_{\Delta} = \sum_{i=1}^m ESA_i^{yb} - \sum_{m+1}^{n-1} EIA_i^{ym},$$

аналогично

$$EIA_{\Delta} = \sum_{i=1}^m EIA_i^{yb} - \sum_{m+1}^{n-1} ESA_i^{ym}.$$

(84)

Эти равенства можно записать в виде, более удобном для расчета размерных цепей, выразив предельные отклонения через координату середины поля допуска или, другими словами, через среднее отклонение EMA_i :

$$EMA_i = (ESA_i + EIA_i)/2.$$

Тогда

$$\left. \begin{aligned} ESA_i &= EMA_i + 0,5TA_i; \\ EIA_i &= EMA_i - 0,5TA_i. \end{aligned} \right\} \quad (85)$$

Аналогично для замыкающего звена

$$\left. \begin{aligned} ESA_{\Delta} &= EMA_{\Delta} + 0,5TA_{\Delta}; \\ EIA_{\Delta} &= EMA_{\Delta} - 0,5TA_{\Delta}. \end{aligned} \right\} \quad (86)$$

Чтобы получить формулу, определяющую среднее отклонение замыкающего звена, запишем выражения (84) через средние отклонения и половины полей допусков:

$$\begin{aligned} EMA_{\Delta} + 0,5TA_{\Delta} &= \sum_{i=1}^m EMA_i^{yb} + 0,5 \sum_{i=1}^m TA_i^{yb} - \\ &- \sum_{m+1}^{n-1} EMA_i^{ym} + 0,5 \sum_{m+1}^{n-1} TA_i^{ym}; \\ EMA_{\Delta} - 0,5TA_{\Delta} &= \sum_{i=1}^m EMA_i^{yb} - 0,5 \sum_{i=1}^m TA_i^{yb} - \\ &- \sum_{m+1}^{n-1} EMA_i^{ym} - 0,5 \sum_{m+1}^{n-1} TA_i^{ym}. \end{aligned}$$

Сложив эти равенства и разделив на 2, получим

$$EMA_{\Delta} = \sum_{i=1}^m EMA_i^{yb} - \sum_{m+1}^{n-1} EMA_i^{ym}, \quad (87)$$

а для любого вида размерных цепей

$$EMA_{\Delta} = \sum_{i=1}^{n-1} \xi_i EMA_i. \quad (88)$$

Таким образом, мы получили все уравнения, необходимые для решения обратной задачи.

Более сложная — прямая задача, когда по известному допуску и отклонениям замыкающего звена требуется найти допуски и отклонения всех составляющих звеньев. Поскольку допуск на замыкающее звено дол-

жен быть равен сумме допусков всех составляющих звеньев, суть задачи сводится к тому, как распределить допуск замыкающего звена между всеми составляющими звеньями. Прямую задачу можно решить двумя способами: способом равных допусков и способом назначения допусков одного качества.

При способе равных допусков, когда составляющие звенья близки по значению и могут быть выполнены с одинаковой точностью, $TA_1 = TA_2 = \dots = TA_{n-1}$, тогда $TA_\Delta = (n-1)TA_i$, откуда

$$TA_i = \frac{TA_\Delta}{n-1},$$

т. е. допуск любого составляющего звена равен допуску замыкающего звена, деленному на число составляющих звеньев.

Этот способ прост, но не учитывает разницу в номинальных размерах составляющих звеньев и связанную с ней разницу в технологической сложности получения размеров с заданными допусками. Поэтому способ равных допусков применяют только для ориентировочных расчетов и предварительной оценки точности изготовления составляющих звеньев. Чтобы сложность получения заданной точности всех звеньев была приблизительно одинаковой, необходимо назначить допуски одного качества, а для этого надо допуск замыкающего звена разделить пропорционально единице допуска каждого составляющего звена. Допуск звена $TA_i = ai_{A_i}$. Подставив это значение допуска в выражение

$$TA_\Delta = \sum_{i=1}^{n-1} TA_i,$$

получим

$$TA_\Delta = \sum_{i=1}^{n-1} ai_{A_i} = a \sum_{i=1}^{n-1} i_{A_i}.$$

Так как мы хотим назначить допуски одного качества, число единиц допуска у всех звеньев должно быть одинаковым. Отсюда

$$a = \frac{TA_\Delta}{\sum_{i=1}^{n-1} i_{A_i}}. \quad (89)$$

По полученному числу единиц допуска, или коэффициенту точности a , находят по таблице 13 квалитет, по которому необходимо назначить допуски на все звенья.

Если коэффициент точности a не подходит близко ни к одному квалитету, а имеет какое-то среднее значение, можно на часть звеньев, более сложных в изготовлении, назначить допуски по ближайшему грубому квалитету, а на остальные звенья — по более точному. При этом должно соблюдаться условие

$$\sum_{i=1}^{n-1} TA_i \leq TA_{\Delta}. \quad (90)$$

Предельные отклонения желательно назначать в соответствии с правилами, выработанными практикой применительно к существующим технологическим процессам изготовления деталей. Для размеров охватывающих поверхностей (диаметр отверстия, ширина паза и др.) отклонения назначают, как для основного отверстия H , т. е. $EIA = 0$. Для размеров охватываемых поверхностей (диаметр вала, толщина выступа и др.) отклонения назначают, как для основного вала h , т. е. $ESA_i = 0$. Для таких размеров, как глубина отверстия, ширина уступа, межцентровое расстояние, предельные отклонения обычно принимают симметричными $\pm IT/2$.

Назначенные отклонения должны удовлетворять следующим условиям:

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^m ESA_i^{yb} - \sum_{m+1}^{n-1} EIA_i^{ym} &\leq ESA_{\Delta}; \\ \sum_{i=1}^m EIA_i^{yb} - \sum_{m+1}^{n-1} ESA_i^{ym} &\geq EIA_{\Delta}. \end{aligned} \right\} \quad (91)$$

Если эти условия не соблюдаются, корректируют отклонения. Когда допуск приходится несколько уменьшать, тогда корректировку осуществляют за счет наиболее просто изготавливаемого и измеряемого звена. Когда же путем корректировки допуск можно несколько расширить, ее проводят за счет наиболее сложного

в изготовлении звена. При известных допусках замыкающего звена и всех (кроме одного) составляющих звеньев допуск корректирующего звена

$$TA_{\text{кор}} = TA_{\Delta} - \sum_{i=1}^{n-2} ITA_i. \quad (92)$$

Если допуск по этому уравнению получается с отрицательным знаком или чрезвычайно малым, следует применять более точный квалитет для одного или нескольких составляющих звеньев.

Предельные отклонения корректирующего увеличивающего звена находят из следующих уравнений:

$$\left. \begin{aligned} ESA_{\text{кор}}^{yb} &= \sum_{i=1}^{n-2} EIA_i^{ym} + ESA_{\Delta} - \sum_{i=1}^{m-1} ESA_i^{yb}; \\ EIA_{\text{кор}}^{yb} &= \sum_{i=1}^{m-1} ESA_i^{ym} + EIA_{\Delta} - \sum_{i=1}^{n-2} EIA_i^{yb}. \end{aligned} \right\} \quad (93)$$

Предельные отклонения корректирующего уменьшающего звена находят из аналогичных уравнений

$$\left. \begin{aligned} ESA_{\text{кор}}^{ym} &= \sum_{i=1}^m EIA_i^{yb} - EIA_{\Delta} - \sum_{i=1}^{n-2} ESA_i^{ym}; \\ EIA_{\text{кор}}^{ym} &= \sum_{i=1}^m ESA_i^{yb} - ESA_{\Delta} - \sum_{i=1}^{n-2} EIA_i^{ym}. \end{aligned} \right\} \quad (94)$$

Пример. Рассчитаем допуски размерной цепи червячного редуктора (см. рис. 101) для условий: $B_1 = 5$ мм; $B_2 = 55$ мм; $B_3 = 5$ мм; $B_4 = 45$ мм. Зазор между червячным колесом и втулкой должен находиться в пределах от 0,1 до 0,45 мм, т. е. $B_{\Delta} = 0 \pm_{0,10}^{0,45}$ мм.

Определяем коэффициент точности размерной цепи

$$a = \frac{TB_{\Delta}}{\sum_{i=1}^{n-1} i_{B_i}} = \frac{350}{0,75 + 1,90 + 1,60 + 0,75} = 70.$$

Значения i_{B_i} найдены по таблице 12.

По коэффициенту точности размерной цепи $a=70$ устанавливаем допуски на все составляющие звенья по IT10 (см. таблицу 13).

Для охватываемых размеров B_1 , B_3 и B_4 отклонения определяем, как для основного вала:

$$B_1 = 5_{-0,048} \text{ мм}; B_3 = 5_{-0,048} \text{ мм}; B_4 = 45_{-0,1} \text{ мм}.$$

В качестве корректирующего звена выбираем B_2 , так как использовать обычные калибры для его контроля трудно. Тогда отклонения размера B_2 рассчитываем как для корректирующего увеличивающего звена по таким формулам:

$$ESB_2 = EIB_1 + EIB_3 + EIB_4 + ESB_\Delta = (-48) + (-48) + (-100) + +450 = +254 \text{ мкм};$$

$$EIB_2 = ESB_1 + ESB_3 + ESB_4 + EIB_\Delta = 0 + 0 + 0 + 100 = +100 \text{ мкм}.$$

Округляем отклонения до сотых долей миллиметра для облегчения контроля и окончательно записываем $B_2 = 55 \pm_{0.10}^{0.25}$

Проверим, правильно ли рассчитана размерная цепь, используя следующие условия:

$$ESB_2 - (EIB_1 + EIB_3 + EIB_4) = 250 - (-48 - 48 - 100) = +446 < ESB_\Delta = 450 \text{ мкм};$$

$$EIB_2 - (ESB_1 + ESB_3 + ESB_4) = 100 - (0 + 0 + 0) = +100 = EIB_\Delta = +100 \text{ мкм}$$

Оба условия выдержаны, следовательно, размерная цепь рассчитана правильно.

В размерную цепь часто входят размеры, допуски на которые уже известны и изменять их нельзя. К таким звеньям относятся в первую очередь размеры стандартизированных деталей (болтов, гаек, шайб, колец подшипников качения и т. д.). Размеры указанных деталей, входящие в размерную цепь, будут влиять на размер замыкающего звена, поэтому при расчетах допусков составляющих звеньев необходимо учитывать и известные уже допуски звеньев.

Часто одни и те же размеры деталей входят в различные размерные цепи. Например, на рисунке 104 показаны две размерные цепи узла вентилятора, причем звенья $B_2\Gamma_3$, $B_3\Gamma_4$, $B_4\Gamma_5$ и $B_5\Gamma_6$ входят в обе размерные цепи. Такие размерные цепи называются связанными. Различают параллельно, последовательно связанные и цепи с комбинированной связью. После расчета одной из этих размерных цепей допуски на указанные звенья будут определены, и при расчете другой размерной цепи их можно учесть как известные. Чтобы избежать в этом случае повторных вычислений, расчет следует начинать с размерной цепи, в которой предъявляются самые высокие требования к точности замыкающего звена.

При расчете размерных цепей методом полной взаимозаменяемости известные допуски звеньев учитывают следующим образом. Допуск замыкающего звена равен сумме допусков всех составляющих звеньев,

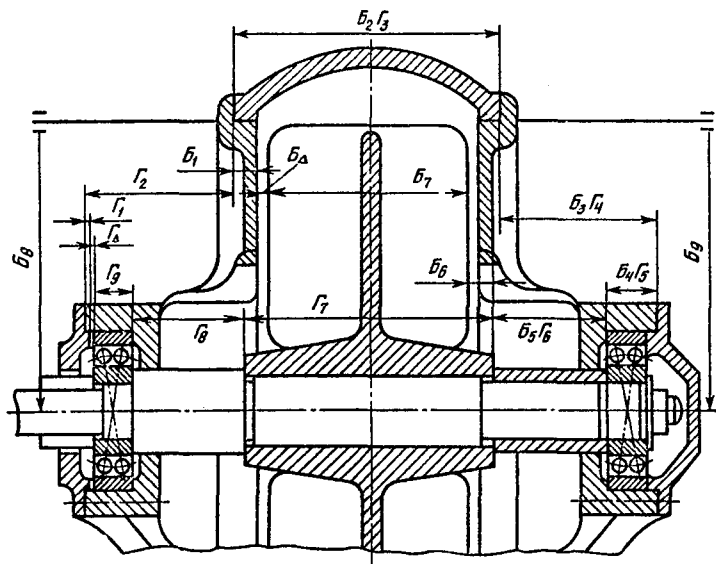


Рис. 104. Размерные цепи узла вентилятора (пример связанных размерных цепей).

в том числе и известных. Но так как изменить известные допуски звеньев нельзя, то оставшуюся часть допуска замыкающего звена следует распределить между остальными звеньями. Исходя из этого, коэффициент точности размерной цепи с имеющимися известными допусками можно определить по формуле

$$a = \frac{TA_{\Delta} - \sum_{i=1}^{n-1} TA_{i_{\text{изв}}}}{\sum_{i=1}^q i_{A_{i_{\text{опр}}}}}, \quad (95)$$

где $\sum_{i=1}^{n-1} TA_{i_{\text{изв}}}$ — сумма известных допусков составляющих звеньев;

$\sum_{i=1}^q i_{A_{i_{\text{опр}}}}$ — сумма единиц допуска всех остальных (определяемых)

составляющих звеньев; q — число звеньев, для которых определяют допуски.

Дальнейший расчет проводят в обычной последовательности.

Преимущества расчета размерных цепей методом полной взаимозаменяемости заключаются в упрощении процесса сборки и возможности его точного нормирования, а также в создании более благоприятных условий для специализации и кооперирования производства. К недостаткам этого метода следует отнести получение излишне жестких, технологически трудно выполнимых допусков, невозможность использовать его для расчета цепей высокой точности. Исходя из этой характеристики метода полной взаимозаменяемости, можно определить область его применения: предварительный расчет допусков; расчет допусков в мелкосерийном и индивидуальном производстве; расчет размерных цепей невысокой точности.

§ 66. ВЕРОЯТНОСТНЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ

При расчете размерных цепей на максимум-минимум исходя из того, что даже при самом неблагоприятном сочетании размеров звеньев (например, когда все увеличивающие звенья будут наибольшими, а все уменьшающие звенья будут наименьшими) замыкающее звено должно находиться в пределах поля допуска. Этим достигается полная (или абсолютная, как ее иногда называют) взаимозаменяемость. Но допуски при этом необходимо назначать необоснованно малые, что значительно удорожает изготовление деталей. Необоснованность предпосылок расчета размерных цепей методом полной взаимозаменяемости, или методом расчета на максимум-минимум, объясняется тем, что в партии изделий вероятность одновременного попадания в один узел наибольших размеров всех увеличивающих звеньев и наименьших размеров всех уменьшающих звеньев чрезвычайно мала и с увеличением числа звеньев в размерной цепи все более уменьшается. Если в механизме имеется размерная цепь, состоящая из 10 звеньев, то вероятность появления наихудшего сочетания равна 0,00000000000002. Практически это значит, что даже при выпуске предприятием одного миллиона таких механизмов в день наихудшее сочета-

ние будет встречаться в среднем один раз в 10...15 тысяч лет. Из примера видно, что для многозвенных размерных цепей теоретически необосновано применять метод расчета на максимум-минимум.

Поэтому в крупносерийном и массовом производстве при расчете размерных цепей необходимо использовать основные положения теории вероятностей. Размер замыкающего звена можно рассматривать как сложное случайное событие, зависящее от нескольких независимых простых случайных событий — размеров составляющих звеньев. Поэтому на основании закона сложения случайных независимых событий среднеквадратическое отклонение размера замыкающего звена

$$\sigma_{\Delta} = \sqrt{\sigma_{A_1}^2 + \sigma_{A_2}^2 + \dots + \sigma_{A_{n-1}}^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^{n-1} \sigma_{A_i}^2},$$

где σ_{A_i} — среднеквадратические отклонения размеров составляющих звеньев.

Если принять, что закон распределения размеров составляющих звеньев — нормальный и кривая распределения симметрична относительно середины поля допуска, а поле рассеяния V равно допуску T , то, определив из выражения $t = \frac{T}{2\sigma}$ среднеквадратическое отклонение через допуск и коэффициент риска $\sigma_{A_i} = \frac{TA_i}{2t_i}$, можно записать

$$\frac{TA_{\Delta}}{2t_{\Delta}} = \sqrt{\left(\frac{TA_1}{2t_1}\right)^2 + \left(\frac{TA_2}{2t_2}\right)^2 + \dots + \left(\frac{TA_{n-1}}{2t_{n-1}}\right)^2}.$$

Примем коэффициент риска для всех составляющих звеньев одинаковым и равным $t_n = 3$, т. е. будем считать, что при получении всех размеров составляющих звеньев выбран технологический процесс, близкий к оптимальному, тогда, обозначив отношение коэффици-

ента риска составляющих звеньев к коэффициенту риска замыкающего звена через

$$\eta = \frac{t_n}{t_\Delta}, \quad (96)$$

окончательно получим

$$TA_\Delta = \frac{1}{\eta} \sqrt{\sum_{i=1}^{n-1} TA_i^2}. \quad (97)$$

Коэффициент η , равный отношению коэффициентов риска составляющих и замыкающего звена, определяет вероятность появления брака по замыкающему звену. Если же вероятный процент брака по замыкающему звену задан, то через коэффициент η находят возможность расширения полей допусков составляющих звеньев.

Чтобы найти отклонения замыкающего звена, необходимо определить координату середины поля допуска этого звена, которая при указанных ранее допущениях будет совпадать с центром группирования размеров замыкающего звена. В этом случае

$$EMA_\Delta = \sum_{i=1}^{n-1} \xi_i EMA_i.$$

Тогда отклонения замыкающего звена могут быть найдены из выражений (рис. 105)

$$\begin{aligned} ESA_\Delta &= EMA_\Delta + 0,5TA_\Delta; \\ EIA_\Delta &= EMA_\Delta - 0,5TA_\Delta. \end{aligned}$$

С помощью этих уравнений можно решить обратную задачу. Допуски составляющих звеньев по известному допуску замыкающего звена определяют методом, аналогичным методу полной взаимозаменяемости, но коэффициент точности размерной цепи находят с учетом

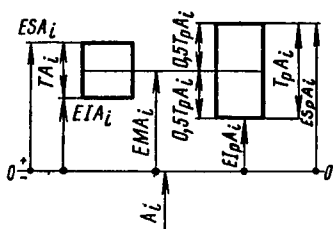


Рис. 105. Вычисление расширенных предельных отклонений составляющих звеньев.

сложения размеров составляющих звеньев как случайных и независимых событий. Если значения допусков составляющих звеньев, выраженные через единицу допуска и число единиц допуска, подставить в формулу (96), то получим

$$TA_{\Delta} = \frac{1}{\eta} \sqrt{\sum_{i=1}^{n-1} a_p^2 i_{A_i}^2} = \frac{a_p}{\eta} \sqrt{\sum_{i=1}^{n-1} i_{A_i}^2},$$

откуда

$$a_p = \frac{TA_{\Delta} \eta}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n-1} i_{A_i}^2}}, \quad (98)$$

где a_p — коэффициент точности размерной цепи, полученный вероятностным методом (так как этот метод позволяет расширить допуски по сравнению с методом расчета на максимум-минимум, добавлен индекс «р»).

По коэффициенту a_p определяют, по какому качеству должны быть изготовлены все составляющие звенья.

Назначенные допуски должны удовлетворять следующему условию:

$$\frac{1}{\eta} \sqrt{\sum_{i=1}^{n-1} IT_p A_i^2} \leq TA_{\Delta}. \quad (99)$$

Чтобы координата центра группирования размеров замыкающего звена не изменялась, надо сохранить координаты центров группирования составляющих звеньев. В связи с этим поля допусков составляющих звеньев расширяют в обе стороны симметрично (см. рис. 105). Тогда отклонения расширенных допусков составляющих звеньев могут быть найдены из выражений

$$ES_p A_i = EMA_i + 0,5 IT_p A_i;$$

$$EI_p A_i = EMA_i - 0,5 IT_p A_i.$$

С помощью этих уравнений решают прямую задачу вероятностным методом.

Так как коэффициент точности выбранного качества, как правило, не равен рассчитанному и может быть несколько больше его, необходимо определить вероятный процент брака по замыкающему звену для

технологических цепей или процент ожидаемой переборки узлов для сборочных размерных цепей. Выбрав квалитет, по таблицам находят коэффициент точности $a_{ст}$. Затем вычисляют η по уравнению

$$\eta = \frac{a_{ст}}{TA_{\Delta}} \sqrt{\sum_{i=1}^{n-1} i_{A_i}}. \quad (100)$$

Определив из формулы (96) коэффициент риска по замыкающему звену

$$t_{\Delta} = \frac{t_n}{\eta},$$

по таблицам находят соответствующее значение функции Лапласа $\Phi_{(t)}$ и вычисляют процент брака или переборки по уравнению

$$Q_{\Delta} = (1 - 2\Phi_{(t)})100\%. \quad (101)$$

На основании технико-экономических расчетов делают заключение, целесообразно ли размеры изготовлять по выбранному квалитету при условии получения брака в количестве $Q_{\Delta}\%$, или целесообразно все размеры выпускать по более точному квалитету с большими затратами на обработку, чтобы полностью исключить возможность появления брака.

Пример. Чтобы оценить экономическую эффективность вероятностного метода расчета размерных цепей, рассчитаем допуски размерной цепи червячного редуктора (см. рис. 101) этим методом и сравним результаты с расчетом на максимум-минимум.

Для условий $B_1 = 5$ мм, $B_2 = 55$ мм, $B_3 = 5$ мм, $B_4 = 45$ мм и $B_{\Delta} = 0_{-0,10}^{+0,15}$ мм задаемся процентом брака по замыкающему звену $Q_{\Delta} = 0,27\%$, т. е. практически близким к нулю.

Вычисляем функцию Лапласа

$$\Phi_{(t_{\Delta})} = \frac{100 - Q_{\Delta}}{200} = \frac{100 - 0,27}{200} = 0,49965$$

и по таблице приложения 1 находим соответствующее значение $t_{\Delta} = 3$. Тогда

$$\eta = \frac{t_n}{t_{\Delta}} = \frac{3}{3} = 1.$$

Определяем коэффициент точности размерной цепи из выражения (98):

$$a_p = \frac{350 \cdot 1}{\sqrt{0,75^2 + 1,9^2 + 1,6^2 + 0,75^2}} = 130.$$

По коэффициенту точности размерной цепи $a_p = 130$ устанавливаем допуски на все составляющие звенья по $IT11$. Тогда предельные отклонения звеньев будут следующими:

$$B_1 = 5_{-0,075} \text{ мм}; B_2 = 55^{+0,19} \text{ мм}; B_3 = 5_{-0,075} \text{ мм}; B_4 = 45_{-0,16} \text{ мм}$$

Проверим, правильно ли выбрали допуски по условию (99):

$$\frac{1}{1} \sqrt{75^2 + 190^2 + 72^2 + 160^2} = 270 < 350.$$

Проверка показывает, что даже при переходе с $IT10$ на $IT11$ для всех составляющих звеньев по сравнению с расчетом на максимум-минимум можно еще больше расширить поля допусков, так как остается большой запас точности по замыкающему звену. Если назначить допуск на звено B_4 по $IT12$, то и тогда точность замыкающего звена будет обеспечена. Действительно, при $B_4 = 45_{-0,25}$ мм проверка дает следующий результат:

$$\frac{1}{1} \sqrt{75^2 + 190^2 + 75^2 + 250^2} = 331 < 350.$$

Следовательно, точность замыкающего звена при этих расширенных допусках будет обеспечена.

Когда в цепи имеются звенья с известными допусками, их учитывают так же, как и при расчете методом максимум-минимум, т. е. при определении коэффициента точности размерной цепи.

Действительно,

$$TA_{\Delta} = \frac{1}{\eta} \sqrt{\sum_{i=1}^{n-1} TA_i^2} = \frac{1}{\eta} \sqrt{\sum_{i=1}^g a_p^2 i_{A_i \text{ опр}}^2 + \sum_{q+1}^{n-1} TA_{i \text{ изв}}^2},$$

откуда

$$a_p = \sqrt{\frac{TA_{\Delta}^2 \eta^2 - \sum_{q+1}^{n-1} TA_{i \text{ изв}}^2}{\sum_{i=1}^g i_{A_i \text{ опр}}^2}}. \quad (102)$$

Дальнейший расчет ведут порядком, обычным для теоретико-вероятностного метода.

Ввиду того, что в большинстве случаев закон распределения размеров составляющих звеньев в большей или меньшей степени отличается от закона нормального распределения, а систематические ошибки обработки приводят к смещению центра группирования относительно середины поля допуска, для расчета размерных цепей при любом законе распределения можно

использовать более точные формулы. С этой целью вводят коэффициент относительного рассеяния λ_i , определяемый из выражения

$$\lambda_i = \frac{6\sigma_i}{TA_i}, \quad (103)$$

где TA_i — допуск размера i -го составляющего звена; σ_i — среднее квадратическое отклонение i -го составляющего звена, определяемое экспериментально.

Если закон распределения составляющих звеньев неизвестен, то для всех составляющих звеньев рекомендуется брать $\lambda_i = 1,5$. Зная λ_i , можно более точно определить зависимость между допуском замыкающего и допуском составляющих звеньев по уравнению

$$TA_\Delta = \frac{1}{\lambda_\Delta} \sqrt{\sum_{i=1}^{n-1} \lambda_i^2 TA_i^2}, \quad (104)$$

где λ_Δ — коэффициент относительного рассеяния замыкающего звена.

При известных λ_i всех составляющих звеньев приближенное значение λ_Δ можно найти по формуле

$$\lambda_\Delta = 1 + \frac{0,55}{\sum_{i=1}^{n-1} TA_i} \left(\sqrt{\sum_{i=1}^{n-1} \lambda_i^2 TA_i^2} - \sqrt{\sum_{i=1}^{n-1} TA_i^2} \right). \quad (105)$$

В зависимости от принятого процента брака по замыкающему звену коэффициент λ_Δ следует перед постановкой в расчетные формулы умножить на коэффициент λ_0 , значения которого приведены далее:

$q_\Delta, \%$	0,05	0,1	0,2	0,27	0,5	1	1,5	2	3	4	5
λ_0	0,86	0,91	0,97	1	1,06	1,16	1,23	1,29	1,38	1,46	1,52

Несовпадение центра группирования размеров с серединой поля допуска может быть учтено коэффициентом относительной асимметрии α_i кривой распределения отклонений i -го размера. Этот коэффициент

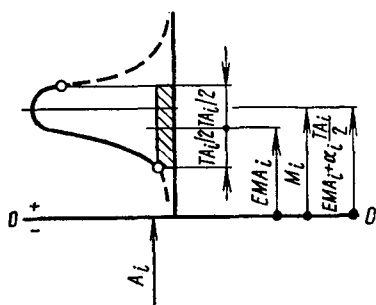


Рис. 106. Определение коэффициента асимметрии.

определяют на основании экспериментальных данных (рис. 106) по формуле

$$\alpha_i = \frac{2(M_i - EMA_i)}{TA_i}, \quad (106)$$

где M_i — координата центра группирования размеров i -го составляющего звена.

Тогда координату центра группирования размеров замыкающего звена можно найти из уравнения

$$M_\Delta = \sum \left(M_i^{ys} + \alpha_i \frac{TA_i^{ys}}{2} \right) - \sum \left(M_i^{ym} + \alpha_i \frac{TA_i^{ym}}{2} \right) - \alpha_\Delta \frac{TA_\Delta}{2}. \quad (107)$$

При известных коэффициентах α_i для всех составляющих звеньев приближенное значение коэффициента α_Δ находят по формуле

$$\alpha_\Delta = \frac{0,59 \sum_{i=1}^{n-1} \alpha_i TA_i}{\sum_{i=1}^{n-1} TA_i} \quad (108)$$

В крупносерийном и массовом производстве при установившейся технологии значения λ_i и α_i можно найти путем сбора и математической обработки статистических данных о действительных размерах составляющих звеньев.

Наиболее рациональная область применения вероятностного метода — решение многозвенных сборочных размерных цепей при сравнительно высокой точности замыкающих звеньев. Необходимо помнить, что этот метод, как и все вероятностные расчеты, можно использовать только в крупносерийном и массовом производстве.

§ 67. МЕТОДЫ КОМПЕНСАЦИИ (ПРИГОНКИ И РЕГУЛИРОВАНИЯ)

Необходимую точность размера замыкающего звена можно обеспечить, введя в размерную цепь звено, размер которого можно изменять и регулировать в определенных пределах. В этом случае погрешности размеров всех составляющих звеньев компенсируются путем изменения размеров одного звена, которое называется компенсирующим, или *компенсатором*. При наличии компенсатора все составляющие звенья размерной цепи можно изготавливать с расширенными допусками, которые свободно выдерживаются при принятом технологическом процессе. Сумма расширенных допусков будет больше, чем заданный допуск замыкающего звена $\sum_{i=1}^{n-1} T_p A_i > T_{A_\Delta}$, и это превышение должно быть устранено с помощью компенсатора. Следовательно, значение компенсации

$$TK = \sum_{i=1}^{n-1} T_p A_i - T_{A_\Delta}. \quad (109)$$

Номинальный размер компенсатора зависит от того, является ли компенсирующее звено увеличивающим или уменьшающим. Его можно определить из общего уравнения размерной цепи

$$A_\Delta = \sum_{i=1}^m A_i^B - \sum_{m+1}^{n-1} A_i^M \pm K, \quad (110)$$

где K — номинальный размер компенсатора.

Если компенсатор является увеличивающим звеном, то в уравнение он входит со знаком плюс, а если уменьшающим — со знаком минус.

Погрешности составляющих звеньев можно компенсировать различными методами за счет звена, являющегося компенсатором.

Метод пригонки заключается в том, что требуемая точность замыкающего звена размерной цепи достигается за счет изменения размера компенсирующего звена путем снятия слоя материала. Этот метод применяют там, где компенсация невелика и в размерной цепи есть звено, размер которого можно легко изме-

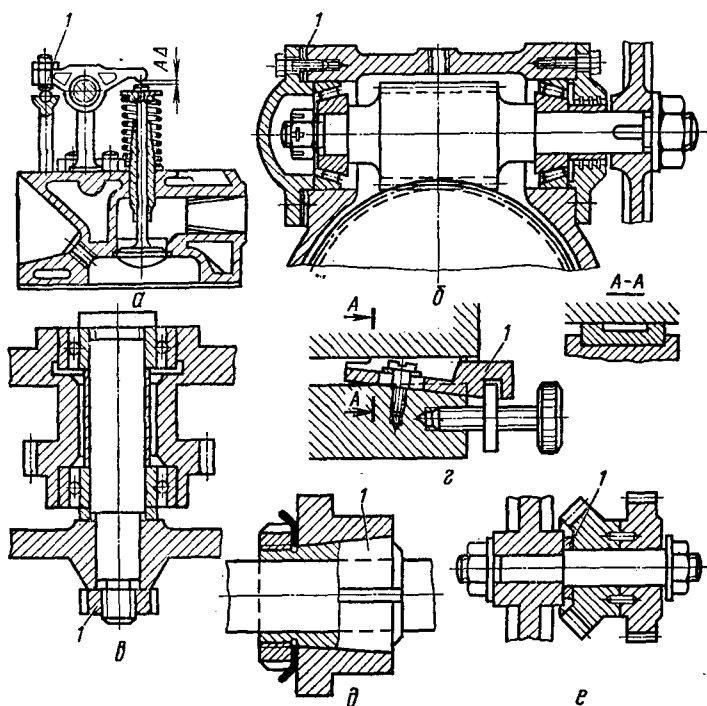


Рис. 107. Примеры использования компенсаторов:

а — в механизме газораспределения двигателя; *б* — в виде набора прокладок; *в, г, д, е* — в виде соответственно резьбового соединения, клина, конической разрезной втулки, шайбы; *1* — компенсатор.

нить. Недостатки этого метода заключаются в сложности нормирования процесса пригонки и полном отходе от принципа взаимозаменяемости.

Разновидность метода пригонки — метод дополнительной обработки по результатам замеров на сборке. Его используют в размерных цепях, где требуется очень высокая точность замыкающего звена, но экономически невыгодно достигать ее точной обработкой всех звеньев и сложно ввести в конструкцию регулируемый компенсатор. В качестве примера на рисунке 107, *е* показан узел крепления конического зубчатого колеса. Точность его положения в осевом направлении обеспечивается изменением размера компенсирующей шайбы. В зависимости от фактических

размеров деталей толщину шайбы подрезают при сборке до соответствующего размера. Недостатки этого метода — отход от принципа взаимозаменяемости и увеличение трудоемкости сборки.

Метод регулирования — распространенный метод, при котором требуемая точность замыкающего звена размерной цепи достигается за счет изменения размера компенсирующего звена без снятия материала. С помощью этого метода можно компенсировать погрешности как линейных, так и диаметральных размеров (рис. 107, *д*).

Основное и очень важное преимущество этого метода заключается в поддержании заданной точности замыкающего звена в процессе эксплуатации при изменении размеров составляющих звеньев из-за износа и деформаций, чего нельзя добиться другими методами. Например, точность высоты подъема клапана двигателя внутреннего сгорания довольно высока и зависит от точности размеров многих деталей (рис. 107, *а*). Обеспечить такую точность при изготовлении машины, тем более поддерживать ее в процессе эксплуатации было бы невозможно без использования компенсатора в виде регулировочного винта. Регулирование зазора в клапанах восстанавливает необходимую точность в сложной размерной цепи.

Роль компенсатора может выполнять специальное звено, выполненное в виде прокладки, шайбы, кольца. В этих случаях происходит ступенчатое регулирование размера. Например, на рисунке 107, *б* показан узел червячного редуктора, где зазор в роликовых подшипниках регулируется набором прокладок. Число ступеней регулирования в этом и аналогичных случаях определяют по формуле

$$n_k = \frac{TK}{TA_\Delta} + 1, \quad (111)$$

где n_k — число ступеней регулирования, т. е. число прокладок, шайб, втулок разного размера, являющихся компенсаторами.

Допуск на изготовление этих компенсаторов может быть найден из выражения

$$TA_k = \frac{TA_\Delta}{n_k}, \quad (112)$$

где TA_k — допуск на изготовление компенсатора.

Номинальный размер компенсатора в этом, как и в других случаях, определяют из общего уравнения размерной цепи.

Более совершенны компенсаторы с непрерывным изменением размеров по мере необходимости. К ним относятся винтовые компенсаторы (таким компенсатором и регулируют зазор в клапанах). Кроме того, в различных конструкциях можно использовать эксцентриковые компенсаторы, а также пружинные, обладающие способностью саморегулирования при изменении размеров звеньев в процессе эксплуатации.

Недостаток этого метода заключается во введении в конструкцию дополнительных деталей, что усложняет и удорожает ее.

Применение того или другого метода компенсации зависит от конструкции узла, характера производства (индивидуального, мелкосерийного, крупносерийного или массового), технологии сборки и определяется в конечном счете технико-экономическим расчетом.

§ 68. МЕТОД ГРУППОВОЙ ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТИ

Применение метода групповой взаимозаменяемости удобнее рассмотреть начиная с решения простейшей размерной цепи в гладком диаметральной сопряжении, где размеры отверстия и вала — составляющие звенья, а зазор или натяг — замыкающее звено.

Требования, предъявляемые к надежности и долговечности машин, часто вынуждают конструкторов ограничивать допустимые зазоры и натяги очень жесткими пределами. Это приводит к необходимости назначать такие небольшие допуски на обработку, что изготовление деталей становится невозможным или экономически нецелесообразным на имеющемся оборудовании. Например, обеспечить надежную и долговечную работу плунжерной пары топливного насоса можно, если зазор между плунжером и гильзой будет от 1 до 3 мкм.

Из выражения $S_{\max} - S_{\min} = T_D + T_d = 3 - 1 = 2$ следует, что допуск на обработку плунжера

и гильзы должен быть равным 1 мкм. При диаметре сопряжения 8,5 мм находим число единиц допуска

$$a = \frac{T}{i} = \frac{1}{1} = 1.$$

Это означает, что точность обработки плунжера и гильзы должна быть в 10 раз выше, чем по 6-му качеству. Ни один из применяемых технологических процессов не может обеспечить такую точность обработки.

В этом случае прибегают к методу групповой взаимозаменяемости. Его сущность заключается в сортировке изготовленных деталей по группам в зависимости от их действительного размера и в последующей сборке соединений из валов и отверстий одноименных размерных групп (селективная сборка). В качестве примера на рисунке 108 показана схема полей допусков на обработку гильзы цилиндра и поршня двигателя Д-75 и групповых допусков при сортировке деталей на четыре группы. Из схемы видно, что при сборке поршней и гильз цилиндров одноименных размерных групп зазоры в каждой группе будут от 0,19 до 0,23 мм, что соответствует техническим условиям.

Если бы эти детали не подвергались селективной сборке, то при обозначенных допусках на обработку зазор в сопряжении поршень — гильза цилиндра колебался бы от 0,13 до 0,29 мм, т. е. технические условия на сборку данного сопряжения не были бы выдержаны. В результате этого в сопряжениях с зазорами 0,13...0,19 мм на стенках цилиндров могли появиться задиры и двигатель мог выйти из строя, а сопряжения с зазором 0,23...0,29 мм имели бы значительно пониженный технический ресурс.

Таким образом, при тех же допусках на обработку деталей селективная сборка позволяет значительно повысить точность сопряжений. С увеличением числа размерных групп при селективной сборке наибольшие групповые зазоры или натяги уменьшаются, а наи-

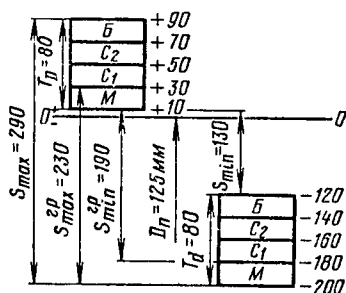


Рис. 108. Схема полей допусков сопряжения гильзы цилиндра и поршня двигателя Д-75 с групповыми допусками для селективной сборки.

меньшие — увеличиваются, следовательно, посадка становится более стабильной, что очень желательно. Действительно, следует стремиться к тому, чтобы все или большинство подвижных сопряжений в начале работы имели зазор, близкий к наименьшему допустимому. Это обеспечивает наибольший технический ресурс сопряжений.

В неподвижных сопряжениях уменьшение первоначального натяга снижает надежность сопряжения, так как возникает угроза проворачивания или продольного смещения деталей под воздействием нагрузок, близких к максимальным. Увеличение первоначальных натягов также нежелательно, так как это всегда усложняет сборку и разборку, а иногда может привести к разрушению охватывающей детали.

Метод групповой взаимозаменяемости обеспечивает требуемую стабильность зазоров и натягов без повышения качества сопрягаемых деталей, причем увеличение числа размерных групп повышает точность соединений и стабильность зазоров или натягов в соединении. Это основное преимущество селективной сборки.

Однако применение селективной сборки, в свою очередь, приводит к дополнительным затратам, которые возрастают с увеличением числа размерных групп. В самом деле, при использовании метода селективной сборки особенно высокие требования предъявляются к точности геометрической формы, шероховатости поверхности. Если обычно отклонения геометрической формы не должны превышать допуска на обработку, то при селективной сборке они не должны превышать группового допуска.

При выборе допустимой шероховатости поверхности приходится сопоставлять ее параметры со значением группового допуска. Это требует применения точного оборудования и ограничивает возможность значительного увеличения числа размерных групп. Кроме того, при увеличении числа размерных групп повышаются затраты на селективную сборку, так как требуется больше калибров, усложняются сортировка, маркировка, хранение. Поэтому в любом случае желательно обходиться наименьшим необходимым числом размерных групп.

Наименьшее необходимое число размерных групп

нужно определять, исходя из требований к значениям зазоров в сопряжении. Их устанавливают расчетом или экспериментально, т. е. должны быть известны значения $S_{\max}^{\text{гр}}$ и $S_{\min}^{\text{гр}}$. Необходимо также знать точность, которую обеспечивает имеющееся оборудование при обработке деталей данного сопряжения, другими словами, должны быть известны достижимые значения T_D и T_d . Для того чтобы зазоры и натяги во всех группах были одинаковыми, при селективной сборке допуски на обработку вала и отверстия принимают одинаковыми ($T_D = T_d$). Но это значит, что и групповые допуски вала и отверстия будут одинаковыми, т. е. $T_B^{\text{гр}} = T_d^{\text{гр}}$, где $T_d^{\text{гр}}$ — групповой допуск вала, $T_B^{\text{гр}}$ — групповой допуск отверстия.

Тогда групповой допуск можно найти из выражения

$$S_{\max}^{\text{гр}} - S_{\min}^{\text{гр}} = T_B^{\text{гр}} + T_d^{\text{гр}},$$

откуда

$$T_B^{\text{гр}} = T_d^{\text{гр}} = \frac{S_{\max}^{\text{гр}} - S_{\min}^{\text{гр}}}{2}.$$

Например, для сопряжения золотник — отверстие корпуса распределителя установлено, что зазор должен находиться в пределах от $S_{\max}^{\text{гр}} = 16$ мкм до $S_{\min}^{\text{гр}} = 8$ мкм. Тогда групповой допуск

$$T_B^{\text{гр}} = T_d^{\text{гр}} = \frac{16 - 8}{2} = 4 \text{ мкм}.$$

Число групп сортировки деталей при известном достижимом значении допуска на обработку и известном требуемом значении группового допуска определяют по формуле

$$n = \frac{T_D}{T_B^{\text{гр}}}; \text{ или } n = \frac{T_d}{T_d^{\text{гр}}}, \quad (113)$$

где $T_d^{\text{гр}}$ и $T_B^{\text{гр}}$ — групповые допуски вала и отверстия; T_d и T_D — допуски на обработку вала и отверстия.

Для рассматриваемого примера технологически достижимый допуск на обработку отверстия корпуса распределителя диаметром 25 мм составляет $T_D =$

$= 20$ мкм, групповой допуск $T_B^p = 4$ мкм. Тогда необходимое число групп

$$n = \frac{T_D}{T_B^p} = \frac{20}{4} = 5.$$

Из экономических или технических соображений может возникнуть необходимость изготавливать это отверстие с допуском на обработку $T_D = 80$ мкм, но это сейчас же потребует резкого увеличения числа групп

$$n = \frac{T_D}{T_B^p} = \frac{80}{4} = 20.$$

В любом случае решение принимается только на основе технико-экономического анализа.

Если же выбрана стандартная посадка, по которой могут быть изготовлены детали, подвергаемые сортировке, число групп может быть определено из соотношения (см. рис. 108):

$$S_{\max}^{\text{гр}} = S_{\min \text{ст}} + IT_d + \frac{IT_D}{n},$$

откуда

$$n = \frac{IT_D}{S_{\max}^{\text{гр}} - S_{\min \text{ст}} - IT_d}. \quad (114)$$

Например, для сопряжения поршень — гильза цилиндра двигателя трактора Д-75 необходимое число групп

$$n = \frac{80}{230 - 130 - 80} = 4.$$

Использование селективной сборки в неподвижных сопряжениях повышает надежность соединения благодаря большей стабильности натягов.

В более сложных линейных размерных цепях благодаря сортировке изготовленных деталей на размерные группы и сборке деталей одноименных групп можно обеспечить необходимую точность замыкающего звена без введения в конструкцию дополнительных деталей.

Преимущество метода групповой взаимозаменяемости заключается в возможности получения сопряжений высокой точности, которую невозможно достичь

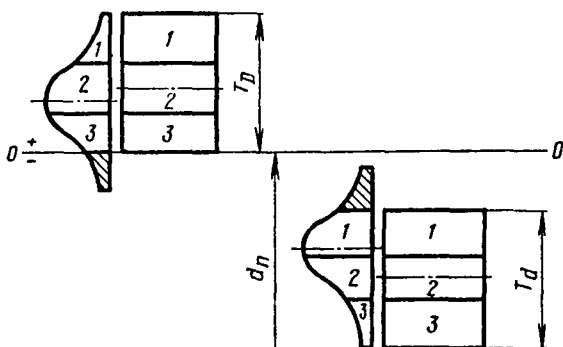


Рис. 109. Влияние положения центра распределения размеров на целесообразность применения селективной сборки.

или экономически она нецелесообразна на имеющемся технологическом оборудовании.

При использовании селективной сборки необходимы дополнительные затраты на сортировку, маркировку и хранение деталей; возрастает незавершенное производство, взаимозаменяемость ограничивается пределами одной размерной группы.

При обработке деталей на универсальных станках на распределение деталей в поле допуска влияет психологический фактор, так как рабочий стремится избежать неисправимого брака. В результате этого центры распределения смещаются в плюс для вала и в минус — для отверстия (рис. 109). Незавершенная продукция при этом значительно возрастает, так как число валов и число отверстий в одноименных размерных группах резко различаются.

В массовом и крупносерийном производстве влияние этого фактора в значительной степени ослабляют, используя станки-автоматы. По этим причинам метод групповой взаимозаменяемости целесообразно применять в массовом и крупносерийном производстве. В мелкосерийном и индивидуальном производстве экономически выгоднее использовать индивидуальный подбор.

В связи с этим может возникнуть вопрос, почему метод групповой взаимозаменяемости так широко распространен в ремонтных предприятиях сельского

хозяйства, которые не являются ни крупносерийными, ни массовыми производствами. Дело в том, что ремонтные сельскохозяйственные предприятия получают запасные детали, собираемые методом групповой взаимозаменяемости (поршни, гильзы, пальцы и т. д.), со специализированных заводов, где производство крупносерийное. А ремонтная мастерская в этом случае является одним из сборочных цехов такого завода.

§ 69. ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ПЛОСКИХ И ПРОСТРАНСТВЕННЫХ РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ

Расчет плоских размерных цепей обычно сводят к расчету линейных размерных цепей путем проектирования всех размеров на одно направление, как правило, на направление замыкающего звена. Например, для нормальной работы зубчатой передачи от коленчатого вала к распределительному валу необходимо выдержать межцентровое расстояние M_Δ в пределах заданного допуска (рис. 110). Размер M_Δ зависит от размеров M_1 , M_2 и M_3 , расположенных под углом один к другому и составляющих плоскую размерную цепь. Чтобы привести ее к линейной размерной цепи, проектируют все размеры на направление замыкающего звена. Тогда уравнение размерной цепи можно записать следующим образом:

$$M_\Delta = \cos \beta_2 M_2 + \cos \beta_3 M_3 - \cos \beta_1 M_1, \quad (115)$$

причем при расчете размерной цепи номинальным размером звеньев будет служить $M_i \cos \beta_i$.

Расчет пространственных размерных цепей может быть сведен вначале к расчету плоских размерных

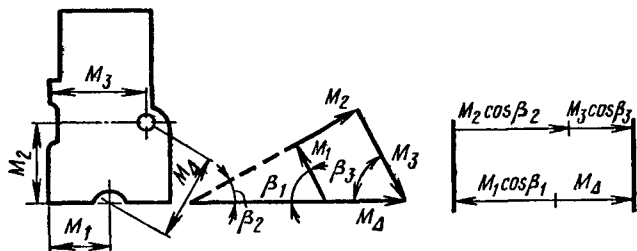


Рис. 110. Плоскостная размерная цепь.

цепей путем проектирования на три взаимно перпендикулярные плоскости, а затем к расчету линейных размерных цепей за счет проектирования всех звеньев на направление замыкающего звена.

В более общем виде линейные и плоские размерные цепи рассчитывают, используя передаточное отношение каждого из составляющих звеньев. В приведенном ранее примере плоской размерной цепи передаточные отношения будут соответственно равны:

$$\xi_1 = -\cos \beta_1; \xi_2 = +\cos \beta_2; \xi_3 = +\cos \beta_3.$$

Пространственные размерные цепи рассчитывают также, используя передаточные отношения, которые позволяют применять обычную методику расчета размерных цепей.

§ 70. РАСЧЕТ ДОПУСКОВ РАСПОЛОЖЕНИЯ ОСЕЙ

Взаимное положение осей отверстий в деталях часто определяет нормальную работу механизма и условия взаимозаменяемости при сборке узлов. Например, межцентровые расстояния отверстий корпуса коробки передач определяют качество работы зубчатых передач, и, следовательно, допуски на них должны быть рассчитаны, исходя из требований работы зубчатого зацепления. Сегменты к ножевой полосе и пальцы к пальцевому брусу режущих аппаратов косилок и жаток нужно крепить с точностью, необходимой для обеспечения среза высокого качества. И в том и в другом случае требования к точности взаимного положения осей отверстий определяются из условий правильной работы кинематических пар.

В машиностроении широко распространен способ крепления деталей с помощью болтов, штифтов, шпилек, заклепок. К таким деталям относятся разного рода фланцы, крышки, поддоны масляного картера, блоки цилиндров, головки блока и т. д. В этих соединениях взаимное положение осей отверстий должно обеспечивать лишь взаимозаменяемость при сборке.

Поскольку общие принципы расчета допусков расположения осей разных узлов и деталей одинаковы и являются частным случаем расчета размерных це-

пей, целесообразно рассмотреть методику расчета на типовых примерах крепления двух деталей.

Допуск расположения — это предел, ограничивающий допускаемое значение отклонения расположения. Область в пространстве или заданной плоскости, внутри которой должна находиться ось в пределах нормируемого участка, является полем допуска расположения. Ширина или диаметр поля допуска определяется значением допуска, а его расположение относительно баз — номинальным расположением осей.

При обработке отверстий происходит некоторое смещение осей от их теоретического положения. При использовании кондукторов это смещение уменьшается, но полностью не устраняется. Во время крепления деталей смещения осей компенсируются зазорами между болтами и отверстиями. Значит, задача расчета допусков расположения осей деталей, прикрепляемых одна к другой, состоит в отыскании зависимости между зазором и допусками на межцентровые расстояния.

Так как в большинстве случаев для крепления используют стандартные болты, шпильки и т. д. и, следовательно, их размеры и размеры отверстий под них совершенно определены, значения допусков расположения осей могут быть легко установлены по значениям зазоров.

Рассмотрим методику расчета допусков расположения осей для некоторых вариантов крепления двух деталей. Исходными для расчета являются следующие предпосылки: зазор между болтом и отверстием известен; значение допуска не зависит от номинального расположения осей; детали могут относительно смещаться или поворачиваться. Расчет будем вести методом полной взаимозаменяемости.

1-й вариант — соединение деталей с помощью гладких болтов (тип А). Рассмотрим наихудший случай, когда расстояние между осями отверстий одной детали наибольшее, а расстояние между осями отверстий другой детали наименьшее. И даже в этом случае наименьший зазор между болтом и отверстием должен быть достаточным, чтобы компенсировать смещения положений отверстий. Болт должен входить в оба отверстия без перекосов (рис. 111).

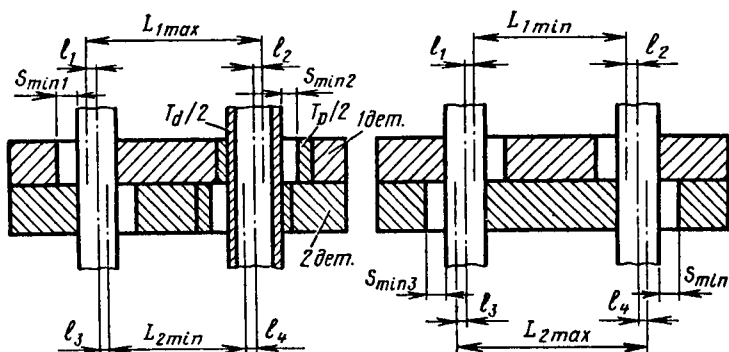


Рис. 111. Соединение двух деталей с помощью гладких болтов.

Зависимость между наименьшим зазором и допуском на размер L может быть найдена из следующих выражений:

$$\begin{aligned} L_{1 \max} - L_{2 \min} &= e_1 + e_2 + e_3 + e_4; \\ L_{2 \max} - L_{1 \min} &= e_1 + e_2 + e_3 + e_4, \end{aligned}$$

где $e_1 = e_2 = e_3 = e_4$ — эксцентриситеты осей отверстия относительно оси болта.

Сложив правые и левые части обоих уравнений и перегруппировав члены, получим

$$(L_{1 \max} - L_{1 \min}) + (L_{2 \max} - L_{2 \min}) = 8e$$

или

$$2TL = 8e; TL = 4e.$$

Для принятого нами случая $2e = S_{\min}$, следовательно, $e = S_{\min}/2$, и можно записать

$$TL = 2S_{\min}. \quad (116)$$

Допуски на расположение осей задаются симметрично расположенными, следовательно, отклонения расположения осей одной и другой деталей должны быть равны $\pm TL/2$.

2-й вариант — соединение двух деталей с помощью штифтов, запрессованных в одну из деталей (тип Б). В этом случае погрешности расположения осей отверстий обеих деталей могут компенсироваться зазором между штифтом и отверстием только одной детали.

При запрессовке в другую деталь происходит центрирование штифта и оси штифта и отверстия совмещаются. Следовательно, возможность компенсации погрешностей расположения осей сокращается и допуски на них должны задаваться более жесткими. Действительно, в этом случае (рис. 112)

$$L_{1 \max} - L_{2 \min} = 2e;$$

$$L_{2 \max} - L_{1 \min} = 2e,$$

откуда, сложив уравнения, получим

$$(L_{1 \max} - L_{1 \min}) + (L_{2 \max} - L_{2 \min}) = 4e$$

или

$$2TL = 4e; TL = 2e,$$

а подставив значение e , выраженное через наименьший зазор, получим в результате

$$TL = S_{\min}. \quad (117)$$

Таким образом, если гладкие штифты запрессовывают в одну из деталей, допуск на расположение осей должен задаваться в 2 раза меньше.

Аналогичным образом могут быть определены допуски на расположение осей и при других вариантах крепления. Однако, как правило, крепят не по двум, а по большему числу отверстий, расположенных в один ряд. Значения допусков на расположение осей в этом случае зависят от числа отверстий в ряду и от способа простановки размеров расположения осей.

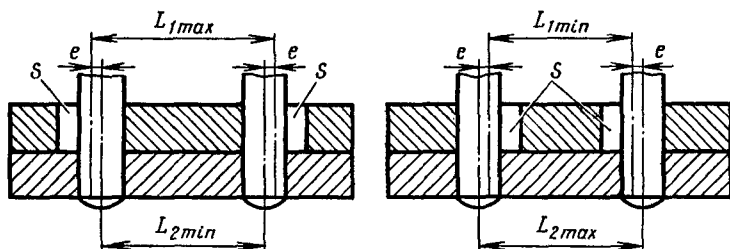


Рис. 112. Соединение двух деталей с помощью штифтов, запрессованных в одну из деталей.

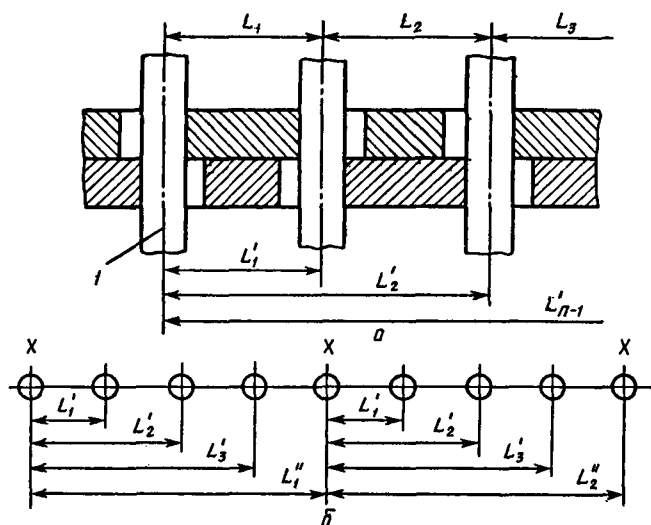


Рис. 113. Простановка размеров:
 а — «цепочкой» (вверху) и «лесенкой» (внизу); б — комбинированным способом: *I* — базовое отверстие.

На рисунке 113, а показаны два способа простановки размеров: «цепочкой» и «лесенкой». Для способа простановки размеров «цепочкой» (так как $TA_{\Delta} =$

$$= \sum_{i=1}^{n-1} TA_i)$$

$$T(L_1 + L_2 + \dots + L_{n-1}) = TL_1 + TL_2 + \dots + TL_{n-1}.$$

В то же время при соединении деталей гладкими болтами допуск на расположение осей двух любых отверстий должен быть равен $TL = 2S_{\min}$. Исходя из этого, можно записать

$$TL_1 + TL_2 + \dots + TL_{n-1} = 2S_{\min}$$

или

$$(n - 1) TL_i = 2S_{\min},$$

откуда

$$TL_{i \text{ цен}} = \frac{2S_{\min}}{n - 1}, \quad (118)$$

где n — число отверстий, расположенных в ряд.

При способе простановки размеров «лесенкой» от базового отверстия допуск на расположение осей любых двух отверстий будет

$$\begin{aligned} T(L'_2 - L'_1) &= TL'_1 + TL'_2; \\ T(L'_3 - L'_2) &= TL'_2 + TL'_3; \\ &\vdots \\ T(L'_{n-1} - L'_{n-2}) &= TL'_{n-2} + TL'_{n-1}. \end{aligned}$$

Так как при соединении деталей гладкими болтами $TL = 2S_{\min}$ для любых двух отверстий,

$$TL'_1 + TL'_2 = 2S_{\min},$$

откуда

$$TL_{\text{лес}} = S_{\min}. \quad (119)$$

Следовательно, при простановке размеров «цепочкой» допуски на расположение осей должны быть уменьшены пропорционально числу отверстий, расположенных в ряд. При простановке размеров «лесенкой» допуски не ужесточают.

Однако с увеличением межцентрового расстояния технологически труднее уложиться в такой же допуск, кроме того, иногда бывает трудно измерить большое межцентровое расстояние. В связи с этим часто прибегают к комбинированной простановке размеров межцентровых расстояний, расположенных в ряд (рис. 113, б). В этом случае размеры проставляют «лесенкой» до тех пор, пока размер технологически просто измерить и выдержать. Затем последнее отверстие принимают за базовое и от него снова проставляют размеры «лесенкой». При комбинированной простановке размеров допуски ужесточают лишь во столько раз, сколько размеров проставлено «цепочкой». Тогда

$$TL_{i \text{ комб}} = \frac{2S_{\min}}{n_{\text{цеп}}}, \quad (120)$$

где $n_{\text{цеп}}$ — число групп размеров, проставленных «цепочкой».

Рассмотренные зависимости между зазорами и допусками на расположение осей при практическом применении должны быть скорректированы, так как для компенсации смещения осей отверстий от номинально-

го расположения может быть использована лишь часть зазора.

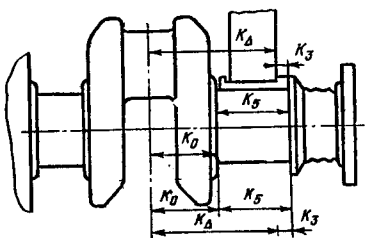
Другая часть зазора необходима для легкости сборки и регулирования взаимного положения соединяемых деталей, а также для компенсации других погрешностей расположения поверхностей соединяемых и крепежных деталей, например несоосности поверхностей крепежной детали, отклонения от перпендикулярности осей отверстий к опорной плоскости и др.

Исходя из этих принципиальных положений, разработан ГОСТ 14140—81 «Допуски расположения осей отверстий для крепежных деталей» и методические указания по выбору предельных смещений осей отверстий от номинального расположения в качестве приложения к стандартам. Зная зазор для прохода крепежных деталей, по таблицам выбирают предельные смещения отверстий от номинального расположения или предельные отклонения размеров, координирующих оси отверстий.

§ 71. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАЗМЕРНОГО АНАЛИЗА ПРИ РЕМОНТЕ МАШИН

При эксплуатации машин размеры деталей изменяются из-за износа, пластических деформаций, коробления. В размерных цепях, где точность замыкающего звена зависит от многих размеров, это приводит к значительным искажениям взаимного положения осей и поверхностей деталей, ухудшает качественные и экономические показатели работы машины. Поэтому при ремонте машин важно восстановить не только посадки диаметральных сопряжений, но и точность замыкающих звеньев размерных цепей, определяющих надежность и долговечность машины. В большинстве случаев нет необходимости восстанавливать все размеры, входящие в размерную цепь. Как правило, можно выбрать одно или два звена, за счет изменения размеров которых удастся восстановить точность замыкающего звена.

Например, правильное взаимное положение гильзы цилиндра и шеек коленчатого вала тракторного дизеля обеспечивает его длительную нормальную работу. Размеры, определяющие положение гильз ци-



линдров относительно базовой поверхности, в процессе эксплуатации практически не изменяются. В то же время размеры, определяющие положение шейки коленчатого вала относительно той же базовой поверхности, изменяются значительно. На рисунке 114 показана размерная цепь,

Рис. 114. Размерная цепь, определяющая положение коленчатого вала в осевом направлении.

определяющая положение середины шатунной шейки относительно базовой поверхности блока. Из-за износа размеры $K_З$ и $K_Б$ изменяются. Кроме того, при шлифовании вала под ремонтные размеры в большей или меньшей мере шлифуются и боковые поверхности шеек коленчатого вала, что приводит к неравномерному увеличению длины шеек и искажению размеров $K_Д$. Восстановить первоначальный размер замыкающего звена практически можно, изменив размер лишь одного звена — толщину упорного бурта пятого коренного подшипника.

Аналогичный результат может быть получен при анализе других размерных цепей. Задача инженера-ремонтника — найти на основе квалифицированного размерного анализа механизма наиболее легко и быстро восстанавливаемое звено, изменяя размер которого, можно добиться первоначальной точности замыкающего звена.

Глава 13. ДОПУСКИ НА УГЛОВЫЕ РАЗМЕРЫ. ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ ГЛАДКИХ КОНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

§ 72. УГЛОВЫЕ РАЗМЕРЫ И ДОПУСКИ НА НИХ

В конструкциях машин часто используют детали, имеющие поверхности, расположенные одна к другой под углом, отличающимся от прямого, например блок цилиндров V-образных двигателей, шкивы и вариаторы клиноременных передач и др. По ГОСТ 8908—81 (СТ СЭВ 178—75 и СТ СЭВ 513—77) для ограничения их разнообразия регламентируют ряды и размеры нормальных углов общего назначения, предназначенные для широкого применения в машиностроении. Установлено три ряда углов с длиной меньшей стороны угла до 2500 мм. В первый ряд входят углы: 0° ; 5° ; 15° ; 20° ; 30° ; 45° ; 60° ; 90° ; 120° . Второй ряд дополнен еще одиннадцатью углами, третий ряд — самый полный. При выборе углов рекомендуется выбирать их из первого ряда. Если конструкция не позволяет применить ни один из них, то желательно выбрать угол из второго ряда, и только в крайнем случае — из третьего ряда. Нормальные углы применяют для независимых угловых размеров, которые являются исходными при расчете.

Стандарт не распространяется на углы, полученные расчетным путем, и на углы конусов по ГОСТ 8593—81.

Допуск угла, обозначаемый AT , может быть выражен как в угловых, так и в линейных единицах. В соответствии с различными способами ограничения погрешностей угла стандарт устанавливает следующие обозначения (рис. 115):

AT_α — допуск угла в угловых единицах;

AT'_α — округленное значение допуска в градусах, минутах, секундах;

AT_h — допуск угла, выраженный отрезком на перпендикуляре к стороне угла на расстоянии L_1 от вершины (рис. 115, а);

AT_D — допуск угла конуса, выраженный допуском на разность диаметров в двух, нормальных к оси

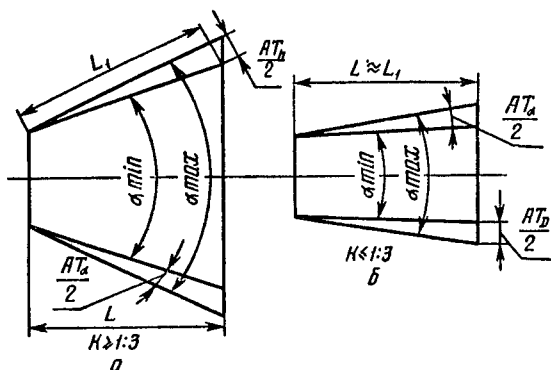


Рис. 115. Допуски угловых размеров и их обозначения.

сечениях конуса на заданном расстоянии L между ними, определяемом по перпендикуляру к оси конуса (рис. 115, б).

Допуски вида AT_h назначают на конусы, имеющие конусность более 1:3, в зависимости от длины L_1 . Для конусов с конусностью меньше 1:3 принимают $L_1 \approx L$ и назначают допуск вида AT_a .

Допуски на угловые размеры указывают в виде симметричных предельных отклонений $\pm AT/2$. Но если имеются особые требования, вызванные конструкцией соединения, то допускается и несимметричное расположение с сохранением значения допуска по стандарту.

Независимо от расположения поля допуска предельные отклонения угловых размеров отсчитывают от номинального размера угла.

На угловые размеры установлено 17 степеней точности. Степень точности проставляют рядом с обозначением допуска, например AT_6 . Область применения каждой из 17 степеней определяется функциональными требованиями к точности угловых размеров.

1, 2, 3, 4 степени точности используют для угловых мер;

5, 6, 7 — предназначены для углов высокой точности;

10, 11, 12 — применяют в деталях нормальной точности (направляющие планки, угловые пазы в поводках дисковых стопоров и т. д.);

13, 14, 15 — назначают в деталях пониженной точности для угловых размеров стопорящих деталей в виде фиксаторов;

16, 17 — используют для угловых размеров, к точности которых не предъявляются высокие требования (свободные размеры).

Допуск устанавливают в зависимости от длины меньшей стороны, образующей угол. Объясняется это тем, что точность изготовления и измерения угловых размеров зависит главным образом от длины стороны угла и с ее уменьшением она снижается. Поэтому при выборе допуска за основу берут длину меньшей стороны угла.

Допуск углового размера задается в угловых единицах, однако при необходимости его можно выразить и через линейные единицы

$$AT_h = AT_a L_1 10^{-3}, \quad (121)$$

где AT_h — допуск в линейных единицах, мкм; AT_a — допуск в угловых единицах, мкрад; L_1 — длина меньшей стороны угла, мм.

Допуски углов могут быть расположены в плюс ($+AT$), в минус ($-AT$) или симметрично ($\pm AT$) относительно номинального угла.

Числовые значения неуказанных предельных отклонений углов по ГОСТ 25670—83 (СТ СЭВ 302—76) соответствуют $\pm AT16$ и $\pm AT17$.

§ 73. ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ ГЛАДКИХ КОНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

Гладкие конические соединения не так широко распространены, как цилиндрические, хотя имеют перед ними некоторые преимущества. Основное их преимущество — возможность регулирования зазора или натяга в процессе эксплуатации машины.

Различают три вида конических сопряжений: неподвижные, подвижные и плотные.

Неподвижные сопряжения обеспечивают за счет натяга надежное центрирование и передачу крутящих моментов. Большое преимущество этих сопряжений — легкость монтажа и демонтажа. Их применяют для крепления инструментов, в конических фрикционных муфтах и т. п.

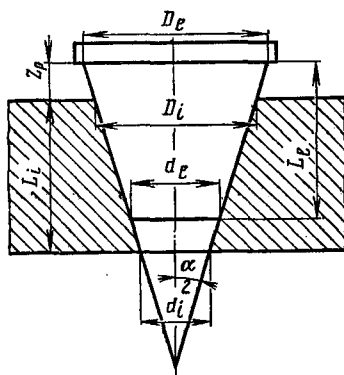


Рис. 116. Параметры конического соединения.

Подвижные сопряжения обеспечивают регулирование зазора в процессе эксплуатации, что позволяет длительное время сохранять необходимую точность соединения. Эти сопряжения используют, например, в конических подшипниках шпинделей станков.

Плотные сопряжения, обеспечивающие герметичность, применяют в клапанах двигателей внутреннего сгорания, в кранах различного назначения.

Герметичность достигают притиркой, при этом взаимозаменяемость сопрягаемых деталей нарушается.

Коническое сопряжение характеризуется следующими основными параметрами (рис. 116):

D_e и D_i — номинальные диаметры большого основания конуса;

d_e и d_i — номинальные диаметры малого основания конуса;

L_e и L_i — длина конуса, равная расстоянию между большим и малым основаниями конуса;

C — конусность ($C = (D - d)/L = 2 \operatorname{tg} \alpha/2$);

α — угол конуса, т. е. угол между образующими конуса в осевом сечении;

$\alpha/2$ — угол наклона, т. е. угол между осью конуса и его образующей.

Номинальные диаметры, или диаметры расчетных сечений, для удобства измерений выбирают вблизи одного из оснований конуса или в качестве расчетных диаметров принимают сами диаметры оснований.

Базовая плоскость конуса — плоскость, перпендикулярная к оси конуса, относительно которой определяется положение его сечений.

Базорасстояние конуса (Z_e, Z_i) — это расстояние от базовой плоскости конуса до одного из его расчетных сечений, принятого за основное. Если в качестве базы конуса выбрано основное расчетное сечение, то базорасстояние конуса будет равно нулю.

Базорасстояние конического соединения (Z_p) — это осевое расстояние между базовыми плоскостями наружного и внутреннего сопрягаемых конусов, определяющее положение одной детали относительно другой. Если в качестве базовых плоскостей наружного и внутреннего конуса приняты основные сечения, то номинальное базорасстояние соединения можно определить по следующим формулам:

$$Z_p = \frac{D_e - D_i}{C}; \quad Z_p = \frac{d_e - d_i}{C}. \quad (122)$$

Нормальные конусности и углы конусов определяются ГОСТ 8593—81 (СТ СЭВ 512—77) и распространяются на конусность и углы конусов гладких конических элементов деталей. Стандарт не распространяется на конусы и углы конусов специального назначения, регламентированные в стандартах на конкретные изделия.

Система допусков и посадок для конических соединений установлена ГОСТ 25307—82 (СТ СЭВ 1780—79) и распространяется на гладкие конусы диаметром до 500 мм, конусностью от 1:3 до 1:500.

Для конусов регламентируются следующие виды допусков (рис. 117): допуск диаметра конуса (T_D); допуск угла конуса (AT); допуски формы конуса — допуск круглости (T_{FR}) и допуск прямолинейности (T_{FL}).

Установлены два способа нормирования допусков конусов.

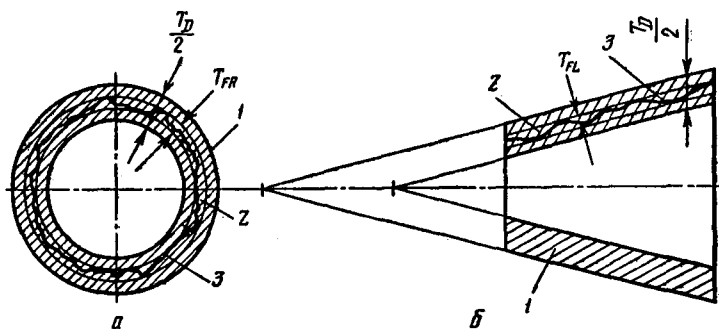


Рис. 117. Расположение полей допусков конусов.

Способ 1 — совместное нормирование всех видов допусков допуском T_D диаметра конуса в любом сечении. В этом случае в поле допуска конуса, ограниченном двумя предельными конусами, должны находиться все точки реальной поверхности конуса. Таким образом ограничиваются не только отклонения диаметра, но и отклонения угла и формы конуса.

Способ 2 — раздельное нормирование каждого вида допусков: допуска T_{DS} диаметра конуса в заданном сечении, допуска AT угла конуса, допусков круглости T_{FR} и прямолинейности T_{FL} образующей конуса.

Способ 1 рекомендуется применять в посадках с фиксацией по конструктивным элементам и по заданному осевому расстоянию между базовыми плоскостями сопрягаемых конусов.

Размеры зазоров и натягов в этих посадках зависят только от предельных отклонений диаметров сопрягаемых конусов. Отклонения угла и формы конуса влияют на неравномерность зазоров или натягов, а также на длину контакта. При необходимости разрешается ограничивать их дополнительными более узкими допусками угла конуса AT и формы конуса T_{FR} и T_{FL} , чем допуск T_D .

Способ 2 предпочтительно использовать в посадках с фиксацией по заданному осевому смещению сопрягаемых конусов от их начального положения или по заданному усилию запрессовки.

Размеры зазоров и натягов в этом случае определяются условиями сборки, а допуски диаметра влияют только на базорасстояние. Допуски угла и формы конуса сказываются на неравномерности зазоров или натягов и на длине контакта.

Допуски несопрягаемых конусов рекомендуется нормировать, используя способ 2.

Допуски диаметра конуса должны соответствовать допускам гладких цилиндрических соединений. При выбранном качестве допуск T_D определяют по номинальному диаметру большого основания конуса, а допуск T_{DS} — по номинальному диаметру в заданном сечении конуса.

При заданном допуске T_D , если отклонения угла конуса ограничиваются более узкими пределами, чем при полном использовании допуска T_D и при заданном допуске T_{DS} , необходимо назначать еще допуск

AT угла конуса в угловых AT_a или в линейных единицах AT_D .

Расположение предельных отклонений углов сопрягаемых конусов допускается как односторонним ($\pm AT$ или $-AT$), так и симметричным ($\pm AT/2$), для несопрягаемых конусов — только симметричным.

Поля допусков и посадок выбирают в зависимости от способа фиксации взаимного осевого положения сопрягаемых конусов.

В посадках с фиксацией по конструктивным элементам или по заданному осевому расстоянию между базовыми плоскостями следует применять следующие поля допусков:

для внутренних конусов — $H4, H5, H6, H7, H8, H9$;

для наружных конусов — $d, e, f, g, h, js, k, m, n, p, r, s, t, u, x, z$.

В посадках рекомендуется сочетать поля допусков диаметров наружного и внутреннего конусов одного качества, и только в обоснованных случаях допуск диаметра внутреннего конуса можно назначать на один или два качества менее точным.

В посадках по заданному осевому смещению сопрягаемых конусов от их начального положения предельные значения осевого смещения определяются по следующим формулам:

$$\begin{aligned} E_a S_{\min} &= \frac{1}{C} S_{\min}; & E_a N_{\min} &= \frac{1}{C} N_{\min}; \\ E_a S_{\max} &= \frac{1}{C} S_{\max}; & E_a N_{\max} &= \frac{1}{C} N_{\max}. \end{aligned} \quad (123)$$

В посадках с фиксацией по заданному смещению сопрягаемых конусов от начального положения или по заданному усилию запрессовки следует применять поля допусков от 8-го до 12-го качеств:

для внутренних конусов — H, J_s, N ;

для наружных конусов — h, js, k .

Для внутренних конусов предпочтительно поле допуска H .

§ 74. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ УГЛОВ И КОНУСОВ

Специальные угловые меры предназначены для проверки и настройки соответствующих приборов, для проверки угловых шаблонов и непосред-

ственного точного измерения углов. Угловые меры имеют или треугольную форму с одним рабочим углом от 10° до 79° , или четырехугольную форму с четырьмя рабочими углами от 80° до 100° (рис. 118, а, б). Из плиток могут быть составлены блоки от 10° до 360° . Плитки в блоке скрепляют между собой с помощью односторонних или двухсторонних державок и клиньев, вставляемых в отверстия плиток и державок (рис. 118, в).

Проверяют углы плитками на просвет. Размер просвета оценивают на глаз или сопоставляя с образцовым просветом, который получают путем сравнения нескольких блоков плиток с известной разностью между ними в угловых размерах. Большие просветы можно измерять шупом.

Угольники предназначены для проверки и разметки углов в 45° , 60° , 90° и 120° . Наиболее распространены угольники в 90° . Промышленность выпускает пять типов таких угольников различных размеров (рис. 119) четырех классов точности (0, 1, 2 и 3). Класс точности угольника характеризует значение погрешности, т. е. отклонение конца длинной стороны угольника от перпендикуляра, опущенного на основание. Угольники 0-го класса применяют для лекальных работ, 1-го класса — для особо точных работ, 2-го класса — для обычных работ, 3-го класса — для монтажных работ.

При контроле и разметке углов угольниками деталь и угольник чаще всего располагают на плите, хотя можно проверять углы, непосредственно накладывая угольник на деталь или небольшую деталь на угольник. По просвету судят об отклонении от заданного значения угла. При значительном отклонении зазор между угольником и деталью можно определить шупом.

Угловые шаблоны (рис. 120) широко применяют для контроля углов. Пользуются ими так же, как угольниками.

Угломеры наиболее универсальные средства для измерения углов (рис. 121, а). Механическим угломером, выпускаемым с лекальной линейкой и угольником, можно измерять углы от 0° до 320° с точностью отсчета по нониусу $2'$. Техника измерения угломером понятна из рисунка 121, б.

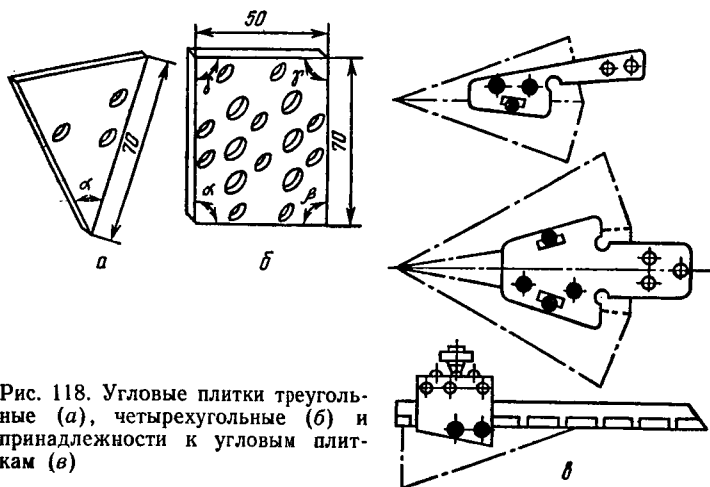


Рис. 118. Угловые плитки треугольные (а), четырехугольные (б) и принадлежности к угловым плиткам (в)

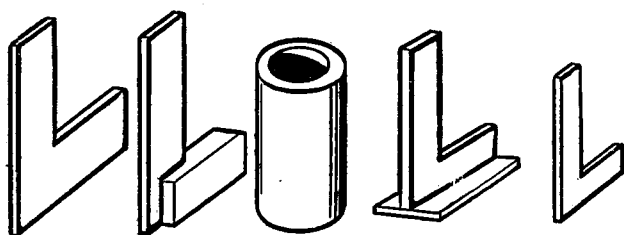


Рис. 119. Угольники.

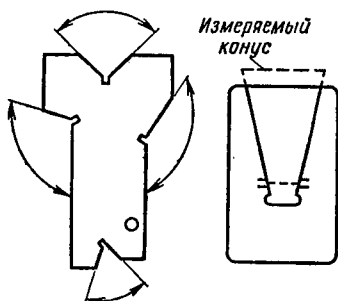


Рис. 120. Угловые шаблоны.

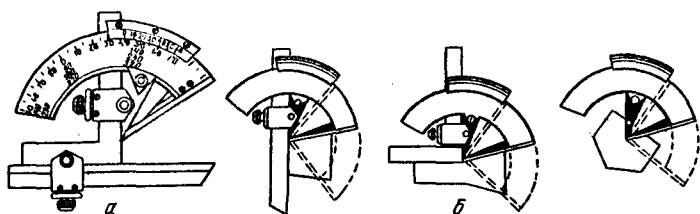


Рис. 121. Угломер (а) и техника измерения углов угломером (б).

Синусную линейку (рис. 122) используют для контроля и измерения с высокой степенью точности углов и конусов. Синусная линейка состоит из плиты с отверстиями для крепления деталей, двух жестко закрепленных роликов и упорной планки. Основной размер линейки — расстояние между центрами роликов L_n (база линейки). Измерение проводят, установив линейку на плите под углом α , равным номинальному значению измеряемого угла. Для этого под один из роликов подкладывают блок концевых мер высотой H . Размер H определяют по формуле

$$H = L_n \sin \alpha. \quad (124)$$

Отклонения от заданного угла определяют индикатором со стойкой. Необходимая точность индикатора зависит от степени точности измеряемого угла. Определив отклонения в показаниях прибора в двух точках, расположенных на расстоянии l_n одна от другой, вычисляют отклонение угла от номинального значения по формуле

$$\operatorname{tg} \Delta_\alpha = \frac{\Delta_n}{l_n} \approx \Delta_\alpha, \quad (125)$$

где Δ_n — линейное отклонение, равное разности показаний индикаторов; Δ_α — отклонение измеряемого угла на длине l_n .

С увеличением угла, измеряемого синусной линейкой, погрешность измерения быстро растет, поэтому измерять углы более 45° линейкой не рекомендуется.

В массовом и крупносерийном производстве конусы контролируют с помощью конусных калибров. При контроле гладких конусов калибрами проверяют, находится ли отклонение базорасстояния в установленных пределах. С этой целью калибры изготавли-

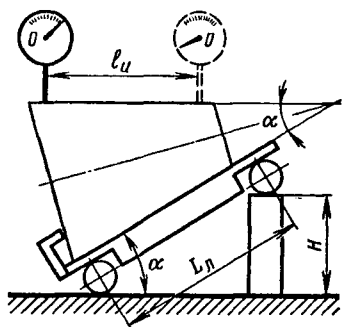


Рис. 122. Синусная линейка.

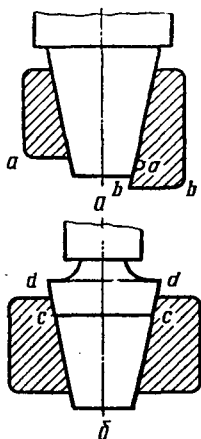


Рис. 123. Конусные калибры.

вают с уступами aa и bb (рис. 123, а) или с двумя рисками cc и dd (рис. 123, б), расстояние между которыми равно допуску на базорасстояние.

Отклонения формы конусов можно также контролировать конусными калибрами методом проверки «на краску». Калибр смазывают тонким слоем краски. По равномерности отпечатков краски на измеряемом конусе судят о правильности формы.

Глава 14. ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ, МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

В машиностроении резьбовые соединения распространены очень широко. Известно много типов крепежных резьб, резьб для герметичного соединения деталей, для передачи движения винтовыми парами. В тракторах, автомобилях и сельскохозяйственных машинах в большинстве соединений применяют крепежные резьбы как для скрепления деталей между собой, так и в регулировочных устройствах. Далее будут рассмотрены допуски и посадки крепежных метрических резьб.

Метрическая резьба разделяется на две группы: с крупным шагом; с мелким шагом. У резьбы с крупным шагом каждому диаметру соответствует определенный шаг, а у резьбы с мелким шагом для каждого диаметра могут назначаться различные шаги. Резьба с мелким шагом более надежна по сравнению с крупной резьбой там, где возможно самоотвинчивание. Поэтому резьбу с крупным шагом рекомендуется применять для соединения деталей, работающих при постоянных нагрузках, без толчков и вибраций. Резьба с мелким шагом рекомендуется для деталей, работающих при переменных нагрузках, в условиях вибрации, при малой длине свинчивания, для тонкостенных деталей, в различных регулировочных устройствах.

§ 75. ОСНОВНЫЕ РАЗМЕРЫ РЕЗЬБОВОГО СОЕДИНЕНИЯ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ

Основные размеры метрических резьб определены ГОСТ 24705—81 и распространяются на резьбы с профилем по ГОСТ 9150—81, диаметрами и шагом по ГОСТ 8724—81 (СТ СЭВ 182—75).

Номинальным размером резьбы, одинаковым для наружной (болта, шпильки, винта и др.) и внутрен-

ней (гайки, резьбового отверстия и т. д.) резьбы, является наружный диаметр (рис. 124)

Наружный диаметр резьбы $d(D)$ — диаметр воображаемого цилиндра, описанного касательно к вершинам наружной резьбы или впадинам внутренней резьбы.

Внутренний диаметр резьбы $d_1(D_1)$ — диаметр воображаемого цилиндра, вписанного касательно к впадинам наружной или вершинам внутренней резьбы. Он играет главную роль в обеспечении прочности резьбового соединения, так как определяет опасное сечение болта.

Средний диаметр резьбы $d_2(D_2)$ — диаметр воображаемого соосного с резьбой цилиндра, образующая которого пересекает профиль резьбы в точках, где ширина канавки равна половине номинального ее шага.

Этот диаметр определяет собираемость резьбового соединения и является главным параметром в обеспечении взаимозаменяемости резьб.

Высота H — высота исходного треугольника, полученного продолжением боковых сторон профиля до их пересечения.

Рабочая высота профиля H_1 — высота соприкосновения сторон профиля наружной и внутренней резьб в направлении, перпендикулярном к оси резьбы.

Шаг резьбы P — расстояние между соседними одноименными сторонами профиля, измеренное в направлении, параллельном оси резьбы на расстоянии от этой оси, равном половине среднего диаметра.

Угол профиля резьбы α — угол между боковыми сторонами профиля в осевой плоскости. Половина угла профиля $\alpha/2$ — угол между боковой стороной профиля и перпендикуляром, опущенным из вершины исходного профиля симметричной резьбы на ее ось. Измеряя $\alpha/2$ левое и $\alpha/2$ правое, можно установить не только значение α , но и перекося профиля резьбы.

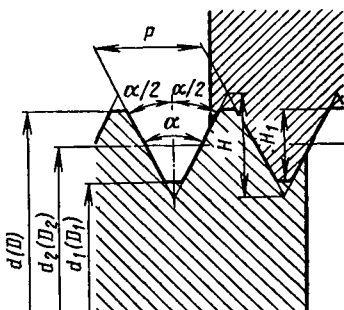


Рис. 124. Профиль и основные параметры метрической резьбы.

Угол подъема резьбы ψ — угол, образованный касательной к винтовой линии в точке, лежащей на среднем диаметре резьбы, и плоскостью, перпендикулярной к оси резьбы. Угол подъема

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{P}{\pi d_2}. \quad (126)$$

Когда угол ψ меньше приведенного коэффициента трения, резьба — самотормозящаяся. При статических нагрузках метрическая резьба имеет большой запас самоторможения, а при вибрационных нуждается в специальных стопорных устройствах.

На работу резьбового соединения наибольшее влияние оказывают отклонения шага, угла профиля и среднего диаметра, так как они определяют характер контакта резьбового соединения, его прочность, точность поступательного перемещения и другие эксплуатационные качества. Назначать допуски и контролировать все эти параметры чрезвычайно сложно и трудоемко.

Из трех перечисленных параметров проще всего измерить средний диаметр. Поскольку между отклонениями шага, угла профиля и среднего диаметра существует геометрическая зависимость, необходимо, чтобы допуск на средний диаметр предусматривал также компенсацию отклонения шага и угла профиля. Из-за погрешности шага ΔP (рис. 125, а) профиль резьбы по среднему сместится из точки a в точку b . Чтобы компенсировать эту погрешность шага и обеспечить свинчиваемость, надо уменьшить средний диаметр на f_P , тогда профиль наружной резьбы по среднему диаметру сместится в точку c и свинчиваемость будет обеспечена. Из рисунка видно, что для метрической резьбы диаметральная компенсация погрешности шага

$$f_P = \operatorname{ctg} \alpha/2 \Delta P_n = 1,732 \Delta P. \quad (127)$$

Определять диаметральную компенсацию необходимо, исходя из наибольшего значения отклонения ΔP_n .

Зависимость между отклонением половины угла профиля резьбы $\alpha/2$ и диаметральной компенсацией отклонения угла профиля f_α можно установить, пользуясь рисунком 125, б. Из-за погрешности угла

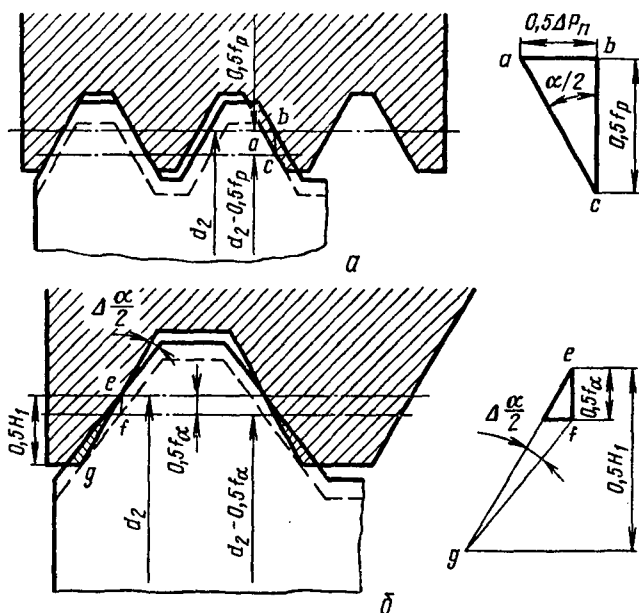


Рис. 125. Зависимость между параметрами метрической резьбы:
 а — диаметральная компенсация погрешностей шага; б — диаметральная компенсация погрешностей угла профиля.

профиля $\Delta\alpha/2$ профиль наружной резьбы не может войти в профиль внутренней резьбы. Заштрихованные треугольные участки будут мешать свинчиванию. Чтобы компенсировать эту погрешность профиля, надо уменьшить средний диаметр на f_α , тогда профиль наружной резьбы по среднему диаметру сместится из точки e в точку f и соприкосновение профилей наружной и внутренней резьб произойдет в точке g , что обеспечит свинчиваемость резьбы.

Диаметральная компенсация

$$f_\alpha = \frac{2H_1\Delta\alpha/2}{\sin \alpha} \approx 0,36P\Delta\alpha/2. \quad (128)$$

Свинчиваемость можно обеспечить лишь при условии, что разность средних диаметров наружной и внутренней резьб будет равна или больше суммы диаметральных компенсаций шага и половины угла профиля обеих деталей. Для удобства контроля резьб

и расчета допусков введено понятие «приведенный средний диаметр» резьбы, который находят из следующих уравнений:

$$\begin{aligned} \text{для наружной резьбы } d_{\text{пр}} &= d_{2 \text{ изм}} + (f_p + f_a); \\ \text{для внутренней резьбы } D_{\text{пр}} &= D_{2 \text{ изм}} - (f_p + f_a). \end{aligned} \quad (129)$$

Приведенный средний диаметр — это средний диаметр теоретической резьбы, которая свинчивается с действительной резьбой без зазора и без натяга.

Допустимые отклонения шага и угла профиля не нормируют, а устанавливают только суммарный допуск на средний диаметр наружной резьбы Td_2 и внутренней — TD_2 , который включает допустимое отклонение собственно среднего диаметра и диаметральные компенсации отклонений шага и угла профиля. Суммарный допуск

$$Td_2(TD_2) = \Delta d_2 (\Delta D_2) + f_p + f_a. \quad (130)$$

Эти общие принципы положены в основу разработанных стандартов на допуски и посадки метрических резьб.

§ 76. СТЕПЕНИ ТОЧНОСТИ РЕЗЬБ

Допуск среднего диаметра определяют в зависимости от принятой степени точности резьбы в соответствии с ГОСТ 16093—81 (СТ СЭВ 640—77). Основным для всех диаметров принят допуск 6-й степени точности, значение которого вычисляют по следующим формулам:

$$\left. \begin{aligned} \text{для } d_2 \quad Td_2(6) &= 90P^{0,4}d^{0,1}; \\ \text{для } d \quad Td(6) &= 180P^{0,66} - 3,15P^{0,5}; \\ \text{для } D_1 \quad TD_1(6) &= 433 - 190P^{1,22} \quad \text{при } P < 1 \text{ мм}; \\ \quad \quad \quad TD_1(6) &= 230P^{0,7} \quad \quad \quad \text{при } P > 1 \text{ мм}; \\ \text{для } D_2 \quad TD_2(6) &= 1,32d_2. \end{aligned} \right\} \quad (131)$$

Допуски на эти параметры для остальных степеней точности определяют путем умножения допуска 6-й степени точности, найденного по формулам, на следующие коэффициенты:

Степень точности	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Коэффициент	0,37	0,49	0,63	0,80	1,00	1,25	1,60	2,00	2,15

Допуски для различных степеней точности образуют геометрическую прогрессию со знаменателем 1,25.

При одной и той же степени точности резьбы, как это следует из формулы (131), допуск TD_2 на $1/3$ больше допуска Td_2 , так как точный размер внутренней резьбы технологически получить трудно.

В зависимости от длины свинчивания резьбовые соединения делят на три группы: S — малая длина свинчивания, N — нормальная, L — большая. Для каждого шага в зависимости от диапазона диаметров резьбы предусмотрены два значения нормальной (N) длины свинчивания, равные $2,24Pd^{0,2}$ и $6,7Pd^{0,2}$. При длине свинчивания L допуск рекомендуется увеличивать, а при длине свинчивания S — уменьшать на одну степень точности.

В зависимости от эксплуатационных требований к степени подвижности для резьбовых соединений стандартами установлены поля допусков, образующие посадки трех групп: с зазором, переходные, с натягом.

§ 77. ПОСАДКИ С ЗАЗОРОМ

Для наружной резьбы установлено пять основных отклонений (h, g, f, e, d), для внутренней — четыре (H, G, F, E), позволяющих получать различные посадки с гарантированным зазором (рис. 126). При графическом изображении допусков резьбы началом отсчета отклонений диаметров служит номинальный профиль, общий для наружной и внутренней

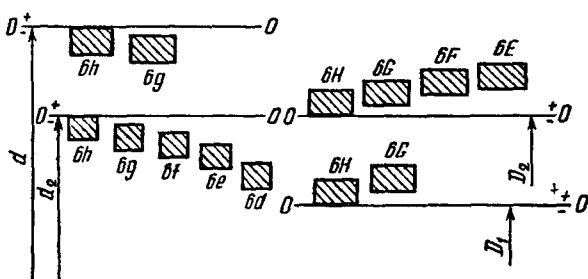


Рис. 126. Расположение полей допусков резьб с зазором.

резьбы. Отсчет ведется в направлении, перпендикулярном оси резьбы.

Если по существовавшей ранее практике для обычных крепежных резьб устанавливали посадку с минимальным зазором, равным нулю (что соответствует сочетанию основных отклонений H/h), то теперь рекомендуется преимущественно использовать наружные резьбы с гарантированным занижением размеров (поля допусков $6g$ и $8g$). Резьбовые соединения такого типа облегчают свинчивание деталей и позволяют наносить тонкие антикоррозийные покрытия.

Резьбовые соединения с большими гарантированными зазорами по диаметрам применяют, когда соединение работает при высокой температуре, для компенсации температурных деформаций; когда необходима быстрая и легкая свинчиваемость деталей даже при наличии небольшого загрязнения или повреждения резьбы; когда требуется повышенная циклическая прочность резьбовых соединений; когда на резьбовые детали наносят антикоррозийные покрытия.

Обозначение поля допуска резьбы состоит из цифры, показывающей степень точности, и буквы, обозначающей основное отклонение. Так как точность резьбы определяется сочетанием полей допусков по среднему диаметру $d_2(D_2)$, по наружному d для наружных и по внутреннему D_1 для внутренних резьб, обозначение точности резьбы состоит из обозначения поля допуска среднего диаметра, помещаемого на первом месте, и обозначения поля допуска наружного d или внутреннего диаметра D_1 , помещаемого на втором месте, например $7g6g$; $5H6H$. Если поля допусков на эти параметры одинаковы, то в обозначении их не повторяют ($6g$; $7H$).

Стандарт допускает любые сочетания полей допусков резьбы и болта, указанные в таблице 19. Поля допусков предпочтительного применения заключены в рамки, поля допусков в скобках применять не рекомендуется.

Обозначение поля допуска резьбы ставят после ее размера. Например, болт $M12 - 8g$; гайка $M12 - 7H$; болт $M12 \times 1,5 - 6g$; гайка $M12 \times 1,5 - 6H$.

Посадки резьбовых соединений обозначают дробью, в числителе которой указывают поле допуска гайки,

19. Рекомендуемые поля допусков в резьбовых соединениях с зазором

Класс точности	Поля допусков при длине свинчивания					
	S	N	L	S	N	L

	Наружная резьба			Внутренняя резьба		
Точный	(3h 4h)	4h, 4g	(5h, 4h)	4H	4H 5H, 5H	6H
Средний	5h 6h	6h, 6g	(7h 6h) 7g 6g, 7e 6e	5H, (5G)	6H , 6G	7H, (7G)
Грубый	—	5g 6g 6f, 6e, 6d	(8h), 8g (9g 8g)	—	7H, 7G	8H, (8G)

а в знаменателе — поле допуска болта: M12 — 7H/8g; M12×1,5 — 6H/6g.

Если длина свинчивания отличается от нормальной, то ее указывают в обозначении после поля допуска, например M12 — 7g6g — 30, где 30 — длина свинчивания, мм.

§ 78. ПЕРЕХОДНЫЕ ПОСАДКИ

Переходные посадки резьбовых соединений по ГОСТ 24834—81 (СТ СЭВ 305—76) применяют в тех случаях, когда в процессе работы необходимо обеспечить неподвижность соединения, но создание большого натяга может привести к разрушению деталей (резьбовые соединения, подверженные вибрации, тонкостенные детали).

Поскольку в переходных посадках очень малые натяги не могут удерживать детали от развинчивания (тем более, если в соединении будут зазоры), необходимо в конструкции резьбового соединения, где предполагается использовать переходные посадки, предусмотреть дополнительные элементы заклинивания. Конструктивно элементы заклинивания могут быть выполнены в виде конического сбег резьбы, плоского бурта после резьбы или цилиндрической цапфы перед резьбой на конце шпильки.

Переходные посадки предназначены для наружных резьб (резьба на ввинчиваемом конце шпильки) из стали, сопрягаемых с внутренними резьбами в деталях из стали, чугуна, алюминиевых и магниевых

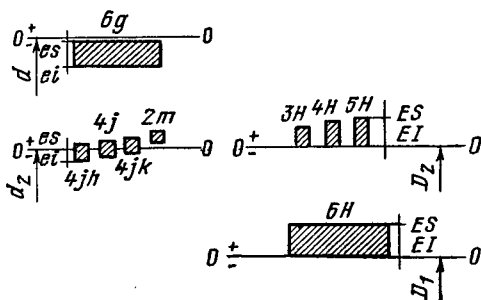


Рис. 127. Расположение полей допусков резьб с переходными посадками.

сплавов. При использовании переходных посадок для резьбовых соединений из других материалов требуется их дополнительная проверка.

Стандартом предусмотрены четыре поля допуска для наружной резьбы (шпильки) — $4jh$, $4j$, $4jk$, $2m$ и три поля допуска для внутренней (резьбовое отверстие) — $3H$, $4H$, $5H$. Расположение полей допусков переходных посадок показано на рисунке 127, а рекомендуемые посадки, т. е. сочетания различных полей допусков, приведены в таблице 20.

20. Рекомендуемые поля допусков в резьбовых соединениях с переходными посадками

Номинальный диаметр резьбы, мм	Материал детали с внутренней резьбой	Поля допусков		Посадки
		Наружной резьбы	внутренней резьбы	
От 5 до 16	Сталь	$4jk; 2m$	$4H6H; 3H6H$	$\frac{4H6H}{4jk}; \frac{3H6H}{2m}$
	Чугун, алюминиевые и магниевые сплавы	$4jk; 2m$	$5H6H; 3H6H$	$\frac{5H6H}{4jk}; \frac{3H6H}{2m}$
От 18 до 30	Сталь	$4j; 2m$	$4H6H; 3H6H$	$\frac{4H6H}{4j}; \frac{3H6H}{2m}$
	Чугун, алюминиевые и магниевые сплавы	$4j; 2m$	$5H6H; 3H6H$	$\frac{5H6H}{4j}; \frac{3H6H}{2m}$
От 35 до 45	Сталь, чугун, алюминиевые и магниевые сплавы	$4jh$	$5H6H$	$\frac{5H6H}{4jh}$

Длины свинчивания резьбовых соединений с переходными посадками должны соответствовать применяемым материалам деталей с внутренней резьбой и быть в пределах: для стали $1...1,25d$, для чугуна $1,25...1,5d$, для алюминиевых и магниевых сплавов $1,5...2,0d$.

Отклонение формы наружной и внутренней резьб, определяемое разностью между наибольшим и наименьшим действительными средними диаметрами, не должно превышать 25% от допуска среднего диаметра. Обратная конусность не допускается.

§ 79. ПОСАДКИ С НАТЯГОМ

Посадки с натягом для резьбовых соединений применяют в тех случаях, когда необходимо устранить возможность самоотвинчивания только за счет натяга без применения дополнительных элементов заклинивания. Посадки с **натягом**, установленные ГОСТ 4608—81 (СТ СЭВ 306—76), предназначены для наружных резьб деталей из стали (резьба на ввинчиваемом конце шпильки), соединяемых с внутренними резьбами деталей из стали, высокопрочных и титановых сплавов, чугуна, алюминиевых и магниевых сплавов.

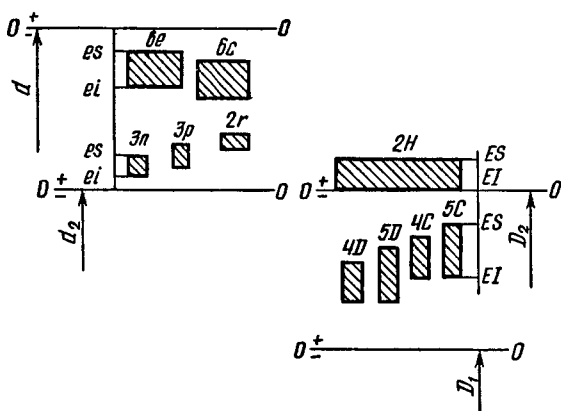


Рис. 128. Расположение полей допусков резьб с натягом.

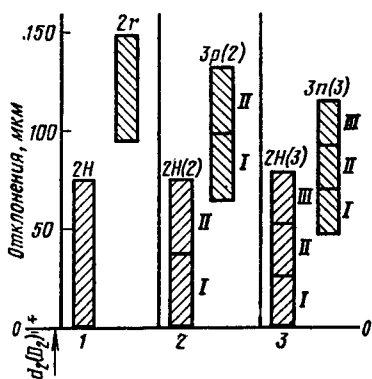


Рис. 129. Сортировка резьб по группам:

1 — без сортировки; 2 — посадка с сортировкой на две группы; 3 — посадка с сортировкой на три группы.

Стандартом предусмотрены три поля допуска среднего диаметра d_2 для наружной резьбы (шпильки) — $3n$, $3p$, $3r$ и одно поле допуска среднего диаметра D_2 для внутренней резьбы (резьбовое отверстие) — $2H$ (рис. 128). Поля допусков наружной резьбы по d установлены $6e$ и $6c$, а внутренней резьбы по D_1 — $4D$, $5D$, $4C$, $5C$, что по наружному диаметру обеспечивает зазор, а по среднему диаметру — натяг.

Поскольку даже незначительное увеличение натяга вызывает быстрый рост напряжений в соединении, что может привести к появлению пластических деформаций, возникает необходимость проведения селективной сборки с сортировкой резьбовых деталей на две или три размерные группы (рис. 129). Сортировку нужно проводить по собственно среднему диаметру в средней части длины резьбы. Резьбовое

21. Рекомендуемые поля допусков в резьбовых соединениях с натягом

Материал деталей	Поля допусков		
	наружной резьбы	внутренней резьбы при шагах P	
		до 1,25 мм	свыше 1,25 мм
Чугун и алюминиевые сплавы	$2r$	$\frac{2H5D}{2H5D(2)}$	$\frac{5H5C}{2H5C(2)}$
Чугун, алюминиевые и магниевые сплавы	$3p(2)$		
Сталь, высокопрочные и титановые сплавы	$3n(3)$	$2H4D(3)$	$2H4C(3)$

Материал деталей	Посадки при шагах P		Дополнительные условия сборки
	до 1,25 мм	свыше 1,25 мм	
Чугун и алюминиевые сплавы	$\frac{2H5D}{2r}$	$\frac{2H5C}{2r}$	—
Чугун, алюминиевые и магниевые сплавы	$\frac{2H5D(2)}{3p(2)}$	$\frac{2H5C(2)}{3p(2)}$	Сортировка на две группы
Сталь, высокопрочные и титановые сплавы	$\frac{2H4D(3)}{3n(3)}$	$\frac{2H4C(3)}{3n(3)}$	Сортировка на три группы

соединение необходимо собирать из резьбовых деталей одноименных размерных групп. Поля допусков $3p$ и $3n$ без сортировки на размерные группы можно применять в сочетании с полем допуска $3H6H$, но, поскольку эти посадки относятся к переходным, их применение требует дополнительной проверки.

Рекомендуемые поля допусков и их сочетания, образующие посадки резьбовых соединений с натягом, приведены в таблице 21. В скобках указано число групп сортировки.

Технические условия на длину свинчивания и отклонения формы наружной и внутренней резьб такие же, как и для переходных посадок.

§ 80. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ РЕЗЬБ

Параметры резьбы можно контролировать дифференцированным и комплексным методами. При дифференцированном методе контроля отдельно проверяют средний диаметр, шаг и половину угла профиля. Заключение о годности дают также по каждому параметру отдельно. Этот сложный и трудоемкий метод используют для контроля точных резьб: калибров-пробок, резьбообразующего инструмента и т. п., а также при выявлении причин брака и наладке технологического оборудования.

Предельные резьбовые калибры (рис. 130) применяют при комплексном методе контроля резьб. При

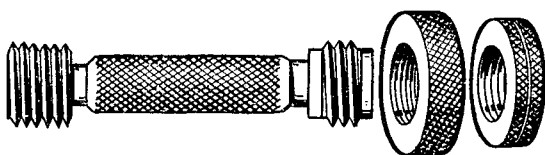


Рис. 130. Резьбовые калибры.

этом одновременно контролируют средний диаметр, шаг, половину угла профиля, а также внутренний и наружный диаметры резьбы путем сравнения действительного контура резьбовой детали с предельными. Калибры для контроля резьб применяют не только в массовом и крупносерийном, но и в мелкосерийном и индивидуальном производстве, так как дифференцированный контроль чрезвычайно сложен.

В ремонтных предприятиях, где из-за многообразия типоразмеров резьбовых соединений не всегда удастся иметь полный набор необходимых калибров, часто резьбу проверяют на свинчиваемость с новой соединяемой деталью: резьбу болта или шпильки — по новой гайке, резьбу отверстия — по новому болту или шпильке.

Чтобы подобрать соответствующий резьбовой калибр или деталь с образцовой резьбой, необходимо знать номинальный шаг резьбы, который проще всего определить резьбомером.

Резьбовые шаблоны, или резьбомеры (рис. 131), представляют собой собранные в наборы стальные пластинки с зубьями стандартных метрических профилей резьбы с шагами от 0,4 до 6 мм. Основное назначение резьбомеров — определение номинального шага резьбы подбором и наложением наиболее подходящего резьбового шаблона. Резьбомеры можно использо-

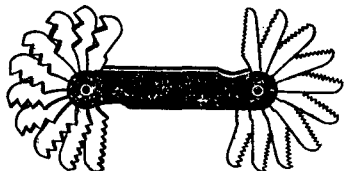


Рис. 131. Резьбовые шаблоны.

при нарезании наружных резьб на токарно-винторезных станках с последующим обязательным измерением среднего диаметра. В зависимости от требуемой точности средний диаметр наружной резьбы можно измерить

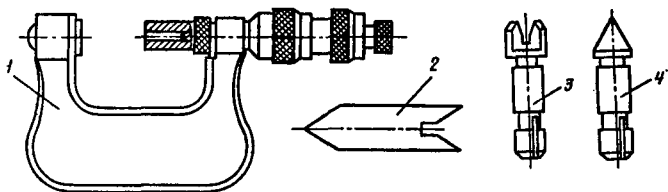


Рис. 132. Резьбовый микрометр.

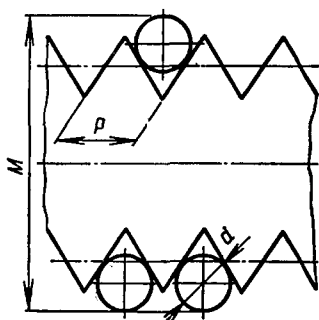


Рис. 133. Определение среднего диаметра резьбы методом трех проволок.

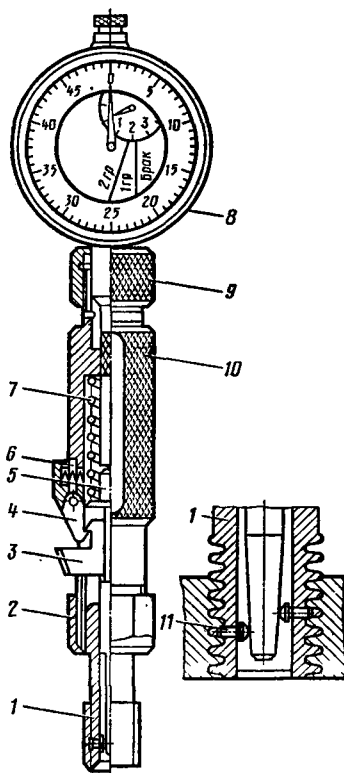


Рис. 134. Индикаторный резьбомер.

резьбовым микрометром, методом трех проволок, а также на универсальном или инструментальном микроскопах.

Резьбовой микрометр 1 (рис. 132) отличается от обычного сменными измерительными наконечниками. Коническая вставка 4 всегда должна находиться в микрометрическом винте, а призматическая 3 — в неподвижной пятке. На нуль микрометр настраивают или непосредственно сводя наконечники до упора (для микрометров с диапазоном измерения 0...25 мм), или по специальной установочной мере 2 (для микрометров с диапазоном измерения 25...50 мм). Поскольку к резьбовому микрометру приложены сменные измерительные наконечники, при каждой их замене надо обязательно проверять микрометр и устанавливать его нуль. Резьбовой микрометр используют при сравнительно невысоких требованиях к точности резьбы, так как сменные наконечники вносят большую погрешность в результат измерения.

Метод трех проволок предназначен для более точного определения среднего диаметра (рис. 133). Диаметр калиброванных проволок (роликов) подбирают таким образом, чтобы контакт их с профилем резьбы осуществлялся на уровне, где ширина впадины равна ширине выступа.

В зависимости от требуемой точности охватывающий размер M можно измерить микрометром, микрокатором, оптиметром, а средний диаметр вычислить по формуле

$$d_2 = M - 3d + 0,866P. \quad (132)$$

Методика измерения параметров резьбы на инструментальном микроскопе изложена в главе 7.

Параметры внутренней резьбы измерить значительно сложнее. При необходимости с внутренней резьбы снимают слепок путем заливки специальными сплавами с низкой температурой плавления и параметры резьбы определяют по слепку на универсальном или инструментальном микроскопе.

Индикаторный резьбомер, изображенный на рисунке 134, можно использовать для контроля и сортировки внутренних резьб по среднему диаметру. В корпу-

се 10 гайкой 9 закреплен индикатор 8. В нижней части прибора гайкой 2 удерживается сменная резьбовая пробка 1. Нарезная часть пробки должна соответствовать типу внутренней резьбы, которую необходимо измерить. В корпусе 10 расположен конический стержень 5, который пружиной 7 отжимается в нижнее положение.

При измерении нажимают на пусковую кнопку 6, которая отводит упор 4, и толкатель 3 давит на нижнюю коническую часть стержня, которая упирается в измерительные вставки 11 и раздвигает их до соприкосновения с впадинами измеряемой резьбы. Перемещение конического стержня фиксируется индикатором 8. Индикаторный резьбомер можно использовать для контроля сквозных и глухих внутренних резьб диаметром до 16 мм.

Глава 15. ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ, МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ ШПОНОЧНЫХ И ШЛИЦЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

§ 81. ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ ШПОНОЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Шпонки являются соединительным звеном между вращающимися деталями (шкивы, звездочки, зубчатые колеса) и валом или осью. Основное назначение шпоночных соединений — передача крутящего момента. Из всего разнообразия конструкций шпоночных соединений в автотракторном и сельскохозяйственном машиностроении наиболее распространены призматические и сегментные шпонки.

Призматические шпоночные соединения имеют размеры, определенные ГОСТ 23360—78 (СТ СЭВ 189—75 и СТ СЭВ 189—79). На рисунке 135, а указаны обозначения размеров призматического шпоночного соединения.

В зависимости от назначения шпоночного соединения и условий его работы рекомендуются поля допусков соединения вал — втулка по номинальному диаметру d_n , приведенные в таблице 22.

В зависимости от характера соединений: плотное, нормальное, свободное, для сопряжений «шпонка —

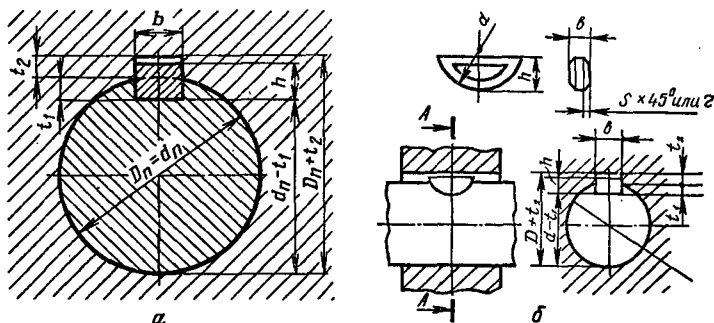


Рис. 135. Обозначения размеров шпоночных соединений:
а — с призматической шпонкой; б — с сегментной шпонкой.

22. Рекомендуемые поля допусков в соединениях вал — втулка

Условия работы	Рекомендуемые поля допусков		Посадки
	отверстия	вала	
При точном центрировании	<i>H6</i>	<i>js6; k6; m6; n6</i>	Переходные
При больших динамических нагрузках	<i>H7</i>	<i>s7</i>	С натягом
	<i>H8</i>	<i>x8; u8; s8</i>	
При осевом перемещении втулки по валу	<i>H6</i>	<i>h6</i>	С зазором
	<i>H7</i>	<i>h7</i>	

паз вала» и «шпонка — паз втулки» ГОСТ 24071—80 (СТ СЭВ 647—77) устанавливает поля допусков, приведенные в таблице 23, а на рисунке 136 показано их взаимное расположение.

Все остальные размеры шпоночного соединения, кроме *b* (см. рис. 135, *a*), являются непосадочными размерами, на которые установлены следующие поля допусков:

- h* — высота шпонки — по *h11*;
- l* — длина шпонки — по *h14*;
- l_{вал}* — длина паза на валу — по *H15*;
- l_{вт}* — длина паза во втулке — по *H15*;
- t₁* — исполнительная глубина фрезерования паза вала — по *H12*;
- t₂* — исполнительная глубина фрезерования паза втулки — по *H12*.

23. Рекомендуемые поля допусков в сопряжениях шпонка — паз вала (втулки)

Вид соединения и характер производства	Рекомендуемые поля допусков		
	ширина шпонки	ширина паза вала	ширина паза втулки
Плотные соединения при точном центрировании (индивидуальное производство)	<i>h9</i>	<i>P9</i>	<i>P9</i>
Нормальные соединения (массовое производство)	<i>h9</i>	<i>N9</i>	<i>J_s9</i>
Свободное соединение (направляющие шпонки)	<i>h9</i>	<i>H9</i>	<i>D9</i>

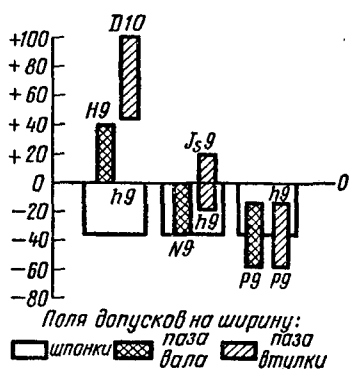


Рис. 136. Расположение рекомендуемых полей допусков шпоночных соединений.

для ширины b по $h9$, высоты h — по $h11$, диаметра d — по $h12$.

§ 82. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ ДЕТАЛЕЙ ШПОНОЧНОГО СОЕДИНЕНИЯ

Для дифференцированного контроля размеров деталей шпоночного соединения можно использовать универсальные средства измерения, однако это требует больших затрат времени. Поэтому на заводах автотракторного и сельскохозяйственного машиностроения детали шпоночных соединений контролируют с помощью предельных калибров.

Ширину пазов вала и втулки проверяют пластинами, имеющими проходную и непроходную стороны (рис. 137, а). Размер от образующей цилиндрической поверхности втулки до дна паза ($D_n + t_2$) контролируют пробкой со ступенчатым выступом (рис. 137, б). Глубину паза вала t_1 проверяют кольцевыми калибрами, имеющими стержень с проходной и непроходной ступенями (рис. 137, в). Симметричность расположения паза относительно осевой плоскости проверяют у втулки пробкой со шпонкой (рис. 137, г), а у вала — накладной призмой с контрольным стержнем (рис. 137, д).

При ремонте машин можно использовать как уни-

Размеры сегментных шпонок, установленные ГОСТ 24071—80 (СТ СЭВ 647—77), указаны на рисунке 135, б. Предельные отклонения ширины паза устанавливают в зависимости от характера соединения. Они должны соответствовать при нормальном соединении: паз вала — $N9$, паз втулки — $Js9$; при плотном соединении: паз вала и паз втулки — $P9$.

Предельные отклонения шпонки установлены

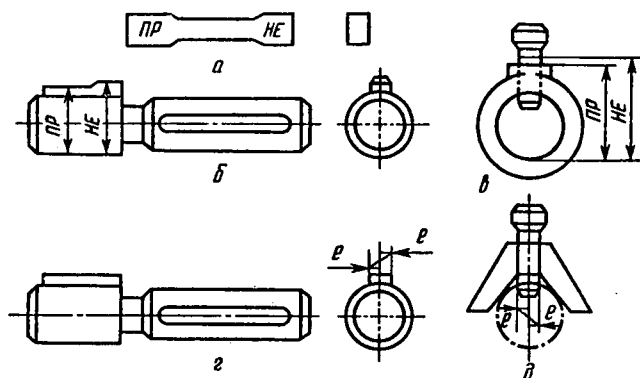


Рис. 137. Калибры для контроля деталей шпоночных соединений.

версальные средства измерения, так и калибры. Из большого числа размеров шпоночного соединения за счет пластических деформаций изменяется только ширина шпоночных пазов и самой шпонки. Поэтому при дефектации можно применять универсальные средства измерения, а при восстановлении шпоночных пазов желательно использовать предельные калибры.

§ 83. ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ ШЛИЦЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Шлицевые соединения, несмотря на более сложную технологию изготовления по сравнению со шпоночными, находят все более широкое применение. Это объясняется следующими их преимуществами: лучшее центрирование и направление посаженных на вал деталей; более равномерное распределение нагрузки по высоте зуба; меньшая концентрация напряжений, что позволяет при одинаковых габаритах передавать больший крутящий момент.

В зависимости от назначения, условий работы, конструктивных особенностей используют три вида шлицевых соединений, отличающихся профилем зубьев: прямобочные, шлицевые эвольвентные с углом профиля 30° и треугольные.

Наиболее распространены шлицевые соединения с прямобочным профилем и четным числом зубьев. Основные параметры такого соединения показаны на ри-

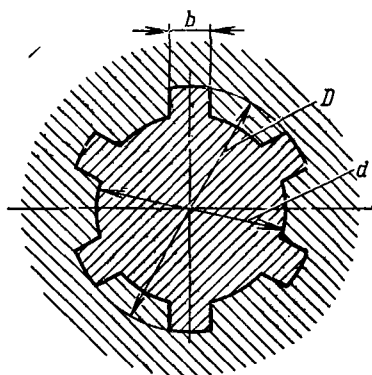


Рис. 138. Основные размеры шлицевого соединения с прямобочным профилем.

высоту и число зубьев, их применяют при средних нагрузках. У соединений тяжелой серии наибольшие высота и число зубьев, эти соединения предназначены для тяжелых условий работы.

Шлицевые соединения могут быть подвижными, когда втулка перемещается вдоль вала (зубчатые колеса коробок передач, раздаточных коробок, включающие и выключающие муфты), и неподвижными, когда втулка в процессе работы не должна перемещаться по валу.

В зависимости от технологических и эксплуатационных требований центрирование вала и втулки достигается одним из трех методов: по наружному диаметру D , внутреннему диаметру d и боковым сторонам b (рис. 139).

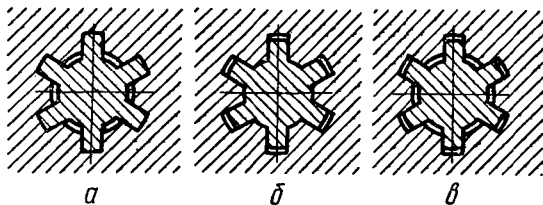


Рис. 139. Методы центрирования шлицевых соединений:

a — по наружному диаметру; $б$ — по внутреннему диаметру; $в$ — по боковым сторонам.

Центрирование по наружному диаметру D рекомендуется, когда втулка термически не обрабатывается и когда твердость ее материала допускает обработку протягиванием, что позволяет получить диаметр впадин втулки точного размера. Вал в данном случае шлифуют по наружному диаметру. Этот способ наиболее простой, экономичный. Его широко применяют в автотракторном и сельскохозяйственном машиностроении.

Центрирование по внутреннему диаметру d целесообразно, когда втулка имеет высокую твердость и точный размер можно получить только для диаметра d , используя внутреннее шлифование. Вал при этом обрабатывают на шлицешлифовальном станке, который позволяет получить точный размер внутреннего диаметра вала. Этот метод обеспечивает высокую точность центрирования, но стоимость изготовления шлицевых деталей значительно увеличивается.

Центрирование по боковым сторонам зубьев b не обеспечивает точного центрирования втулки и вала, но дает наиболее равномерное распределение сил между зубьями. Этот метод рекомендуется применять при передаче больших крутящих моментов или при знакопеременных нагрузках, когда требуются минимальные зазоры между боковыми поверхностями зубьев и впадин (например, при центрировании скользящих шлицевых соединений карданных валов автомобилей и тракторов).

В случае необходимости можно применять одновременное центрирование по боковым поверхностям шлицев и по одному из диаметров. Но такое повышение точности шлицевого соединения, связанное с увеличением стоимости изготовления, должно быть технически и экономически обосновано.

Из рекомендуемых стандартом полей допусков валов и втулок выделены следующие предпочтительные поля допусков:

валов — $g6; js6; f7; js7; k7; e8; f9; h9; d9; f9;$
втулок — $H7; F8; D9; F10.$

Стандартом предусмотрены также рекомендуемые сочетания полей допусков валов и втулок, образующие посадки, среди которых в зависимости от метода центрирования выделены предпочтительные:
центрирование по внутреннему диаметру—

посадки центрирующего диаметра d : $\frac{H7}{f7}$; $\frac{H7}{g6}$;

посадки по ширине b : $\frac{D9}{h9}$; $\frac{D9}{js7}$; $\frac{D9}{k7}$; $\frac{F10}{f9}$; $\frac{F10}{js7}$;

центрирование по наружному диаметру —

посадки центрирующего диаметра D : $\frac{H7}{f7}$; $\frac{H7}{js6}$;

посадки по ширине b : $\frac{F8}{f7}$; $\frac{F8}{f8}$; $\frac{F8}{js7}$;

центрирование по боковым сторонам зубьев —

посадки по ширине b : $\frac{F8}{js7}$; $\frac{D9}{e8}$; $\frac{D9}{f8}$; $\frac{F10}{d9}$; $\frac{F10}{f8}$.

Поля допусков нецентрирующих диаметров также установлены стандартом: при центрировании по D или b поле допуска втулки по d — $H11$, диаметр вала d — не менее d_1 ; при центрировании по d или b поле допуска втулки по D — $H12$, вала по D — $a11$.

Необходимо помнить, что во всех рекомендуемых посадках даже по центрирующим элементам обеспечивается гарантированный зазор. Это необходимо для того, чтобы компенсировать погрешности формы и расположения поверхностей шлицевых зубьев и впадин.

Обозначения прямобочных шлицевых соединений, залов и втулок должны содержать: букву, указывающую поверхность центрирования; число зубьев, номинальные размеры d , D и b в соединении вала и втулки; обозначения полей допусков или посадок диаметров, а также размера b , помещенные после соответствующих размеров. В обозначении можно не указывать допуски нецентрирующих диаметров.

Примеры обозначений шлицевых соединений:

$$1) d-8 \times 32 \frac{H7}{f7} \times 36 \frac{H12}{a11} \times 6 \frac{D9}{h9},$$

где d — центрирующий диаметр; $z = 8$ — число зубьев; $d = 32$ — внутренний диаметр; $D = 36$ — наружный диаметр; $b = 6$ — ширина зуба;

условное обозначение втулки этого соединения —

$$d-8 \times 32 H7 \times 36 H12 \times 6 D9;$$

условное обозначение вала этого соединения —

$$d-8 \times 32 f 7 \times 36 a 11 \times 6 h 9;$$

$$2) D-8 \times 32 \times 36 \frac{H 7}{f 7} \times 6 \frac{F 8}{f 8} \text{ (центрирование по } D);$$

$$3) b-8 \times 32 \times 36 \frac{H 12}{a 11} \times 6 \frac{D 9}{f 8} \text{ (центрирование по } b).$$

Шлицевые соединения с эвольвентным профилем по сравнению с прямобочным имеют ряд преимуществ: способность передавать больший крутящий момент при том же диаметре вала, лучшее центрирование соединяемых деталей и способность самоустанавливаться под нагрузкой.

Однако особенности технологии изготовления этих соединений позволяют экономически обосновано применять их в крупносерийном и массовом производстве.

Номинальные размеры шлицевых эвольвентных соединений с углом профиля 30° , номинальные размеры и измеряемые величины M_i и M_a по роликам и длине общей нормали W (рис. 140) установлены ГОСТ 6033—80 (СТ СЭВ 259—76, СТ СЭВ 268—76, СТ СЭВ 269—76, СТ СЭВ 517—77). Этим же стандартом определен исходный контур, форма зубьев и впадин, модули и числа зубьев, а также допуски и посадки.

Детали шлицевого эвольвентного соединения центрируют в основном по боковым сторонам s и наружному диаметру D , хотя допускается также центрирование по внутреннему диаметру.

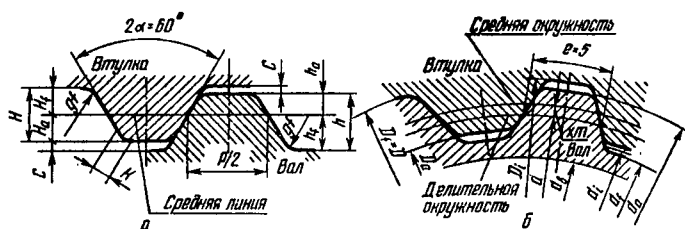


Рис. 140. Форма зубьев и основные параметры эвольвентных шлицевых соединений:

а — исходный контур; б — форма зубьев вала и втулки.

24. Посадки по боковым поверхностям зубьев

Поле допуска ширины впадины втулки	Поле допуска толщины зуба вала									
	9r	8p	7n	8k	7h	9h	9g	7f	8f	10d
7H	$\frac{7H}{9r}$	$\frac{7H}{8p}$	$\frac{7H}{7n}$	$\frac{7H}{8k}$	$\frac{7H}{7h}$	—	—	—	—	—
9H	—	—	—	$\frac{9H}{8k}$	—	$\frac{9H}{9h}$	$\frac{9H}{9g}$	$\frac{9H}{7f}$	$\frac{9H}{8f}$	—
11H	—	—	—	—	—	—	—	—	—	$\frac{11H}{10d}$

ниях, где число следует за буквой, в шлицевых соединениях принят обратный порядок.

Допускается применять другие посадки, образованные сочетанием рекомендованных полей допусков.

Кроме допусков на ширину впадины втулки и толщину зуба вала, стандарт устанавливает также предельные значения радиального биения F , зубчатого венца относительно центрирующих диаметров.

При центрировании по наружному диаметру установлены поля допусков центрирующих диаметров D_f и d_a и их сочетания (табл. 25).

25. Поля допусков центрирующих диаметров

Центрирующий диаметр	Поле допуска	
	ряд 1	ряд 2
D_f	$H7$	$H8$
d_a	$n6; js6, h6, g6, f7$	$n6, h6, g6, f7$

При выборе полей допусков ряд 1 следует предпочитать ряду 2.

Поля допусков ширины впадины втулки e следует назначать 9H или 11H, а поля допусков толщины зуба вала s — соответственно 9h; 9g; 9d; 11c; 11a.

Поля допусков нецентрирующих диаметров при центрировании по боковым поверхностям зубьев и при центрировании по наружному диаметру должны соответствовать указанным в таблице 26.

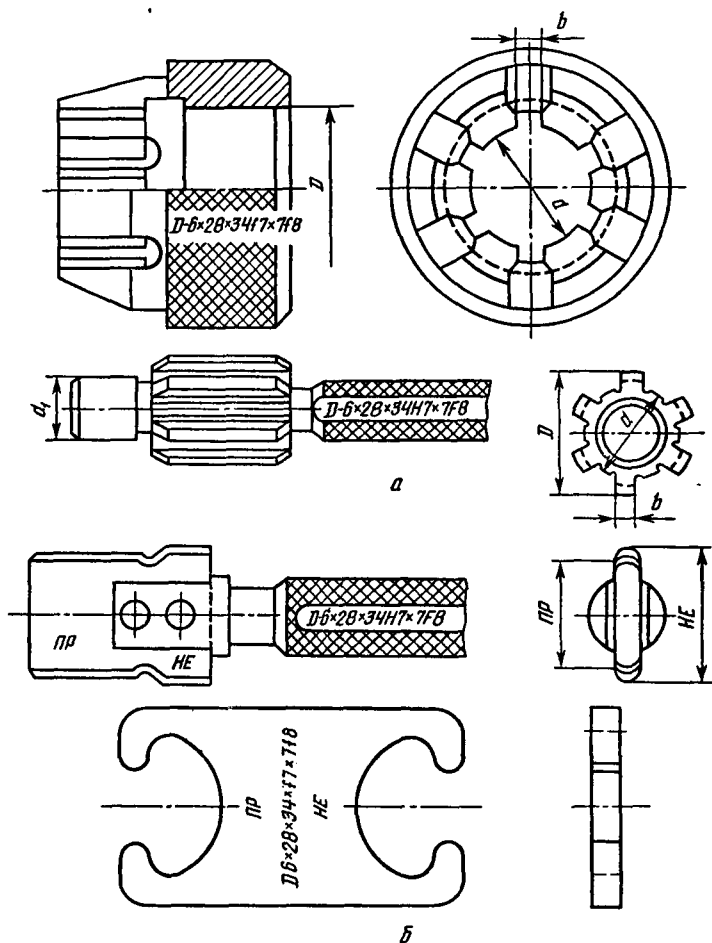


Рис. 142. Калибры для комплексного контроля деталей шлицевых соединений (а) и для позиционного контроля шлицевых поверхностей (б).

ференцированный контроль центрирующего диаметра (D или d) и ширины шлица b еще недостаточен, чтобы сделать заключение о собираемости шлицевого соединения, так как возможны отклонения от равномерного расположения по окружности зубьев и впадин, а также от параллельности боковых поверхно-

26. Поля допусков нецентрирующих диаметров

Вид центрирования	Нецентрирующий диаметр	Поле допуска
По боковым поверхностям зубьев		При плоской форме дна впадины $H16$
	Df	При закругленной форме дна впадины $Df_{\min} = D$
	Da	$H11$
	da	$d9, h12$
По наружному диаметру		При плоской форме дна впадины $h16$
	df	При закругленной форме дна впадины $df_{\max} = D - 2,2m$
	Da	$H11$
	df	При плоской форме дна впадины $h16$
		При закругленной форме дна впадины $df_{\max} = D - 2,2m$

На чертежах условное обозначение шлицевого эвольвентного соединения должно содержать: номинальный диаметр соединения D ; модуль m ; обозначение посадки соединения (полей допусков вала и втулки), помещаемое после размеров центрирующих элементов; обозначение стандарта.

Примеры обозначений шлицевых эвольвентных соединений:

- 1) при центрировании по боковым сторонам зубьев $50 \times 2 \times 9H/9g$ ГОСТ 6033—80;
- 2) при центрировании по наружному диаметру $50 \times H7/g6 \times 2$ ГОСТ 6033—80;
- 3) при центрировании по внутреннему диаметру $i50 \times 2 \times H7/g6$ ГОСТ 6033—80.

Как и обычно, на сборочных чертежах в числителе проставляют условное обозначение поля допуска втулки, а в знаменателе — поля допуска вала.

§ 84. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ ДЕТАЛЕЙ ШЛИЦЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Чтобы обеспечить собираемость шлицевых соединений, необходим контроль валов и втулок комплексным и дифференцированным методами. Диф-

стей шлицев оси детали. Поэтому детали шлицевых соединений, как правило, контролируют комплексными проходными калибрами (рис. 142, а). При этом поэлементный контроль выполняют, применяя специальные калибры (рис. 142, б) или универсальные измерительные приборы.

При использовании комплексных калибров отверстие считается годным, если комплексный калибр-пробка проходит по всей длине шлицевой поверхности, а диаметры и ширина паза не выходят за установленные верхние пределы; вал считается годным, если комплексный калибр-кольцо проходит по всей длине шлицевой поверхности, а диаметры и толщина зуба не выходят за установленные нижние пределы. По форме комплексные калибры являются прототипом сопрягаемой детали. Поэтому в ремонтных предприятиях вместо комплексных калибров часто используют новые детали. Такие образцовые детали должны свободно входить в проверяемую деталь.

Глава 16. ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ, МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ

§ 85. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ЗУБЧАТЫМ ПЕРЕДАЧАМ

Зубчатая передача представляет собой сложную кинематическую пару, точность которой должна быть обеспечена многими параметрами. От работы зубчатых передач зависят такие показатели работы машин в целом, как плавность и бесшумность хода автомобиля, передача больших крутящих моментов в тракторе, обеспечение точного передаточного отношения в механизмах газораспределения двигателей, высокая точность кинематических цепей металло-режущих станков и т. п. Увеличение скоростей и нагрузок, повышение требований к надежности и долговечности вызывают необходимость изготовления более точных зубчатых передач.

Зубчатые передачи в зависимости от формы колес и взаимного расположения осей делятся на цилиндрические (оси параллельны), конические (оси пересекаются), винтовые, гипоидные и червячные (оси перекрещиваются). По эксплуатационным требованиям зубчатые передачи можно разделить на три основные группы: отсчетные, скоростные и силовые.

Отсчетные передачи должны обеспечивать высокую кинематическую точность, т. е. определенное передаточное отношение (согласованность углов поворота ведущего и ведомого колес). К этой группе передач относятся шестерни газораспределения, шестерня и рейка топливного насоса дизеля, цепи делительной головки, зубчатая передача в индикаторах часового типа и т. п. Передачи характеризуются наличием небольшого модуля, передачей незначительных нагрузок и сравнительно небольшими окружными скоростями.

Скоростные передачи должны обеспечивать плавность работы, т. е. работать без шума и вибрации. Требования к плавности растут с повышением окружной скорости зубчатых колес. Обычно в этих передачах важными особенностями являются также полнота

контакта и наличие гарантированного бокового зазора между неработающими профилями сопряженных зубьев. К скоростным передачам относятся автомобильные коробки передач, передачи приводов центрифуг и турбокомпрессоров, коробки скоростей металлорежущих станков, редукторные узлы и т. п. Передачи характеризуются наличием среднего модуля и значительной длиной зуба. Часто для этих передач в технические условия вводят требования в отношении уровня шума и вибрации.

Силовые передачи должны обеспечивать полноту контакта сопряженных зубьев (по длине и высоте зуба). К этой группе передач относятся бортовые передачи тракторов, редукторы грузоподъемных машин, редукторы других машин, работающие при больших нагрузках и невысоких скоростях. Силовые передачи характеризуются наличием большого модуля и большой длины зуба, малыми скоростями и способностью передавать значительные крутящие моменты.

В соответствии с этими эксплуатационными требованиями все параметры точности зубчатой передачи по ГОСТ 1643—81 (СТ СЭВ 641—77) разделены на три группы:

- параметры, обеспечивающие кинематическую точность;

- параметры, обеспечивающие плавность работы;

- параметры, обеспечивающие контакт зубьев.

§ 86. ПАРАМЕТРЫ ТОЧНОСТИ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ И МЕТОДЫ ИХ КОНТРОЛЯ

Параметры точности зубчатых передач невозможно рассматривать в отрыве от методов их контроля, поскольку сами определения параметров связаны с тем или другим методом их измерения. Достаточно рассмотреть параметры точности на примере цилиндрических прямозубых передач, наиболее широко распространенных, имея в виду, что принципы построения системы допусков для всех разновидностей зубчатых передач являются общими.

Кинематическая точность передачи характеризуется следующими параметрами.

Кинематическая погрешность передачи $F_{кп}$ — разность между действительным $\varphi_{2д}$ и номи-

нальным $\varphi_{2н}$ углами поворота ведомого зубчатого колеса передачи; она выражается длиной дуги его делительной окружности (рис. 143) и равна

$$F_{кпп} = (\varphi_{2д} - \varphi_{2н})r, \quad (133)$$

где r — радиус делительной окружности ведомого колеса.

Наибольшая кинематическая погрешность передачи F'_{ior} — наибольшая алгебраическая разность значений кинематической погрешности передачи за полный цикл изменения относительного положения зубчатых колес. Она равняется сумме кинематических погрешностей обоих колес передачи.

Чтобы отличить действительное отклонение от допускаемого, или от допуска, к основному обозначению добавляют подстрочный индекс « r ».

Кинематическая погрешность зубчатого колеса $F_{кпк}$ — разность между действительным и номинальным углами поворота зубчатого колеса на его рабочей оси, ведомого измерительным колесом при отсутствии непараллельности и перекося осей вращения этих колес; выражается она длиной дуги делительной окружности (рис. 144).

Кинематическую погрешность зубчатого колеса измеряют на приборах при однопрофильном зацеплении с измерительным зубчатым колесом (рис. 145) в пределах одного полного оборота колеса. Графики кинематической погрешности могут быть построены по показаниям индикатора или вычерчены самописцем прибора. По оси абсцисс откладывают углы поворота зубчатого колеса, а по оси ординат — погрешность угла поворота (см. рис. 144).

Наибольшая кинематическая погрешность зубчатого колеса представляет собой наибольшую алгебраическую разность значений кинематической погрешности зубчатого колеса в пределах его полного оборота.

Кинематическая точность зубчатых колес зависит от таких погрешностей, суммарное влияние которых

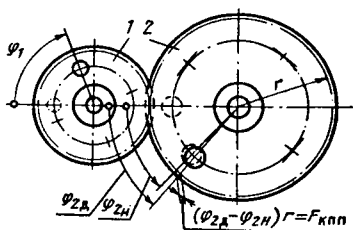


Рис. 143. Определение кинематической погрешности передачи:

1 — ведущее колесо; 2 — ведомое колесо.

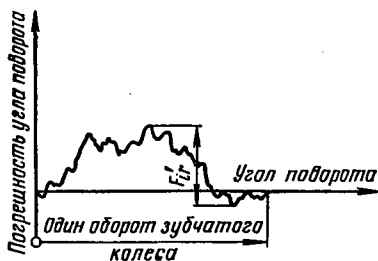
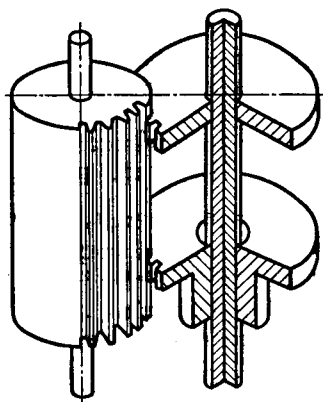


Рис. 144. График кинематической погрешности колеса.

Рис. 145. Схема прибора для измерения зубчатых колес с однопрофильным зацеплением.



обнаруживается один раз за оборот колеса. К ним относятся погрешность обката, накопленная погрешность шагов, радиальное биение зубчатого венца, колебания длины общей нормали и измерительного межцентрового расстояния за оборот колеса.

Погрешность обката F_{cr} — составляющая кинематической погрешности зубчатого колеса, определяемая при его вращении на технологической оси и при исключении циклических погрешностей зубцовой частоты и кратных ей более высоких частот. Погрешность обката зубчатого колеса возникает как результат кинематической погрешности делительной цепи станка, вызывающей несогласованность угловых поворотов обрабатываемого колеса и перемещения зубообрабатывающего инструмента.

Накопленную погрешность k шагов F_{pkr} — кинематическую погрешность зубчатого колеса при номинальном его повороте на k целых угловых шагов ($k = 2 \dots \frac{z}{2}$ — целое число) определяют из выражения

$$F_{pkr} = [\varphi_d - (2\pi/z)k]r, \quad (134)$$

где φ_d — действительный угол поворота колеса, соответствующий k угловым шагам; z — число зубьев; r — радиус делительной окружности; $(2\pi/z)k$ — номинальный угол поворота колеса.

Накопленная погрешность шага по зубчатому колесу F_{pr} — наибольшая алгебраическая разность значений накопленных погрешностей,

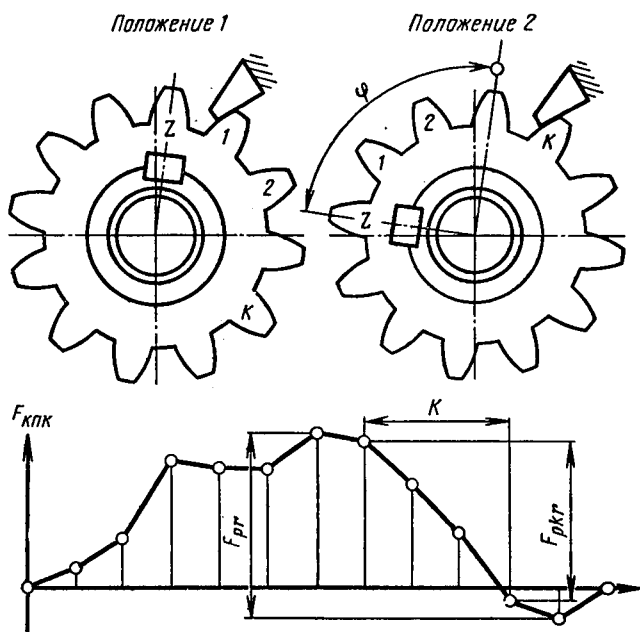


Рис. 146. Погрешность шага.

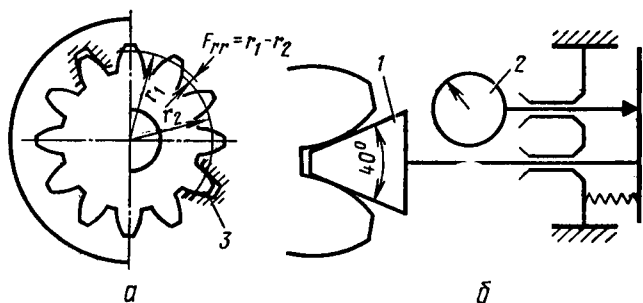


Рис. 147. Радиальное биение зубчатого венца (а) и схема биениемера (б).

найденных для всех значений k в пределах от 2 до $z/2$ (рис. 146). Погрешность измеряют одним из контактных шагомеров.

Радиальное биение зубчатого венца F_{rr} — наибольшая в пределах зубчатого колеса разность расстояний от его рабочей оси до делительной прямой элемента нормального исходного контура одиночного зуба или впадины, условно наложенного на профили зубьев колеса (рис. 147, а). Радиальное биение зубчатого венца контролируют на биениемере (рис. 147, б), у которого измерительный конус 1 выполняет роль элемента нормального исходного контура, а биение определяется как разность показаний индикатора 2:

$$F_{rr} = R_{\max} - R_{\min}. \quad (135)$$

Колебание длины общей нормали определяется ее длиной. Длина общей нормали W — расстояние между разноименными профилями двух зубьев, измеренное по общей нормали к ним, являющейся касательной к основной окружности (рис. 148):

$$W = \widetilde{CD} = \overline{AB}. \quad (136)$$

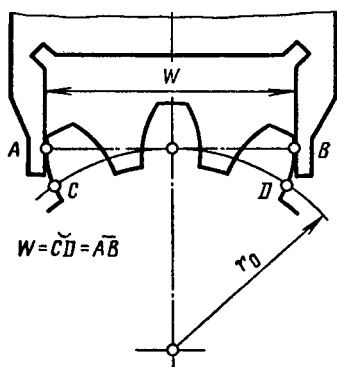


Рис. 148. Определение длины общей нормали.

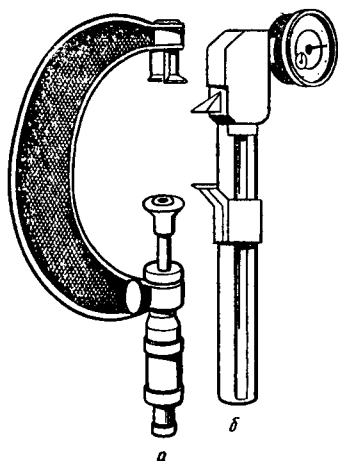


Рис. 149. Зубомерный микрометр и индикаторный нормалемер.

Для цилиндрических прямозубых некорригированных колес при $\alpha = 20^\circ$ номинальная длина общей нормали может быть найдена по формуле

$$W_n = m[1,476(2n - 1) + 0,1387z], \quad (137)$$

где n — число охватываемых зубьев ($n = z/9 + 0,5$ и округляют до целого большего числа); z — число зубьев колеса; m — модуль.

Колебание длины общей нормали V_{wr} — разность между $W_{\max}$ и $W_{\min}$ на одном и том же зубчатом колесе:

$$V_{wr} = W_{\max} - W_{\min}. \quad (138)$$

Длину общей нормали контролируют, используя специальные зубомерные микрометры и индикаторные нормалемеры (рис. 149). Для контроля колес грубых степеней точности, а также в процессе ремонта при дефектации можно применять штангенциркули с точностью отсчета 0,05 мм.

Колебание измерительного межосевого расстояния. Номинальное измерительное межосевое расстояние — расчетное расстояние между осями измерительного и проверяемого колеса, имеющего наименьшее дополнительное смещение исходного контура. При этом сопряженные зубья колес находятся в плотном двухпрофильном зацеплении.

Измерительное межосевое расстояние при беззазорном двухпрофильном зацеплении контролируют, используя межцентромер (рис. 150). Принцип его действия заключается в следующем. На оправку 2, установленную в подвижной каретке 3, посажено измери-

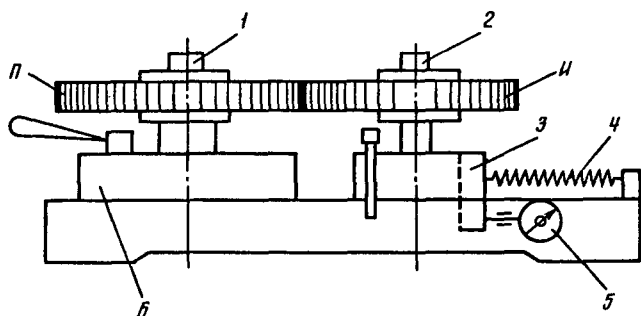


Рис. 150. Межцентромер.

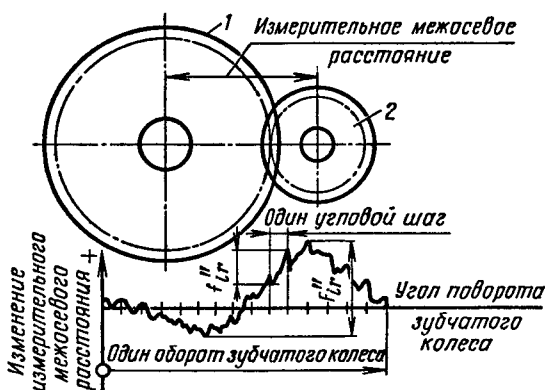


Рис. 151. График колебаний измерительного межцентрового расстояния за оборот зубчатого колеса (F''_{lr}) и на одном зубе (f''_{lr}):
1 — контролируемое колесо; 2 — измерительное колесо.

тельное колесо И, а на оправку 1, смонтированную на неподвижном суппорте 6, — проверяемое колесо П. Каретка 3 под действием пружины 4 прижимает измерительное колесо к проверяемому, чем создается беззазорное двухпрофильное зацепление. При вращении проверяемого колеса колебания межосевого расстояния отсчитывают по показаниям индикатора 5 или записывают самописцем прибора на бумажной ленте.

Колебание F''_{lr} измерительного межосевого расстояния за оборот колеса или колебание f''_{lr} измерительного межосевого расстояния на одном зубе равно разности между наибольшим и наименьшим действительными межосевыми расстояниями при беззазорном двухпрофильном зацеплении измерительного зубчатого колеса с проверяемым соответственно при повороте последнего на полный оборот или на один угловой шаг (рис. 151).

Кинематическую точность зубчатого колеса можно повысить, снизив радиальное биение колеса и обработкой его на станках с повышенной кинематической точностью при точном центрировании заготовки в процессе нарезания и шлифования зубьев.

Плавность работы зубчатой передачи определяется параметрами, погрешности которых многократно

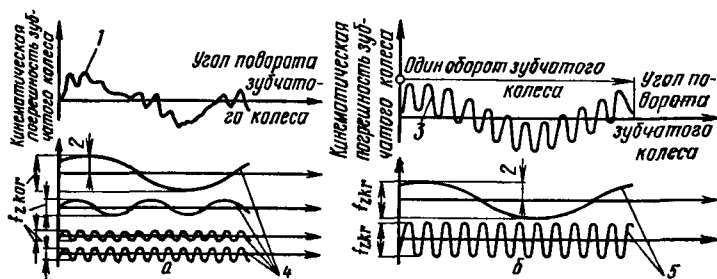


Рис. 152. График циклической погрешности передачи (а) и циклической погрешности колеса (б):

1 — график кинематической погрешности передачи; 2 — амплитуда; 3 — график кинематической погрешности зубчатого колеса; 4 — гармонические составляющие кинематической погрешности передачи; 5 — гармонические составляющие кинематической погрешности зубчатого колеса.

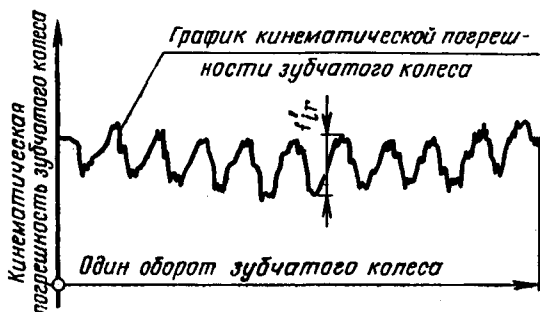


Рис. 153. График местной кинематической погрешности.

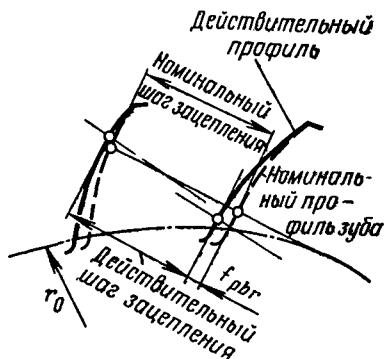


Рис. 154. Отклонения шага зацепления.

(циклически) проявляются за оборот зубчатого колеса и составляют часть кинематической погрешности.

Циклическая погрешность передачи f_{zkor} (рис. 152, а) и зубчатого колеса f_{zkr} (рис. 152, б) — это удвоенная амплитуда гармонической составляющей кинематической погрешности передачи или колеса.

Циклическая погрешность зубцовой частоты f_{z20r} — это циклическая погрешность зубчатого колеса с частотой, равной частоте входа зубьев в зацепление ($k = z$). Циклическая погрешность зубцовой частоты — главная причина нарушения плавности работы зубчатых прямозубых передач.

Наибольшая местная кинематическая погрешность f'_{ir} — наибольшая разность между местными соседними экстремальными (максимальными и минимальными) значениями кинематической погрешности зубчатого колеса в пределах его оборота (рис. 153).

Отклонение шага (углового) f_{ptr} — это кинематическая погрешность зубчатого колеса при его повороте на один номинальный угловой шаг:

$$f_{ptr} = (\varphi_d - 2\pi/z)r. \quad (139)$$

Отклонение шага зацепления f_{pbr} — разность между действительным и номинальным шагами зацепления. Действительный шаг зацепления равен расстоянию между двумя параллельными плоскостями, касательными к двум одноименным активным боковым поверхностям соседних зубьев зубчатого колеса в сечении, перпендикулярном к направлению зубьев в плоскости, касательной к основному цилиндру (рис. 154).

Для определения отклонения действительного размера шага зацепления от номинального используют специальные шагомеры. На рисунке 155 изображен шагомер с тангенциальными наконечниками. Измерительный наконечник 2 подвешен на плоских пружинах 1. Перемещение наконечника фиксируется отсчетным устройством 6 с ценой деления 0,001 мм. Второй измерительный наконечник 3 устанавливают в нужном положении винтом 5. Опорный наконечник 4 поддерживает прибор при измерении и обеспечивает расположение линии измерения по нормали к профилям

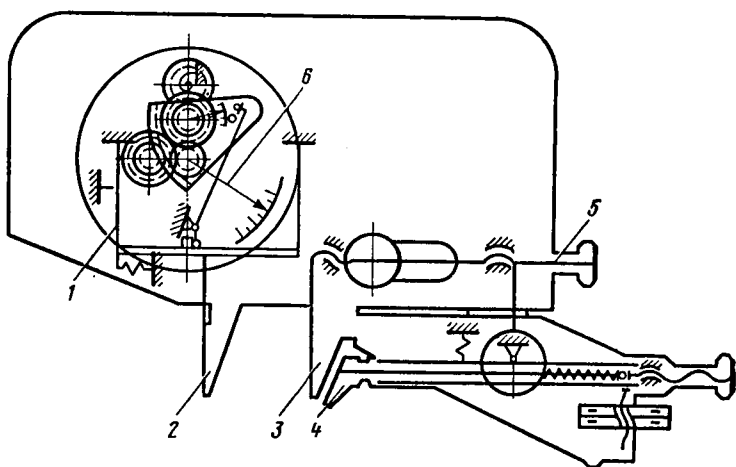


Рис. 155. Шагомер.

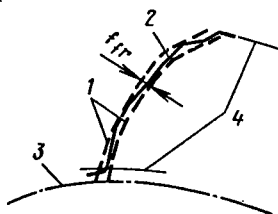


Рис. 156. Погрешность профиля зуба:

1 и 2 — номинальный и действительный торцевые профили; 3 — основная окружность; 4 — границы активного профиля зуба.

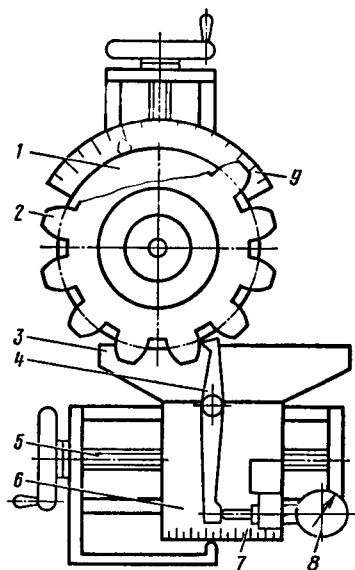


Рис. 157. Эвольвентомер.

зубьев. Шагомер настраивают по блоку концевых мер, размер которого равен номинальному значению основного шага.

Отклонения шага зацепления приводят к тому, что в зацеплении находится только одна пара зубьев, пересопряжение зубьев сопровождается ударами, повышенным шумом, передача работает не плавно. Если отклонений нет или они незначительны, то обеспечивается плавное зацепление, так как к моменту выхода из зацепления одной пары зубьев в контакт уже войдет следующая пара.

Погрешность профиля зуба f_{jr} (рис. 156) — расстояние по нормали между двумя ближайшими номинальными торцевыми профилями 1, между которыми размещается действительный торцевой профиль 2 зуба колеса. Погрешности профиля ухудшают плавность работы передачи и уменьшают поверхность контакта зубьев.

Для контроля профиля зубьев в торцевом сечении используют эвольвентомеры. На рисунке 157 показана схема индивидуально-дискового эвольвентомера. Проверяемое зубчатое колесо 2 устанавливают на одной оправке со сменным диском 1, диаметр которого равен диаметру основной окружности колеса. Диск прижимается пружиной к доведенной линейке 3, закрепленной на каретке 6 прибора. При перемещении каретки ходовым винтом 5 движение (без скольжения) передается диску и вместе с ним — проверяемому колесу. При этом каждая точка рабочей плоскости линейки описывает относительно диска эвольвенту. Над линейкой в одной вертикальной плоскости с ее рабочей поверхностью расположен измерительный наконечник рычага 4, другое плечо которого соприкасается с наконечником индикатора 8. По шкале 9 определяют угол разворачивания проверяемого колеса, а по шкале 7 — смещение каретки из исходного положения, при котором измерительный наконечник касается профиля зуба на радиусе основной окружности.

Перед началом измерения измерительный наконечник рычага устанавливают на боковую поверхность зуба у его основания, а шкалу индикатора — на нуль. Ходовым винтом 5 перемещают каретку, при этом измерительный рычаг скользит по профилю зуба. Если профиль зуба отличается от эвольвенты задан-

ной основной окружности, то рычаг получает угловое смещение, фиксируемое индикатором.

При использовании эвольвентометров такого типа для каждого колеса необходим специальный сменный диск. Выпускают и универсальные эвольвентометры, лишенные этого недостатка.

Погрешности, нарушающие плавность работы передачи, многократно повторяются за оборот колеса и вызывают удары зубьев, крутильные колебания привода, поперечные колебания валов, вибрацию всего агрегата, что сопровождается повышенным уровнем шума и резко снижает долговечность скоростных тяжело нагруженных передач. Плавность передачи можно повысить, увеличивая число зубьев делительного колеса зубообрабатывающих станков, повышая точность червяка, сопряженного с этим колесом, применяя шевингование и зубохонингование боковых поверхностей зубьев колес.

Контакт зубьев в передаче в значительной мере определяет ее долговечность, так как при неполном и неравномерном прилегании зубьев уменьшается несущая поверхность, увеличиваются контактные напряжения, ухудшаются условия смазки. Комплексным параметром, характеризующим полноту контакта, является суммарное пятно контакта.

Суммарное пятно контакта — это часть активной боковой поверхности зуба колеса, на которой располагаются следы прилегания его к зубьям парного колеса после вращения собранной передачи при легком торможении, обеспечивающем непрерывное контактирование зубьев обоих колес. На зубья парного колеса предварительно наносят слой краски. Пятно контакта определяется относительными размерами в процентах (рис. 158):

по длине зуба — отношением расстояния a между крайними точками следов прилегания за вычетом разрывов c , превосходящих значение модуля в миллиметрах, к длине зуба b : $(a-c)\cos\beta 100/b$; для прямозубых колес — $(a-c)100/b$; по высоте зуба — отношением средней (по всей длине зуба) высоты следов прилегания h_m к высоте зуба, соответствующей активной боковой поверхности h_p : $(h_m/h_p)100$.

Размеры пятна контакта зависят от погрешностей изготовления и монтажа передачи. Основными погреш-

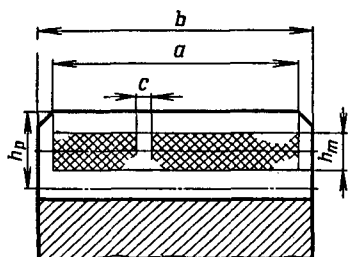


Рис. 158. Пятно контакта.

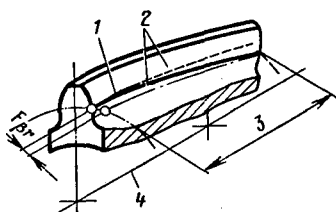


Рис. 159. Погрешность направления зуба:

1 — действительная делительная линия зуба; 2 — номинальные делительные линии зуба; 3 — ширина венца; 4 — рабочая ось зубчатого колеса.

ностями, влияющими на полноту контакта зуба, являются погрешности направления зуба, непараллельность и перекос осей.

Погрешность направления зуба $F_{\beta r}$ — расстояние по нормали между двумя ближайшими одна к другой номинальными делительными линиями зуба, между которыми размещается действительная делительная линия зуба, соответствующая рабочей ширине венца (рис. 159). Под действительной делительной линией зуба понимается линия пересечения действительной боковой поверхности зуба колеса делительным цилиндром, ось которого совпадает с рабочей осью.

Непараллельность осей $f_{x r}$ — это непараллельность проекции рабочих осей зубчатых колес в передаче на плоскость, в которой лежит одна из осей и точка второй оси в средней плоскости передачи (рис. 160). Под средней плоскостью передачи понимается плоскость, проходящая через середину рабочей ширины венца b_w .

Перекос осей $f_{y r}$ — непараллельность проекций рабочих осей зубчатых колес в передаче на плоскость, проходящую через одну из осей и перпендикулярную плоскости, в которой лежит эта ось и точка второй оси в средней плоскости передачи (см. рис. 160).

Непараллельность $f_{x r}$ и перекос $f_{y r}$ осей определяют в линейных единицах на длине, равной рабочей ширине венца.

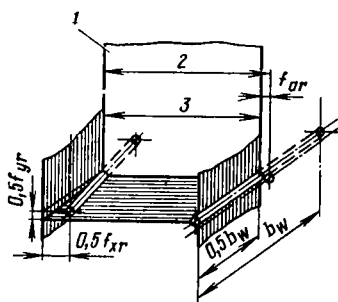


Рис. 160. Непараллельность и перекос осей.

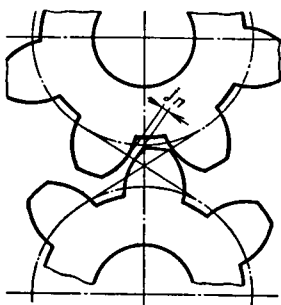


Рис. 161. Боковой зазор.

Виды сопряжений зубьев колес в передаче влияют на нормальную работу зубчатой передачи с эвольвентным профилем зуба и в значительной степени определяются наличием гарантированного бокового зазора.

Боковой зазор j_n — зазор между неработающими профилями зубьев сопряженных колес (рис. 161), определяемый в сечении, перпендикулярном направлению зубьев, в плоскости, касательной к основной окружности.

Боковой зазор в собранной открытой передаче можно контролировать с помощью индикатора, установленного измерительным стержнем на боковую активную поверхность зуба. При этом сопрягаемое колесо должно быть застопорено.

Покачиванием колеса от упора до упора выбирают боковой зазор, который будет равен наибольшей разности показаний индикатора. В закрытых передачах боковой зазор можно измерить при помощи свинцовой проволоки, закладываемой между рабочими поверхностями зубьев. Измеряя толщину свинцовой проволоки после проворачивания колеса, определяют боковой зазор.

Боковой зазор предназначен для создания необходимых условий смазки зубьев, компенсации погрешностей изготовления колес и сборки передачи, компенсации температурных деформаций в передаче. Чем больше нагрев передачи, тем больше должен быть боковой зазор. Недостаточность зазора может привести к заклиниванию передачи. С другой стороны, с увели-

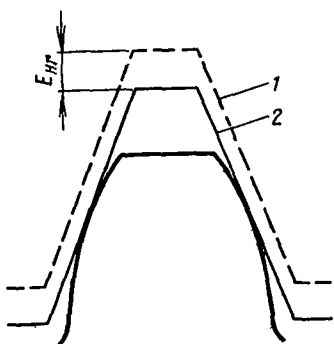


Рис. 162. Смещение исходного контура:

1 — номинальное положение исходного контура; 2 — действительное положение исходного контура..

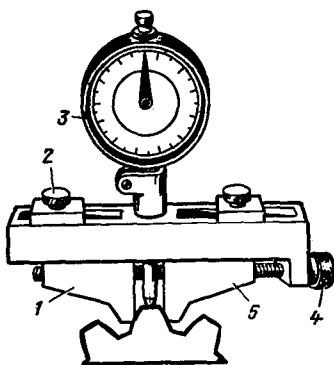


Рис. 163. Тангенциальный зубомер.

чением бокового зазора возрастает опасность ударов при реверсировании передачи. Следовательно, при выборе бокового зазора исходят из эксплуатационных требований. В слабонагруженных механизмах и приборах, где рабочая температура незначительна, межосевое расстояние невелико и по условию работы нежелательно наличие свободного хода передачи, боковой зазор может быть равен нулю. Такое зацепление называется двухпрофильным.

В зубчатых передачах тракторов, автомобилей и сельскохозяйственных машин должен быть определенный гарантированный боковой зазор. Он обеспечивается путем радиального смещения исходного контура рейки (зуборезного инструмента). Его можно определить через отклонение средней длины общей нормали и через отклонение толщины зуба.

Дополнительное смещение исходного контура $E_{нр}$ (рис. 162) от его номинального положения в тело зубчатого колеса необходимо для обеспечения в передаче гарантированного бокового зазора. Нормируется наименьшее значение этого смещения $E_{нс}$.

Смещение исходного контура контролируют с помощью тангенциального зубомера (рис. 163). Плоскости двух измерительных губок, расположенных под

углом $\alpha = 20^\circ$, и конец измерительного стержня образуют исходный контур зубчатой рейки. Расстояние между измерительными губками 1 и 5 регулируют винтом 4, имеющим на одном конце правую, а на другом левую резьбу.

Зуб колеса номинальных размеров для настройки тангенциального зубомера заменяют роликом, у которого три точки, соприкасающиеся с губками и измерительным стержнем, совпадают с контуром зуба номинального размера. Для каждого стандартного модуля к тангенциальному зубомеру придается ролик определенного диаметра. При настройке измерительные губки зубомера винтом 4 сдвигают или раздвигают так, чтобы они касались ролика приблизительно своей средней частью. В таком положении губки стопорят винтами 2. Индикатор 3 вдвигают или поднимают над прибором, чтобы запас хода был равен 1 или 2 мм, и в таком положении стопорят, его шкалу ставят на нуль.

Смещение исходного контура в тело зуба приводит к утончению зуба, и тангенциальный зубомер глубже сядет на более тонкий зуб. Индикатор покажет действительное смещение исходного контура.

Средняя длина общей нормали W_m — средняя арифметическая из всех действительных длин общих нормалей по зубчатому колесу

$$W_m = \frac{W_1 + W_2 + \dots + W_z}{z} \quad (140)$$

Отклонение средней длины общей нормали E_{W_m} — это отклонение средней длины общей нормали от номинальной, определяемое по формуле

$$E_{W_m} = W_n - W_m \quad (141)$$

Нормируется наименьшее предписанное отклонение средней длины общей нормали, осуществляемое для обеспечения в передаче гарантированного бокового зазора.

Наименьшее отклонение толщины зуба E_{cs} — наименьшее предписанное уменьшение постоянной хорды, осуществляемое с целью обеспечения в передаче гарантированного бокового зазора.

Толщину зуба по постоянной хорде S (рис. 164) (для некорригированных колес при $\alpha = 20^\circ$, $S =$

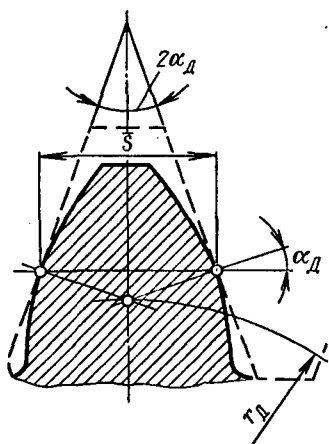


Рис. 164. Толщина зуба по постоянной хорде.

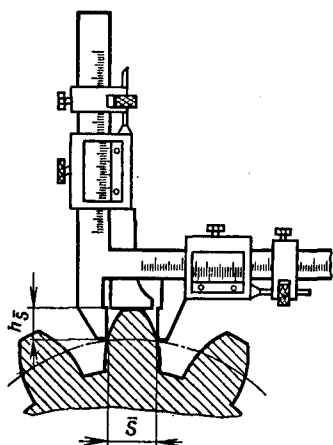


Рис. 165. Штангензубомер.

$= 1,387m$) измеряют штангензубомером (рис. 165). Штангензубомер состоит из двух штанг, перпендикулярных одна к другой и составляющих одно целое, двух подвижных рамок с нониусами и механизмами микрометрической подачи. Толщину зуба измеряют по постоянной хорде краями измерительных губок. Для того чтобы измерение выполнить именно по постоянной хорде, упор необходимо установить по вертикальной штанге на расстоянии от кромок измерительных губок, равном $h_s = 0,7476m$. При измерении следует внимательно следить, чтобы между упором штангензубомера и вершиной зуба не было просвета.

§ 87. СИСТЕМА ДОПУСКОВ НА ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ ЗУБЧАТЫЕ ПЕРЕДАЧИ

Допуски на эвольвентные цилиндрические зубчатые колеса и зубчатые передачи установлены ГОСТ 1643—81 (СТ СЭВ 641—77). Этим стандартом регламентированы допуски на эвольвентные цилиндрические зубчатые передачи внешнего и внутреннего зацепления с прямозубыми, косозубыми и шевронными зубчатыми колесами с диаметром дели-

тельной окружности до 6300 мм, шириной венца или полушестерона до 1250 мм, модулем зубьев от 1 до 55 мм. Установлено 12 степеней точности зубчатых колес и передач, обозначаемых в порядке убывания точности с 1 по 12. Для степеней точности 1 и 2 допуски и предельные отклонения не регламентированы, они предусмотрены на перспективу.

Для каждой степени точности зубчатых колес и передач в соответствии с эксплуатационными требованиями установлены нормы: кинематической точности; плавности работы; контакты зубьев. Допускается комбинирование норм кинематической точности, норм плавности работы и норм контакта зубьев зубчатых колес и передач разных степеней точности. При этом нормы плавности работы зубчатых колес и передач могут быть не более чем на две степени точнее или на одну степень грубее норм кинематической точности; нормы контакта зубьев могут назначаться по любым степеням, более точным, чем нормы плавности работы зубчатых колес и передач, а для передач с коэффициентом осевого перекрытия $\varepsilon_\beta \leq 1,25$ — также и на одну степень грубее норм плавности.

Независимо от степени точности зубчатых колес и передач устанавливается шесть видов сопряжений зубчатых колес в передаче по значению бокового зазора (рис. 166) и восемь видов допуска на боковой зазор, обозначаемых в порядке его возрастания буквами h, d, c, b, a, z, y, x . При отсутствии специальных требований к партии или комплекту передач видам сопряжений H и E соответствует вид допуска на боковой зазор h , а видам сопряжений D, C, B и A — виды допуска d, c, b и a соответственно.

Нормы бокового зазора и соответствие между видом сопряжений зубчатых колес в передаче и видом допуска на боковой зазор разрешается

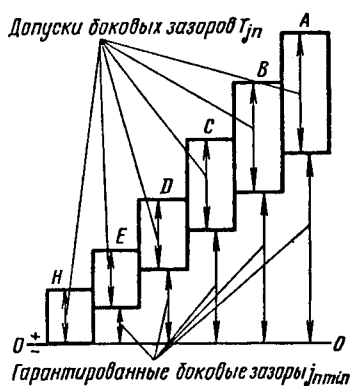


Рис. 166. Виды сопряжений зубчатых колес.

изменять, используя при этом и виды допуска z , y и x .

Далее приведены диапазоны степеней кинематической точности передач, в которых рекомендуется применять установленные виды сопряжений:

Вид сопряжения	<i>H</i>	<i>E</i>	<i>D</i>	<i>C</i>	<i>B</i>	<i>A</i>
Диапазон степеней кинематической точности передач	3...7	3...7	3...8	3...9	3...10	3...12

Точность изготовления цилиндрических зубчатых колес и передач задается степенью точности, а требования к боковому зазору — видом сопряжения по нормам бокового зазора. Исходя из этого, стандарт устанавливает правила условного обозначения точности зубчатых колес и передач. Если по всем трем нормам установлена одна степень точности, а вид сопряжения и допуск на боковой зазор соответствует один другому, обозначение выглядит так:

7—*D* ГОСТ 1643—81,

что означает 7-ю степень кинематической точности, 7-ю степень плавности работы, 7-ю степень контакта зубьев, вид сопряжения *D* и допуск на боковой зазор *d*.

При комбинировании норм разных степеней точности и изменении соответствия между видом сопряжения и видом допуска на боковой зазор точность зубчатых колес и передач обозначается последовательным написанием трех цифр и двух букв. Между собой и от слитно пишущихся букв цифры разделяются тире, например 8—7—7*Ba* ГОСТ 1643—81, что означает 8-ю степень кинематической точности, 7-ю степень плавности работы, 7-ю степень контакта зубьев, вид сопряжения *B* и допуск на боковой зазор *a*.

Для передач, у которых гарантированный боковой зазор не соответствует ни одному из указанных видов сопряжений, букву, обозначающую вид сопряжения, не указывают. В этом случае указывают принятый гарантированный боковой зазор в микрометрах (мкм) и вид допуска на боковой зазор, например, 7—600*y* ГОСТ 1643—81, что означает 7-ю степень кинематической точности, плавности работы и степень контакта зубьев, гарантированный боковой зазор 600 мкм и допуск на боковой зазор *y*.

В случаях, когда на одну из норм точности не задается степень точности, вместо соответствующей цифры указывают букву *N*. Например, *N—7—6—Ba* ГОСТ 1643—81.

В зависимости от степени точности, диаметров зубчатых колес, коэффициента осевого перекрытия, применяемых методов и средств контроля стандарт рекомендует комплексы показателей, характеризующих кинематическую точность, плавность работы, контакт зубьев. Для прямозубых цилиндрических колес и передач рекомендуемые комплексы контроля приведены в таблице 27.

Числовые значения норм точности по всем этим показателям даются в ГОСТ 1643—81.

27. Комплексы показателей контроля прямозубых цилиндрических колес и передач

Нормы	Номер комплекса	Комплексы контроля	Обозначения норм	Степени точности
<i>Для колес</i>				
Кинематическая точность	1	Наибольшая кинематическая погрешность	F'_i	3...8
	2	Накопленная погрешность шага по зубчатому колесу и накопленная погрешность шагов	F_p и F_{pk} F_p	3...6 7...8
	3	Колебание измерительного межосевого расстояния за оборот колеса и колебание длины общей нормали	F''_i и V_w	5...8
	4	Колебание измерительного межосевого расстояния и погрешность обката	F''_i и F_c F''_i	5...8 9...12
	5	Радиальное биение зубчатого венца и колебание длины общей нормали	F_r и V_w	3...8
	6	Радиальное биение зубчатого венца и погрешность обката	F_r и F_c	3...8
	7	Радиальное биение зубчатого венца	F_r	7...12

Нормы	Номер комплекса	Комплексы контроля	Обозначения норм	Степени точности
<i>Для передачи</i>				
	—	Наибольшая кинематическая погрешность	F'_{io}	3...8
<i>Для колеса</i>				
Плавность работы	1	Местная кинематическая погрешность	f'_i	3...8
	2	Отклонение шага зацепления и погрешность профиля	f_{pb} и f_i	3...8
	3	Отклонение шага зацепления и отклонение шага	f_{pb} и f_{pi}	5...8
	4	Колебание измерительного межосевого расстояния на одном зубе	f''_i	5...12
	5	Отклонение шага	f_{pi}	9...12
<i>Для передачи</i>				
	—	Циклическая погрешность зубчатой частоты	$f_{z\varphi}$	3...8
<i>Для колеса</i>				
Контакт зубьев	1	Погрешности направления зуба	F_{β}	3...12
	2	Отклонение осевых шагов по нормали и допуск на погрешность формы и расположения контактной линии (потенциальной)	F_{pxn} и F_k	3...12
	3	Отклонение осевых шагов по нормали и отклонение шага зацепления	F_{pxn} и F_{pb}	4...8
<i>Для передачи</i>				
	1	С регулируемым расположением осей: суммарное пятно контакта	Пятно	3...9
	2	С нерегулируемым расположением осей: суммарное пятно контакта	Пятно	3...9
	3	Непараллельность осей	f_x	3...12
		Перекос осей	f_y	3...12

Нормы	Номер комплекса	Комплексы контроля	Обозначения норм	Степени точности
<i>Для колеса</i>				
Бокового зазора	1	Наименьшее дополнительное смещение исходного контура и допуск на его смещение	E_{ns} и T_n	3...12
	2	Предельные отклонения измерительного межосевого расстояния	$E_{a''s}$ и $E_{a''i}$	5...8
	3	Наименьшее отклонение средней длины общей нормали и допуск на среднюю длину общей нормали	$E_{\psi_{ms}}$ и T_{ψ_m}	3...12
	4	Наименьшее отклонение толщины зуба и допуск на толщину зуба	E_{cs} и T_c	3...12
<i>Для передачи</i>				
1	1	Гарантированный боковой зазор	$j_{n \min}$	3...12
	2	Предельные отклонения межосевого расстояния	f_a	3...12

§ 88. ВЫБОР СТЕПЕНЕЙ ТОЧНОСТИ И КОМПЛЕКСОВ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КОНТРОЛЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ

Исходными данными для выбора степеней точности являются требования кинематической точности, плавности работы, контакта зубьев, которые, в свою очередь, зависят от назначенной передачи, окружной скорости колес, передаваемой мощности. Необходимая степень точности может быть определена соответствующими расчетами.

На основе кинематического расчета погрешностей всей передачи и допустимого угла рассогласования можно найти необходимую степень кинематической точности. Исходя из расчета динамики передачи, вибрации и уровня шума, можно выбрать степень точности по нормам плавности работы. Степень точности по нормам контакта может быть определена расчетами

на прочность и долговечность. Окончательно степень точности необходимо выбрать с учетом опыта эксплуатации аналогичных передач, используя комбинирование разных степеней точности. Опыт показывает, что в тракторах, автомобилях, редукторах в большинстве случаев степени по нормам контакта совпадают со степенями по нормам плавности, например 7—6—6—С; 8—7—7—С. При выборе степени точности для ориентировки можно пользоваться данными таблицы 28.

При выборе комплексов показателей контроля необходимо учитывать, что приборы однопрофильного зацепления сложны по устройству, для каждого проверяемого колеса необходимо измерительное колесо с теми же параметрами, кроме того, нужно еще промежуточное широкое колесо с теми же модулем и углом исходного контура. Поэтому такие приборы не получили широкого распространения.

28. Области и условия применения зубчатых колес различной степени точности

Степень точности цилиндрического зубчатого колеса	Область применения	Окружные скорости прямозубых (непрямозубых) колес, м/с
5-я (прецизионные)	Колеса прецизионных механизмов или высокоскоростных передач (турбинные). Измерительные колеса для контроля колес 8-й и 9-й степеней точности	Св. 30 (св. 50)
6-я (высокоточные)	Колеса делительных механизмов, скоростных редукторов, ответственные колеса в авиа-, авто- и станкостроении	До 15 (до 30)
7-я (точные)	Колеса редукторов нормального ряда, колеса в авиа- и автостроении	До 10 (до 15)
8-я (средней точности)	Колеса станков, не входящие в делительные цепи, неответственные шестерни в авиа-, авто- и тракторостроении, колеса грузоподъемных механизмов, ответственные шестерни сельскохозяйственных машин	До 6 (до 10)
9-я (пониженной точности)	Ненагруженные передачи, выполненные по конструктивным соображениям большими, чем полученные по расчету	До 2 (до 4)

29. Комплексы показателей контроля зубчатых колес

Нормы	Значение норм для прямозубых и узких косозубых колес			
	измерительных, делительных, отсчетных	авиационных, автомобильных станочных	тракторных, крановых, сельскохозяйственных машин	
Степени точности	3...5	4...6	6...8	9...11
Кинематической точности	1. F'_t 2. F_p и F_{pk}	1. F'_t 2. F_p и F_{pk}	F''_t и V_w	1. F''_t и V_w 2. F_r и V_w F_r
Плавности работы	1. f_t 2. f_{pb} и f_{fl}	f_{pb} и f_t	f''_t	1. f''_t 2. f_{pt} f_{pt}
Контакта зубьев	F_p	F_p	Суммарное пятно контакта но контакта	Суммарное пятно контакта
Бокового зазора	F_{bs} и T_H	E_{hs} и T_H	1. $E_{a's}$ и $E_{a'i}$ 2. E_{wms} и T_{wm}	1. $E_{a's}$ и $E_{a'i}$ 2. E_{wms} и T_{wm} E_{wms} и T_{wm}

Например, необходимо дать заключение о годности зубчатого колеса $m = 5$, $z = 36$, имеющего степень точности 7—Д ГОСТ 1643—81. Колесо проверено на биениемере, шагомером и по пятну контакта. Получены следующие результаты: $F_{rr} = 50$ мкм; $F_{pr} = 60$ мкм; $f_{ptr} = 17$ мкм; пятно контакта: по высоте — 50%, по длине — 70%. Допуски по стандарту $F_r = 56$ мкм; $F_p = 63$ мкм; $f_{pt} = \pm 20$ мкм; пятно контакта не менее 45% по высоте и 60% по длине.

Из сопоставления результатов измерений и допусков видно, что зубчатое колесо удовлетворяет требованиям указанной степени точности.

§ 89. ОСОБЕННОСТИ СИСТЕМЫ ДОПУСКОВ КОНИЧЕСКИХ И ГИПОИДНЫХ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ

Для конических и гипоидных зубчатых передач с модулем от 1 до 56 мм и исходным контуром по ГОСТ 9587—81 нормы точности регламентированы ГОСТ 1758—81.

Установлены 12 степеней точности, которые обозначаются цифрами от 1 до 12 в порядке убывания точности; 1, 2 и 3 степени точности резервные, допуски и предельные отклонения на них не установлены.

Для каждой из степеней точности предусмотрены нормы кинематической точности, плавности и контакта зубьев в передаче. Разрешается комбинирование норм точности разных степеней.

Установлены также шесть видов сопряжений, но только пять видов допусков — h , d , c , b , a .

Нормы точности конических и гипоидных зубчатых передач обозначаются аналогично цилиндрическим, только с указанием ГОСТ 1758—81.

§ 90. ОСОБЕННОСТИ СИСТЕМЫ ДОПУСКОВ ЧЕРВЯЧНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПЕРЕДАЧ

Для червячных цилиндрических передач и червячных пар с модулем от 1 до 25 мм нормы точности установлены ГОСТ 3675—81 (СТ СЭВ 1162—78). Стандартом предусмотрены 12 степеней точности, для каждой из которых установлены нормы кинематической точности, плавности, контакта зубьев и витков.

Допускается комбинирование норм точности различных степеней.

Установлено шесть видов сопряжений червяка с червячным колесом A, B, C, D, E, H и восемь видов допуска T_{jn} на боковой зазор x, y, z, a, b, c, d, h .

Сопряжениям H и E соответствует допуск на боковой зазор h , а сопряжениям D, C, B, A — соответственно допуски d, c, b, a . Допуски x, y, z применяют в тех случаях, когда допуск на боковой зазор не соответствует виду сопряжения.

Соответствие видов сопряжения червяка с червячным колесом в передаче и степени кинематической точности регламентируется стандартом.

Степени точности 1...6 предназначены для передач с регулируемым взаимным расположением червяка и червячного колеса, а степени точности 5...12 — для силовых передач с нерегулируемым взаимным расположением червяка и червячного колеса. Их применяют, например, в червячных передачах автомобилей и тракторов.

Условное обозначение норм точности червячных передач также аналогично цилиндрическим со ссылкой на ГОСТ 3675—81.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ I

t	$\Phi(t)$	t	$\Phi(t)$	t	$\Phi(t)$	t	$\Phi(t)$
0,00	0,0000	0,80	0,2881	1,60	0,4452	2,40	0,4918
0,02	0,0080	0,82	0,2939	1,62	0,4474	2,42	0,4922
0,04	0,0160	0,84	0,2995	1,64	0,4495	2,44	0,4927
0,06	0,0239	0,86	0,3051	1,66	0,4515	2,46	0,4931
0,08	0,0319	0,88	0,3106	1,68	0,4535	2,48	0,4934
0,10	0,0398	0,90	0,3159	1,70	0,4554	2,50	0,4938
0,12	0,0478	0,92	0,3212	1,72	0,4573	2,52	0,4941
0,14	0,0557	0,94	0,3264	1,74	0,4591	2,54	0,4945
0,16	0,0636	0,96	0,3315	1,76	0,4608	2,56	0,4948
0,18	0,0714	0,98	0,3365	1,78	0,4625	2,58	0,4951
0,20	0,0793	1,00	0,3413	1,80	0,4641	2,60	0,4953
0,22	0,0871	1,02	0,3461	1,82	0,4656	2,62	0,4956
0,24	0,0948	1,04	0,3508	1,84	0,4671	2,64	0,4959
0,26	0,1026	1,06	0,3554	1,86	0,4686	2,66	0,4961
0,28	0,1103	1,08	0,3599	1,88	0,4699	2,68	0,4963
0,30	0,1179	1,10	0,3643	1,90	0,4713	2,70	0,4965
0,32	0,1255	1,12	0,3686	1,92	0,4726	2,72	0,4967
0,34	0,1331	1,14	0,3729	1,94	0,4738	2,74	0,4969
0,36	0,1406	1,16	0,3770	1,96	0,4750	2,76	0,4971
0,38	0,1480	1,18	0,3810	1,98	0,4761	2,78	0,4973
0,40	0,1554	1,20	0,3849	2,00	0,4772	2,80	0,4974
0,42	0,1628	1,22	0,3888	2,02	0,4783	2,82	0,4976
0,44	0,1700	1,24	0,3925	2,04	0,4793	2,84	0,4977
0,46	0,1772	1,26	0,3962	2,06	0,4803	2,86	0,4979
0,48	0,1844	1,28	0,3997	2,08	0,4812	2,88	0,4980
0,50	0,1915	1,30	0,4032	2,10	0,4921	2,90	0,4981
0,52	0,1985	1,32	0,4066	2,12	0,4830	2,92	0,4982
0,54	0,2054	1,34	0,4099	2,14	0,4838	2,94	0,4984
0,56	0,2123	1,36	0,4131	2,16	0,4846	2,96	0,4985
0,58	0,2190	1,38	0,4162	2,18	0,4854	2,98	0,4986
0,60	0,2257	1,40	0,4192	2,20	0,4861	3,00	0,49865
0,62	0,2324	1,42	0,4222	2,22	0,4868	3,20	0,49931
0,64	0,2389	1,44	0,4251	2,24	0,4875	3,40	0,49966
0,66	0,2454	1,46	0,4279	2,26	0,4881	3,60	0,499841
0,68	0,2517	1,48	0,4306	2,28	0,4887	3,80	0,499928
0,70	0,2580	1,50	0,4332	2,30	0,4893	4,00	0,499968
0,72	0,2642	1,52	0,4357	2,32	0,4898	4,50	0,499997
0,74	0,2703	1,54	0,4382	2,34	0,4904	5,00	0,499997
0,76	0,2764	1,56	0,4406	2,36	0,4909		
0,78	0,2823	1,58	0,4429	2,38	0,4913		

ПРИЛОЖЕНИЕ II

Интервал размеров, мм	Значения допусков, мкм, при качестве								
	01	0	1	2	3	4	5	6	7
До 3	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	4	6	10
Св. 3 до 6	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	5	8	12
Св. 6 до 10	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	15
Св. 10 до 18	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	11	18
Св. 18 до 30	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	13	21
Св. 30 до 50	0,6	1	1,5	2,5	4	7	11	16	25
Св. 50 до 80	0,8	1,2	2	3	5	8	13	19	30
Св. 80 до 120	1	1,5	2,5	4	6	10	15	22	35
Св. 120 до 180	1,2	2	3,5	5	6	12	18	25	40
Св. 180 до 250	2	3	4,5	7	10	14	20	29	46
Св. 250 до 315	2,5	4	6	8	12	16	23	32	52
Св. 315 до 400	3	5	7	9	13	18	25	36	57
Св. 400 до 500	4	6	8	10	15	20	27	40	63

Продолжение

Интервал размеров, мм	Значения допусков, мкм, при качестве									
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
До 3	14	25	40	60	100	140	250	400	600	1000
Св. 3 до 6	18	30	48	75	120	180	300	480	750	1200
Св. 6 до 10	22	36	58	90	150	220	360	580	900	1500
Св. 10 до 18	27	43	70	110	180	270	430	700	1100	1800
Св. 18 до 30	33	52	84	130	210	330	520	840	1300	2100
Св. 30 до 50	39	62	100	160	250	390	620	1000	1600	2500
Св. 50 до 80	46	74	120	190	300	460	740	1200	1900	3000
Св. 80 до 120	54	87	140	220	350	540	870	1400	2200	3500
Св. 120 до 180	63	100	160	250	400	660	1000	1600	2500	4000
Св. 180 до 250	72	115	185	290	460	720	1150	1850	2900	4600
Св. 250 до 315	81	130	210	320	520	810	1300	2100	3200	5200
Св. 315 до 400	89	140	230	360	570	890	1400	2300	3600	5700
Св. 400 до 500	97	155	250	400	630	970	1550	2500	4000	6300

Примечание. Для размеров до 1 мм качества от 14 до 17 не применяют.

ПРИЛОЖЕНИЕ III

Интервал размеров, мм	Значения основных отклонений, мкм, при буквенном обозначении								
	$+A$ $-a$	$+B$ $-b$	$+C$ $-c$	$+D$ $-d$	$+E$ $-e$	$+F$ $-f$	$+G$ $-g$	$+H$ $-h$	$+J_s$ $-j_s$
До 3	± 270	± 140	± 60	± 20	± 14	± 6	± 2	0	
Св. 3 до 6	± 270	± 140	± 70	± 30	± 20	± 10	± 4	0	Пре- дель- ные от- кло- не- ния
Св. 6 до 10	± 280	± 150	± 80	± 40	± 25	± 13	± 5	0	
Св. 10 до 14	± 290	± 150	± 95	± 50	± 32	± 16	± 6	0	
Св. 14 до 18	± 290	± 150	± 95	± 50	± 32	± 16	± 6	0	
Св. 18 до 24	± 300	± 160	± 110	± 65	± 40	± 20	± 7	0	
Св. 24 до 30	± 300	± 160	± 110	± 65	± 40	± 20	± 7	0	
Св. 30 до 40	± 310	± 170	± 120	± 80	± 50	± 25	± 9	0	
Св. 40 до 50	± 320	± 180	± 130	± 80	± 50	± 25	± 9	0	
Св. 50 до 65	± 340	± 190	± 140	± 100	± 60	± 30	± 10	0	$\pm \frac{IT}{2}$
Св. 65 до 80	± 360	± 200	± 150	± 100	± 60	± 30	± 10	0	
Св. 80 до 100	± 380	± 220	± 170	± 120	± 72	± 36	± 12	0	
Св. 100 до 120	± 410	± 240	± 180	± 120	± 72	± 36	± 12	0	
Св. 120 до 140	± 460	± 260	± 200						
Св. 140 до 160	± 520	± 280	± 210	± 145	± 85	± 43	± 14	0	
Св. 160 до 180	± 580	± 310	± 230						
Св. 180 до 200	± 660	± 340	± 240						
Св. 200 до 225	± 740	± 380	± 260	± 170	± 100	± 50	± 15	0	
Св. 225 до 250	± 820	± 420	± 280						
Св. 250 до 280	± 920	± 480	± 300	± 190	± 110	± 56	± 17	0	
Св. 280 до 315	± 1050	± 540	± 330	± 190	± 110	± 56	± 17	0	
Св. 315 до 355	± 1200	± 600	± 360	± 210	± 125	± 62	± 18	0	
Св. 355 до 400	± 1350	± 680	± 400	± 210	± 125	± 62	± 18	0	
Св. 400 до 450	± 1500	± 760	± 440	± 230	± 135	± 68	± 20	0	
Св. 450 до 500	± 1650	± 840	± 480	± 230	± 135	± 68	± 20	0	

Квалитеты	Все квалитеты

Интервал размеров, мм	Значения основных отклонений, мкм, при буквенном обозначении квалитетов						
	$+k$ $-K$			$+m$ $-M$		$+n$ $-N$	
До 3	0	0	0	± 2	± 2	± 4	± 4
Св. 3 до 6	+1	0	0	+4		+8	+8
	$-1+\Delta$	$-1+\Delta$	—	$-4+\Delta$	± 4	$-8+\Delta$	0
Св. 6 до 10	+1	0	0	+6	± 6	+10	+10
	$-1+\Delta$	$-1+\Delta$	—	$-6+\Delta$		$-10+\Delta$	0
Св. 10 до 14	+1	0	0	+7		+12	+12
Св. 14 до 18	$-1+\Delta$	$-1+\Delta$	—	$-7+\Delta$	+7	$-12+\Delta$	0
Св. 18 до 24	+2	0	0	+8		+15	+15
Св. 24 до 30	$-2+\Delta$	$-2+\Delta$	—	$-8+\Delta$	+8	$-15+\Delta$	0
Св. 30 до 40	+2	0	0	+9		+17	+17
Св. 40 до 50	$-2+\Delta$	$-2+\Delta$	—	$-9+\Delta$	± 9	$-17+\Delta$	0
Св. 50 до 65	+2	0	0	+11		+20	+20
Св. 65 до 80	$-2+\Delta$	$-2+\Delta$	—	$-11+\Delta$	± 11	$-20+\Delta$	0
Св. 80 до 100	+3	0	0	+13		+23	+23
Св. 100 до 120	$-3+\Delta$	$-3+\Delta$	—	$-13+\Delta$	± 13	$-23+\Delta$	0
Св. 120 до 140	+3	0	0	+15	± 15	+27	+27
Св. 140 до 160	$-3+\Delta$	$-3+\Delta$	—	$-15+\Delta$		$-27+\Delta$	0
Св. 160 до 180							
Св. 180 до 200	+4	0	0	+17	± 17	+31	+31
Св. 200 до 225	$-4+\Delta$	$-4+\Delta$	—	$-17+\Delta$		$-31+\Delta$	0
Св. 225 до 250							
Св. 250 до 280	+4	0	0	+20	± 20	+34	+34
Св. 280 до 315	$-4+\Delta$	$-4+\Delta$	—	$-20+\Delta$		$-34+\Delta$	0
Св. 315 до 355	+4	0	0	+21	± 21	+37	+37
Св. 355 до 400	$-4+\Delta$	$-4+\Delta$	—	$-21+\Delta$		$-37+\Delta$	0
Св. 400 до 450	+5	0	0	+23	± 23	+40	+40
Св. 450 до 500	$-5+\Delta$	$-5+\Delta$	—	$-23+\Delta$		$-40+\Delta$	0
Квалитеты	от 4 до 7	8	св. 8	До 8	св. 8	до 8	св. 8

Продолжение

Интервал размеров, мм	Значение основных отклонений, мкм, при буквенном обозначении						
	$+p$ $-P$	$+r$ $-R$	$+s$ $-S$	$+t$ $-T$	$+u$ $-U$	$+v$ $-V$	$+x$ $-X$
До 3	± 6	± 10	± 14	—	± 18	—	± 20
Св. 3 до 6	± 12	± 15	± 19	—	± 23	—	± 28
Св. 6 до 10	± 15	± 19	± 23	—	± 28	—	± 34
Св. 10 до 14	± 18	± 23	± 28	—	± 33	—	± 40
Св. 14 до 18	± 18	± 23	± 28	—	± 33	± 39	± 45
Св. 18 до 24	± 22	± 28	± 35	—	± 41	± 47	± 54
Св. 24 до 30	± 22			± 41	± 48	± 55	± 64
Св. 30 до 40	± 26			± 48	± 60	± 68	± 80
Св. 40 до 50	± 26	± 34	± 43	± 54	± 70	± 81	± 97
Св. 50 до 65	± 32	± 41	± 53	± 66	± 87	± 102	± 122
Св. 65 до 80	± 32	± 43	± 59	± 75	± 102	± 120	± 146
Св. 80 до 100	± 37	± 51	± 71	± 91	± 124	± 146	± 178
Св. 100 до 120	± 37	± 54	± 79	± 104	± 144	± 172	± 210
Св. 120 до 140	± 43	± 63	± 92	± 122	± 170	± 202	± 248
Св. 140 до 160	± 43	± 65	± 100	± 134	± 199	± 228	± 280
Св. 160 до 180	± 43	± 68	± 108	± 146	± 210	± 252	± 310
Св. 180 до 200	± 50	± 77	± 122	± 166	± 236	± 284	± 350
Св. 200 до 225	± 50	± 80	± 130	± 180	± 258	± 310	± 385
Св. 225 до 250	± 50	± 84	± 140	± 196	± 284	± 340	± 425
Св. 250 до 280	± 56	± 94	± 158	± 218	± 315	± 385	± 475
Св. 280 до 315	± 56	± 98	± 170	± 240	± 350	± 425	± 525
Св. 315 до 355	± 62	± 108	± 190	± 268	± 390	± 475	± 590
Св. 355 до 400	± 62	± 114	± 208	± 294	± 430	± 530	± 660
Св. 400 до 450	± 68	± 126	± 232	± 330	± 490	± 595	± 740
Св. 450 до 500	± 68	± 132	± 252	± 360	± 540	± 660	± 820

Квалитеты До 7-го квалитета от P до Z отклонение отверстия увеличивается на Δ

Интервал размеров, мм	Буквенное обозначение		Δ , мкм						
	$+y$ $-y$	$+z$ $-z$							
До 3	—	± 26	—	—	—	—	—	—	—
Св. 3 до 6	—	± 35	1	1,5	1	3	4	6	
Св. 6 до 10	—	± 42	1	1,5	2	3	6	7	
Св. 10 до 14	—	± 50							
Св. 14 до 18	—	± 60	1	2	3	3	7	9	
Св. 18 до 24	± 63	± 73							
Св. 24 до 30	± 75	± 88	1,5	2	3	4	8	12	
Св. 30 до 40	± 94	± 112							
Св. 40 до 50	± 114	± 136	1,5	3	4	5	9	14	
Св. 50 до 65	± 144	± 172							
Св. 65 до 80	± 174	± 210	2	3	6	6	11	16	
Св. 80 до 100	± 214	± 258							
Св. 100 до 120	± 254	± 310	2	4	5	7	13	19	
Св. 120 до 140	± 300	± 365							
Св. 140 до 160	± 340	± 415	3	4	6	7	15	23	
Св. 160 до 180	± 380	± 465							
Св. 180 до 200	± 425	± 530	3	4	6	9	17	26	
Св. 200 до 225	± 470	± 575							
Св. 225 до 250	± 520	± 640							
Св. 250 до 280	± 580	± 710							
Св. 280 до 315	± 650	± 790	4	4	7	9	20	29	
Св. 315 до 355	± 730	± 900							
Св. 355 до 400	± 820	± 1000	4	5	7	11	21	32	
Св. 400 до 450	± 920	± 1100							
Св. 450 до 500	± 1000	± 1250	5	5	7	13	23	34	

Квалитеты	До 7-го квалитета от P до Z отклонение отверстия увеличивается на Δ	3	4	5	6	7	8

ПРИЛОЖЕНИЕ IV

Основные отверстия	Рекомендуемые посадки в системе отверстия основных откло								
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>h</i>	<i>js</i>	
<i>H5</i>	—	—	—	—	—	$\frac{H5}{g5}$	$\frac{H5}{h4}$	$\frac{H5}{js4}$	
<i>H6</i>	—	—	—	—	$\frac{H6}{f6}$	$\frac{H6}{g5}$	$\frac{H6}{h5}$	$\frac{H6}{js5}$	
<i>H7</i>	—	—	$\frac{H7}{c8}$	$\frac{H7}{d8}$	$\frac{H7}{e7}$; $\boxed{\frac{H7}{e8}}$	$\frac{H7}{f7}$	$\frac{H7}{g6}$	$\frac{H7}{h6}$	$\boxed{\frac{H7}{js6}}$
<i>H8</i>	—	—	$\frac{H8}{c8}$	$\frac{H8}{d8}$	$\boxed{\frac{H8}{e8}}$	$\frac{H8}{f7}$; $\frac{H8}{f8}$	—	$\boxed{\frac{H8}{h7}}$; $\boxed{\frac{H8}{h8}}$	$\frac{H8}{js7}$
	—	—	—	$\boxed{\frac{H8}{d9}}$	$\frac{H8}{e9}$	$\frac{H8}{f9}$	—	$\frac{H8}{h9}$	—
<i>H9</i>	—	—	—	$\boxed{\frac{H9}{d9}}$	$\frac{H9}{e8}$; $\frac{H9}{e9}$	$\frac{H9}{f8}$; $\frac{H9}{f9}$	—	$\frac{H9}{h8}$; $\frac{H9}{h9}$	—
<i>H10</i>	—	—	—	$\frac{H10}{d10}$	—	—	—	$\frac{H10}{h9}$; $\frac{H10}{h10}$	—
<i>H11</i>	$\frac{H11}{a11}$	$\frac{H11}{b11}$	$\frac{H11}{c11}$	$\frac{H11}{d11}$	—	—	—	$\frac{H11}{h11}$	—
<i>H12</i>	—	$\frac{H12}{b12}$	—	—	—	—	—	$\frac{H12}{h12}$	—

П р и м е ч а н и е. $\boxed{}$ — предпочтительные посадки.

(номинальные размеры от 1 до 500 мм) при
нениях валов

	<i>k</i>	<i>m</i>	<i>n</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>s</i>	<i>t</i>	<i>u</i>	<i>v</i>	<i>x</i>	<i>z</i>

$\frac{H5}{k4}$	$\frac{H5}{m4}$	$\frac{H5}{n4}$	—	—	—	—	—	—	—	—	—

$\frac{H6}{k5}$	$\frac{H6}{m5}$	$\frac{H6}{n5}$	$\frac{H6}{p5}$	$\frac{H6}{r5}$	$\frac{H6}{s5}$	—	—	—	—	—	—

$\frac{H7}{k6}$	$\frac{H7}{m6}$	$\frac{H7}{n6}$	$\frac{H7}{p6}$	$\frac{H7}{r6}$	$\frac{H7}{s6}$	$\frac{H7}{s7}$	$\frac{H7}{t6}$	$\frac{H7}{u7}$	—	—	—

$\frac{H8}{k7}$	$\frac{H8}{m7}$	$\frac{H8}{n7}$	—	—	$\frac{H8}{s7}$	—	$\frac{H8}{u8}$	—	$\frac{H8}{x8}$	$\frac{H8}{z8}$	—

—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

ПРИЛОЖЕНИЕ V

Основной вал	Рекомендуемые посадки в системе вала при основных откло						
	A	B	C	D	E	F	G
h_4	—	—	—	—	—	—	$\frac{G5}{h_4}$
h_5	—	—	—	—	—	$\frac{F7}{h_5}$	$\frac{G6}{h_5}$
h_6	—	—	—	$\frac{D8}{h_6}$	$\frac{E8}{h_6}$	$\frac{F7}{h_6}$; $\frac{F8}{h_6}$	$\frac{G7}{h_6}$
h_7	—	—	—	$\frac{D8}{h_7}$	$\frac{E8}{h_7}$	$\frac{F8}{h_7}$	—
h_8	—	—	—	$\frac{D8}{h_8}$; $\frac{D9}{h_8}$	$\frac{E8}{h_8}$; $\frac{E9}{h_8}$	$\frac{F8}{h_8}$; $\frac{F9}{h_8}$	—
h_9	—	—	—	$\frac{D9}{h_9}$; $\frac{D10}{h_9}$	$\frac{E9}{h_9}$	$\frac{F9}{h_9}$	—
h_{10}	—	—	—	$\frac{D10}{h_{10}}$	—	—	—
h_{11}	$\frac{A11}{h_{11}}$	$\frac{B11}{h_{11}}$	$\frac{C11}{h_{11}}$	$\frac{D11}{h_{11}}$	—	—	—
h_{12}	—	$\frac{B12}{h_{12}}$	—	—	—	—	—

Примечание. — предпочтительные посадки.

(номинальные размеры от 1 до 500 мм)
нениях отверстий

	<i>H</i>	<i>J_s</i>	<i>K</i>	<i>M</i>	<i>N</i>	<i>P</i>	<i>R</i>	<i>S</i>	<i>T</i>	<i>U</i>
	$\frac{H5}{h4}$	$\frac{J_{s5}}{h4}$	$\frac{K5}{h4}$	$\frac{M5}{h4}$	$\frac{N5}{h4}$	—	—	—	—	—
	$\frac{H6}{h5}$	$\frac{J_{s6}}{h5}$	$\frac{K6}{h5}$	$\frac{M6}{h5}$	$\frac{N6}{h5}$	$\frac{P5}{h5}$	—	—	—	—
	$\frac{H7}{h6}$	$\frac{J_{s7}}{h6}$	$\frac{K7}{h6}$	$\frac{M7}{h6}$	$\frac{N7}{h6}$	$\frac{P7}{h6}$	$\frac{R7}{h6}$	$\frac{S7}{h6}$	$\frac{T7}{h6}$	—
	$\frac{H8}{h7}$	$\frac{J_{s8}}{h7}$	$\frac{K8}{h7}$	$\frac{M8}{h7}$	$\frac{N8}{h7}$	—	—	—	—	—
	$\frac{H8}{h8}, \frac{H9}{h8}$	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	$\frac{H8}{h9}, \frac{H9}{h9}, \frac{H10}{h9}$	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	$\frac{H10}{h10}$	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	$\frac{H11}{h11}$	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	$\frac{H12}{h12}$	—	—	—	—	—	—	—	—	—

ПРИЛОЖЕНИЕ VI

Номинальные размеры, мм	Допускаемые погрешности, мкм, при измерениях линейных размеров от 1 до 500 мм											
	IT	δ	IT	δ	IT	δ	IT	δ	IT	δ	IT	δ
До 3	1,2	0,4	2	0,8	3	1	4	1,4	6	1,8	10	3
Св. 3 до 6	1,5	0,6	2,5	1	4	1,4	5	1,6	8	2	12	3
Св. 6 до 10	1,5	0,6	2,5	1	4	1,4	6	2	9	2	15	4
Св. 10 до 18	2	0,8	3	1,2	5	1,6	8	2,8	11	3	18	5
Св. 18 до 30	2,5	1	4	1,4	6	2	9	3	13	4	21	6
Св. 30 до 50	2,5	1	4	1,4	7	2,4	11	4	16	5	25	7
Св. 50 до 80	3	1,2	5	1,8	8	2,8	13	4	19	5	30	9
Св. 80 до 120	4	1,6	6	2	10	3	15	5	22	6	35	10
Св. 120 до 180	5	2	8	2,8	12	4	18	6	25	7	40	12
Св. 180 до 250	7	2,8	10	4	14	5	20	7	29	8	46	12
Св. 250 до 315	8	3	12	4	16	5	23	8	32	10	52	14
Св. 315 до 400	9	3	13	5	18	6	25	9	36	10	57	16
Св. 400 до 500	10	4	15	5	20	6	27	9	40	12	63	18

Квалитеты	2	3	4	5	6	7

Продолжение

Номинальные размеры, мм	Допускаемые погрешности, мкм, при измерениях линейных размеров от 1 до 500 мм											
	IT	δ	IT	δ	IT	δ	IT	δ	IT	δ	IT	δ
До 3	14	3	25	6	40	8	60	12	100	20		
Св. 3 до 6	18	4	30	8	48	10	75	16	120	30		
Св. 6 до 10	22	5	36	9	58	12	90	18	150	30		
Св. 10 до 18	27	7	43	10	70	14	110	30	180	40		
Св. 18 до 30	33	8	52	12	84	18	130	30	210	50		
Св. 30 до 50	39	10	62	16	100	20	160	40	250	50		
Св. 50 до 80	46	12	74	18	120	30	190	40	300	60		
Св. 80 до 120	54	12	87	20	140	30	220	50	350	70		
Св. 120 до 180	63	16	100	30	160	40	250	50	400	80		
Св. 180 до 250	72	18	115	30	185	40	290	60	460	100		
Св. 250 до 315	81	20	130	30	210	50	320	70	520	120		
Св. 315 до 400	89	24	140	40	230	50	360	80	570	120		
Св. 400 до 500	97	26	155	40	250	50	400	80	630	140		

Квалитеты	8	9	10	11	12

Номинальные размеры, мм	Допускаемые погрешности, мкм, при измерениях линейных размеров от 1 до 500 км									
	IT	δ	IT	δ	IT	δ	IT	δ	IT	δ
До 3	140	30	250	50	400	80	600	120	1000	200
Св. 3 до 6	180	40	300	60	480	100	750	160	1200	240
Св. 6 до 10	220	50	360	80	580	120	900	200	1500	300
Св. 10 до 18	270	60	430	90	700	140	1100	240	1800	380
Св. 18 до 30	330	70	520	120	840	180	1300	280	2100	440
Св. 30 до 50	390	80	620	140	1000	200	1600	320	2500	500
Св. 50 до 80	460	100	740	160	1200	240	1900	400	3000	600
Св. 80 до 120	540	120	870	180	1400	280	2200	440	3500	700
Св. 120 до 180	630	140	1000	200	1600	320	2500	500	4000	800
Св. 180 до 250	720	160	1150	240	1850	380	2900	600	4600	1000
Св. 250 до 315	810	180	1300	260	2100	440	3200	700	5200	1100
Св. 315 до 400	890	180	1400	280	2300	460	3600	800	5700	1200
Св. 400 до 500	970	200	1550	320	2500	500	4000	800	6300	1400
Квалитеты	13		14		15		16		17	

Примечание. Разрешается увеличивать допускаемую погрешность измерения, указанную в таблице, при уменьшении допуска размера, учитывающего это увеличение, а также при разделении изделий на размерные группы для селективной сборки

Микрометр типа МК и МП:

в руках	5	10	10	15	15	15	20	20	25	50
в стойке	5	5	10	10	10	10	10	10	15	15

Микрометр рычажный типа МР и

МР1 с отсчетом 0,002 мм:

в руках	4	6	10	10	15	15	20	20	25	30
в стойке	3	4	5	6	10	10	10	10	10	10

настроенный по концевым мерам 2-го

класса

2	2	5	5	5	5	5	5	5	5	5

Нутромер микрометрический типа

МН (штихмас), настроенный по уста-

новочной мере

—	—	15	15	20	20	20	20	20	20	30

Глубиномер микрометрический типа

ГМ:

при абсолютных измерениях	5	20	20	20	—	—	—	—	—	—
настроенный по концевой мере	5	5	5	5	—	—	—	—	—	—
настроенный по установочной мере	5	5	10	10	—	—	—	—	—	—

[illegible]

Наименование	Тип стойки	Класс концевых мер, применяемых при настройке	Предельные погрешности измерения $\pm \Delta_{\text{изм}}$, мкм, универсальных средств измерения при размерах, мм, деталей									
			1...3	3...6	6...10	10...18	18...30	30...50	50...80	80...120	120...180	
0,002 ($\pm 0,025$ мм)	C-I	Разряд 2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5
0,0005 ($\pm 0,05$ мм)	C-I	Разряд 2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,5	0,5	0,5	0,7	0,7	0,7
Индикаторный нутромер с измерительной головкой с ценой деления 0,01 мм при работе:												
в границах всего диапазона шкалы	НИ 4 или микрометр		—	15	15	15	20	20	25	25		25
на нормируемом участке в 0,1 мм	То же		—	10	10	10	10	10	15	15		15
Индикаторный нутромер с измерительной головкой с ценой одного деления 0,001 или 0,002 мм при работе в границах участка, мм:												
0,1	НИ 1 или установочное кольцо		—	4,5	4,5	4,5	5,5	5,5	6,5	6,5		7,5
0,003	НИ1 или установочное кольцо		—	2,8	2,8	2,8	3,5	3,5	4,5	4,5		6,5

Индикаторная скоба с головкой с отсчетом 0,01 мм:

5	15	15	15	15	15	15	20	20	20	20
3	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

Индикаторный глубиномер с измерительной головкой точностью 0,01 мм, настроенный по:

ГИ	—	20	20	10	20	20	20	20	20	—
ГИ	3	5	5	5	5	5	5	5	5	—
	4	5	5	5	5	10	10	10	10	—
НИ	2	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	2,0	2,0	2,0	—

Индикаторный нутромер с головкой точностью 0,001 мм, настроенный по концевой мере

Рычажная скоба с ценой деления 0,002 мм ($\pm 0,14$):

СР	3	4	4	4	4	4	4	5	10	40	20
СР		4	4	4	4	4	4	4	5	5	10
СР	3	3	3	3	3	3	3	3,5	3,5	—	—
СР	2	3	3	3	3	3	3	3,5	3,5	—	—
	4	4	4	4	4	4	4	5	5	8	8
	3	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	3	4	6,5

Оптиметр с ценой деления 0,001 ($\pm 0,1$ мм) в вертикальной стойке с контактом: линейным

0	0,30	0,30	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7
1	0,4	0,4	0,4	0,6	0,6	0,6	0,8	1,0	1,2	1,2

Посадки	Зазоры	Зазоры, мкм, посадок в системе отверстия при диаметрах, мм													
		от 1 до 3	св. 3 до 6	св. 6 до 10	св. 10 до 18	св. 18 до 30	св. 30 до 50	св. 50 до 80	св. 80 до 120	св. 120 до 180	св. 180 до 250	св. 250 до 315	св. 315 до 400	св. 400 до 500	
$H5$	min	2	4	5	6	7	9	10	12	14	15	17	18	20	
$g4$	max	9	13	15	19	22	27	31	37	44	49	56	61	67	
$H6$	min	2	4	5	6	7	9	10	12	14	15	17	18	20	
$g5$	max	12	17	20	25	29	36	42	49	57	64	72	79	87	
$H7$	min	2	4	5	6	7	9	10	12	14	15	17	18	20	
$g6$	max	18	24	29	35	41	50	59	69	79	90	101	111	123	
$H6$	min	6	10	13	16	20	25	30	36	43	50	56	62	68	
$g6$	max	18	26	31	38	46	57	68	80	93	108	120	134	148	
$H7$	min	6	10	13	16	20	25	30	36	43	50	56	62	68	
$g7$	max	26	34	43	52	62	75	90	106	123	142	160	176	194	
$H8$	min	6	10	13	16	20	25	30	36	43	50	56	62	68	
$g7$	max	30	40	50	61	74	89	106	125	146	168	189	208	228	
$H8$	min	6	10	13	16	20	25	30	36	43	50	56	62	68	
$g8$	max	34	46	57	70	86	103	122	144	169	194	218	240	262	
$H8$	min	6	10	13	16	20	25	30	36	43	50	56	62	68	
$g9$	max	45	58	71	86	105	126	150	177	206	237	267	291	320	
$H9$	min	6	10	13	16	20	25	30	36	43	50	56	62	68	
$g8$	max	45	58	71	86	105	126	150	177	206	237	267	291	320	
$H7$	min	14	20	25	32	40	50	60	72	85	100	110	125	135	
$g7$	max	34	44	55	68	82	100	120	142	165	192	214	239	261	
$H7$	min	14	20	25	32	40	50	60	72	85	100	110	125	135	
$g8$	max	38	50	62	77	94	114	136	161	188	218	243	271	295	

Посадки	Зазоры	Зазоры, мкм, посадок в системе отверстия при диаметрах, мм												
		от 1 до 3	св. 3 до 6	св. 6 до 10	св. 10 до 18	св. 18 до 30	св. 30 до 50	св. 50 до 80	св. 80 до 120	св. 120 до 180	св. 180 до 250	св. 250 до 315	св. 315 до 400	св. 400 до 500
$\frac{H8}{e8}$	min	14	20	25	32	40	50	60	72	85	100	110	125	135
	max	42	56	69	86	106	128	152	180	211	244	272	303	329
$\frac{H8}{e9}$	min	14	20	25	32	40	50	60	72	85	100	110	125	135
	max	52	68	83	102	125	151	180	213	248	287	321	353	387
$\frac{H9}{e8}$	min	14	20	25	32	40	50	60	72	85	100	110	125	135
	max	52	68	83	102	125	151	180	213	248	287	321	354	387
$\frac{H9}{f9}$	min	6	10	13	16	20	25	30	36	43	50	56	62	68
	max	56	70	85	102	124	149	178	210	243	280	316	342	378
$\frac{H7}{d8}$	min	20	30	40	50	65	80	100	120	145	170	190	210	230
	max	44	60	77	95	119	144	176	209	248	288	323	356	390
$\frac{H8}{d8}$	min	20	30	40	50	65	80	100	120	145	170	190	210	230
	max	48	66	84	104	131	158	192	228	271	314	352	388	424
$\frac{H9}{e9}$	min	14	20	25	32	40	50	60	72	85	100	110	125	135
	max	64	80	97	118	144	174	208	246	285	330	370	405	445
$\frac{H8}{d9}$	min	20	30	40	50	65	80	100	120	145	170	190	210	230
	max	59	78	98	120	150	181	220	261	308	367	401	439	482
$\frac{H9}{d9}$	min	20	30	40	50	65	80	110	120	145	170	190	210	230
	max	70	90	112	136	169	204	248	294	345	400	450	490	540
$\frac{H10}{d10}$	min	20	30	40	50	65	80	100	120	145	170	190	210	230
	max	100	126	156	190	233	280	340	400	465	540	610	670	730
$\frac{H11}{d11}$	min	20	30	40	50	65	80	100	120	145	170	190	210	230
	max	140	180	220	270	325	400	480	560	645	750	830	930	1030

Примечание ☐ — предпочтительные посадки.

ПРИЛОЖЕНИЕ IX

Основное отверстие	Посадки	Натяги	Натяги посадок, мкм, в системе отверстий при диаметрах, мм								
			от 1 до 3	св. 3 до 6	св. 6 до 10	св. 10 до 14	св. 14 до 18	св. 18 до 24	св. 24 до 30	св. 30 до 40	св. 40 до 50
H6	$\frac{H6}{p5}$	min	0	4	6	7	7	9	9	10	10
		max	10	17	21	26	26	31	31	37	37
	$\frac{H6}{r5}$	min	4	7	10	12	12	15	15	18	18
		max	14	20	25	31	31	37	37	45	45
	$\frac{H6}{s5}$	min	8	11	14	17	17	22	22	27	27
		max	18	24	29	36	36	44	44	54	54
H7	$\frac{H7}{p6}$	min	4	0	0	0	0	1	1	1	1
		max	12	20	24	29	29	35	35	42	42
	$\frac{H7}{r6}$	min	0	3	4	5	5	7	7	9	9
		max	16	23	28	34	34	41	41	50	50
	$\frac{H7}{s6}$	min	4	7	8	10	10	14	14	18	18
		max	20	27	32	39	39	48	48	59	59
	$\frac{H7}{s7}$	min	4	7	8	10	10	14	14	18	18
		max	24	31	38	46	46	56	56	68	68
	$\frac{H7}{t6}$	min	—	—	—	—	—	—	20	23	29
		max	—	—	—	—	—	—	54	64	70
H8	$\frac{H7}{u7}$	min	8	11	13	15	15	20	27	35	45
		max	28	35	43	51	51	62	69	85	95
	$\frac{H8}{s7}$	min	0	1	1	1	1	2	2	4	4
		max	24	31	38	46	46	56	56	68	68
	$\frac{H8}{u8}$	min	4	5	6	6	6	8	15	21	31
		max	32	41	50	60	60	74	81	99	109
	$\frac{H8}{x8}$	min	6	10	12	13	18	21	31	41	58
		max	34	46	56	67	72	87	97	119	136
	$\frac{H8}{z8}$	min	12	17	20	23	33	40	55	73	97
		max	40	53	64	77	87	106	121	151	175

Основное отвер- стие	Посад- ки	Натяги	Натяги посадок, мкм, в системе отверстий при диаметрах, мм							
			св. 50 до 65	св. 65 до 80	св. 80 до 100	св. 100 до 120	св. 120 до 140	св. 140 до 160	св. 160 до 180	св. 180 до 200
	$\frac{H6}{p5}$	min	13	13	15	15	18	18	18	21
		max	45	45	52	52	61	61	61	70

Основное отверстие	Посадки	Натяги	Натяги посадок, мкм, в системе отверстий при диаметрах, мм							
			св. 50 до 65	св. 65 до 80	св. 80 до 100	св. 100 до 120	св. 120 до 140	св. 140 до 160	св. 160 до 180	св. 180 до 200
H6	$\frac{H6}{r5}$	min	22	24	29	32	38	40	43	48
		max	54	56	66	69	81	83	86	97
	$\frac{H6}{s5}$	min	34	40	49	57	67	75	83	93
		max	66	72	86	94	110	118	126	142
	$\frac{H7}{p6}$	min	2	2	2	2	3	3	3	4
		max	51	51	59	59	68	68	68	79
	$\frac{H7}{r6}$	min	11	13	16	19	23	25	28	31
		max	60	62	73	76	88	90	93	106
	$\frac{H7}{s6}$	min	23	29	36	44	52	60	68	76
		max	72	78	93	101	117	125	133	151
H7	$\frac{H7}{s7}$	min	23	29	36	44	52	60	68	76
		max	83	89	106	114	132	140	148	168
	$\frac{H7}{r6}$	min	36	45	56	69	82	94	106	120
		max	85	94	113	126	147	159	171	195
	$\frac{H7}{u7}$	min	57	72	89	109	130	150	170	190
		max	117	132	159	179	210	230	250	282
	$\frac{H8}{s7}$	min	7	13	17	25	29	37	45	50
		max	83	89	106	114	132	140	148	168
	$\frac{H8}{u8}$	min	41	56	70	90	107	127	147	164
		max	133	148	178	198	233	253	273	308
H8	$\frac{H8}{x8}$	min	76	100	124	156	185	217	247	278
		max	168	192	232	264	311	343	373	422
	$\frac{H8}{z8}$	min	126	164	204	256	302	352	402	448
		max	218	256	312	364	428	478	528	592

Основное отверстие	Посадки	Натяги	св. 200 до 225	св. 225 до 250	св. 250 до 280	св. 280 до 315	св. 315 до 355	св. 355 до 400	св. 400 до 450	св. 450 до 500
H6	$\frac{H6}{p5}$	min	21	21	24	24	26	26	28	28
		max	70	70	79	79	87	87	95	95
	$\frac{H6}{r5}$	min	51	55	62	66	72	78	86	92
		max	100	104	117	121	133	139	153	159
	$\frac{H6}{s5}$	min	101	111	126	138	154	172	192	212
		max	150	160	181	193	215	233	259	279

Основное отверстие	Посадки	Натяги	св. 200 до 225	св. 225 до 250	св. 250 до 280	св. 280 до 315	св. 315 до 355	св. 355 до 400	св. 400 до 450	св. 450 до 500
Н7	$\frac{H7}{p6}$	min	4	4	4	4	5	5	5	5
		max	79	79	88	88	98	98	108	108
	$\frac{H7}{r6}$	min	34	38	42	46	51	57	63	69
		max	109	113	126	130	144	150	166	172
	$\frac{H7}{s6}$	min	84	94	106	118	133	151	169	189
		max	159	169	190	202	226	244	272	292
	$\frac{H7}{s7}$	min	84	94	106	118	133	151	169	189
		max	176	186	210	222	247	265	295	315
	$\frac{H7}{t6}$	min	134	150	166	188	211	237	267	297
		max	209	225	250	272	304	330	370	400
	$\frac{H7}{u7}$	min	212	238	263	298	333	378	427	477
		max	304	303	367	402	447	492	553	603
	$\frac{H8}{s8}$	min	58	68	77	89	101	119	135	155
		max	176	186	210	222	247	265	295	315
	$\frac{H8}{u8}$	min	186	212	234	269	301	346	393	443
		max	330	356	396	431	479	524	587	637
Н8	$\frac{H8}{x8}$	min	313	353	394	444	501	571	643	723
		max	457	497	556	606	679	749	837	917
	$\frac{H8}{z8}$	min	503	568	629	709	811	911	1003	1153
		max	647	712	791	871	989	1089	1197	1347

Примечание. □ — предпочтительные посадки.

ПРИЛОЖЕНИЕ X

Условное обозначение радиального шарикоподшипника	Внутренний диаметр, мм	Наружный диаметр, мм	Ширина кольца, мм	Координаты фасок, мм

Легкая серия

200	10	30	9	1
201	12	32	10	1
202	15	35	11	1
203	17	40	12	1,5
204	20	47	14	1,5
205	25	52	15	1,5
206	30	62	16	1,5
207	35	72	17	2

Продолжение

Условное обозначение радиального шарикоподшипника	Внутренний диаметр, мм	Наружный диаметр, мм	Ширина кольца, мм	Координаты фасок, мм
208	40	80	18	2
209	45	85	19	2
210	50	90	20	2
211	55	100	21	2,5
212	60	110	22	2,5
213	65	120	23	2,5
214	70	125	24	2,5
215	75	130	25	2,5
216	80	140	26	3
217	85	150	28	3
218	90	160	30	3
219	95	170	32	3,5
220	100	180	34	3,5

Средняя серия

300	10	35	11	1
301	12	37	12	1,5
302	15	42	13	1,5
303	17	47	14	1,5
304	20	52	15	2
305	25	62	17	2
306	30	72	19	2
307	35	80	21	2,5
308	40	90	23	2,5
309	45	100	25	2,5
310	50	110	27	3
311	55	120	29	3
312	60	130	31	3,5
313	65	140	33	3,5
314	70	150	35	3,5
315	75	160	37	3,5
316	80	170	39	3,5
317	85	180	41	4
318	90	190	43	4
319	95	200	45	4
320	100	215	47	4

Тяжелая серия

405	25	80	21	2,5
406	30	90	23	2,5
407	35	100	25	2,5
408	40	110	27	3
409	45	120	29	3
410	50	130	31	3,5
411	55	140	33	3,5
412	60	150	35	3,5

Продолжение

Условное обозначение радиального шарикоподшипника	Внутренний диаметр, мм	Наружный диаметр, мм	Ширина кольца, мм	Координаты фасок, мм
413	65	160	37	3,5
414	70	180	42	4
415	75	190	45	4
416	80	200	48	4
417	85	210	52	5
418	90	225	54	5

ПРИЛОЖЕНИЕ XI

Номинальные диаметры, мм		Отклонения диаметра, мкм, внутреннего кольца подшипника при		Номинальные диаметры, мм		Отклонения диаметра, мкм, наружного кольца подшипника при	
свыше	до	классе точности		свыше	до	классе точности	
		0	6			0	6
—	6	—8	—7	—	18	—8	—7
6	10	—8	—7	18	30	—9	—8
10	18	—8	—7	30	50	—11	—9
18	30	—10	—8	50	80	—13	—11
30	50	—12	—10	80	120	—15	—13
50	80	—15	—12	120	150	—18	—15
80	120	—20	—15	150	180	—25	—18
120	180	—25	—18	180	250	—30	—20
180	250	—30	—22	250	315	—35	—25
250	315	—35	—25	315	400	—40	—28
315	400	—40	—30	400	500	—45	—33
400	500	—45	—35				

ЛИТЕРАТУРА

- Г ж и р о в Р. Н. Краткий справочник конструктора. — Л.: Машиностроение, 1983. — 464 с.
- Допуски и посадки: Справочник. В 2-х томах. — Л.: Машиностроение, 1978.
- Д у н и н - Б а р к о в с к и й И. В. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения. — М.: Машиностроение, 1976. — 346 с.
- И в а н о в А. И., Куликов А. А., Третьяков Б. С. Контрольно-измерительные приборы в сельском хозяйстве. — М.: «Колос», 1984. — 352 с.
- И в а н о в А. И. Основы взаимозаменяемости и технические измерения. — М.: «Колос», 1975. — 493 с.
- К у п р я к о в Е. М. Стандартизация и качество промышленной продукции. — М.: Высшая школа, 1985. — 288 с.
- Л е в и т с к и й И. С. и др. Технология ремонта машин и оборудования. — М.: «Колос», 1975. — 556 с.
- Пособие к решению задач по курсу «Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения». — М.: Высшая школа, 1977. — 202 с.
- С а р а н ч а Г. А. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения. — М.: Издательство стандартов, 1982. — 264 с.
- Т и щ е н к о О. Ф., В а л е д и н с к и й А. С. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения. — М.: Машиностроение, 1977. — 356 с.
- Я к у ш е в А. И. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения. — М.: Машиностроение, 1979. — 468 с.
- Я к у ш е в А. И., Б е ж е л у к о в а Е. Ф., П л у т а л о в В. Н. Допуски и посадки ЕСДП СЭВ для гладких цилиндрических деталей. — М.: Издательство стандартов, 1986. — 352 с.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

А

Агрегатирование 35
Аттестация государственная 57

Б

Базорасстояние конического соединения 271
Биеение радиальных цилиндрических поверхностей 105
— зубчатого венца 312
— торцевое 105
Бочкообразность 100

В

Вал основной 179
Вероятность 91
Взаимозаменяемость 73
— функциональная 74
Вогнутость 102
Волнистость 109
Выпуклость 102
Высота неровностей 112

Г

Гистограмма распределения 90
Глубиномер индикаторный 148
— микрометрический 142

Д

Датчик электроконтактный 163
— пневматический 168
Дефектация 121
Допуск зависимый 103
— групповой 255
— посадки 80

Е

Единица допуска 180

З

Зазор боковой зубчатой передачи 80, 321
— групповой 321
— наивыгоднейший 255
— расчетный 20—
Зацепление двухпрофильное 313

— однопрофильное 310
Звено замыкающее 227
— корректирующее 237
— составляющее 227
— увеличивающее 229
— уменьшающее 229
Знак качества 58

И

Изделие 44
Измерение 121
Индекс качества продукции 52
Индикатор часового типа 143
— рычажно-зубчатый 150
Инструмент измерительный 124
Интеграл вероятностей 95
Интенсивность радиальной нагрузки 221
Интервал диаметров 181

К

Калибры предельные 191
Качество продукции 46
Квалиметрия 46
Квалитет 182
Класс концевой меры 132
Колебание длины общей нормали 312
— измерительного межосевого расстояния 313
Контроль активный 55
Компенсатор 249
Комплексы контроля цилиндрического зубчатого колеса 327
Конусообразность 100
Коэффициент относительной асимметрии 247
— относительного рассеивания 247
— риска 94
— точности размерной цепи 237
Кривая распределения эмпирическая 90
— нормального распределения 92

М

Микрометр 138

- резьбовой 153
- рычажный 123
- Меры 122
 - образцовые 131
 - угловые 122
- Метод дополнительной обработки по результатам измерения на сборке 250
 - компенсации 249
 - неполной взаимозаменяемости (вероятностный) 241
 - полный взаимозаменяемости (расчет на максимум-минимум) 233
 - пригонки деталей 249
 - регулирования взаимного расположения деталей 251
- Микрокатор 151
- Микатор 152
- Микроскоп инструментальный 157
 - двойной Линника 174
- Модуль шкалы 134

Н

- Надежность 48
- Нагружение колебательное 220
 - местное 220
 - циркуляционное 220
- Натяг 80
 - групповой 256
 - расчетный 212
- Нониус линейный 135
- Нутромер индикаторный 145
 - микрометрический 141

О

- Образцы шероховатости 174
- Овальность 99
- Огранка 100
- Основание системы посадок 179
- Отверстие основное 179
- Оптиметр 155
 - вертикальный 156
 - горизонтальный 156
- Отклонение 79
 - основное 185
 - предельное 79
 - среднее арифметическое профиля 112
- Отношение передаточное в раз-
мерных цепях 231

П

- Передачи зубчатые отсчетные 307
 - — — силовые 308
 - — скоростные 307
- Плавность работы зубчатого ко-
леса 314
- Плотность вероятности 91
- Поверка 123
- Поверхность реальная 98
 - номинальная 98
 - прилегающая 98
- Погрешность измерения допусти-
мая 200
 - кинематическая зубчатого ко-
леса 309
 - направления зуба 320
 - обработки 83
 - предельная средства измере-
ния 199
 - систематическая 88
 - случайная 88
 - циклическая 316
- Поле допуска 81
 - рассеяния 95
- Полигон распределения 90
- Порог чувствительности 127
- Посадка неподвижная 178
 - переходная 178
 - подвижная 178
- Предпочтительные числа 25
- Приборы измерительные 124
- Продукт 44
- Продукция 44
- Промах (грубая ошибка) 127
- Профилограф-профилометр 175
- Пятно контакта 319

Р

- Размер действительный номи-
нальный 78
 - предельный 79
- Разряд концевой меры 132
- Распределение по нормальному
закону 91
 - по закону равнобедренного
треугольника 92
 - по закону равной вероятно-
сти 91
- Рассеяние размеров 89
- Расстояние межцентровое из-
мерительное 313
- Расширение допустимое поля до-
пуска 198

Ротаметр 162

Ряды допусков нормальных линейных размеров 33

— основных отклонений 185

— Предпочтительных чисел 27

С

Сборка селективная 253

Седлообразность 100

Серийность 68

Сильфон 163

Симплификация 34

Система вала 179

— допусков международная 178

— допусков и посадок СЭВ 178

— отверстия 179

Скоба индикаторная 145.

— рычажная 152

Смещение исходного контура 322

Способы центрирования шлицевых соединений 298

Средства измерения специальные 125

— — универсальные 124

Стандарт 8

Стандартизация государственная 7

— опережающая 38

— комплексная 38

Степень точности зубчатого колеса 325

Т

Типизация 35

Точность кинематическая 308

— обработки 85

— отсчета 127

— размеров 88

— формы 98

У

Унификация 35

Уровень качества продукции 50

Ф

Функция Лапласа нормированная 95

Ц

Цена деления 126

Цепь размерная 227

— — линейная 229

— — плоская 229

— — подетальная 228

— — пространственная 229

— — сборочная 228

— — связанная 239

— — с угловыми размерами 258

Ч

Частота относительная 91

Ш

Шероховатость 111

Штангенглубиномер 137

Штангенрейсмус 138

Штангенциркуль 135

Щ

Щуп 133

Э

Эталон 122

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Глава 1. Сущность и государственная система стандартизации	5
§ 1. Возникновение и развитие стандартизации	5
§ 2. Основные цели и задачи стандартизации. Категории и виды стандартов. Объекты стандартизации	8
§ 3. Порядок разработки, утверждения и внедрения стандартов	13
§ 4. Система органов и служб стандартизации	15
§ 5. Международная стандартизация	18
§ 6. Стандартизация, проводимая СЭВ	20
Глава 2. Методические основы стандартизации	22
§ 7. Классификация и кодирование	22
§ 8. Система предпочтительных чисел и параметрические ряды	25
§ 9. Симплификация, типизация, унификация и агрегатирование	34
§ 10. Опережающая и комплексная стандартизация. Единые межотраслевые системы стандартов	38
Глава 3. Стандартизация и качество продукции	44
§ 11. Термины и определения, относящиеся к качеству продукции	44
§ 12. Техничко-экономические показатели качества	46
§ 13. Оценка уровня качества продукции	50
§ 14. Контроль качества продукции	54
§ 15. Государственная аттестация качества промышленной продукции	56
Глава 4. Управление качеством промышленной продукции	59
§ 16. Стандартизация — основа управления качеством продукции	59
§ 17. Комплексная система управления качеством продукции	60
§ 18. Система государственной приемки*	65
Глава 5. Техничко-экономическая эффективность стандартизации	67
§ 19. Составляющие экономической эффективности стандартизации	67
§ 20. Методика выбора оптимального ряда	69
§ 21. Общая экономия	71
Глава 6. Общие принципы взаимозаменяемости	73
§ 22. Определение взаимозаменяемости	73
§ 23. Краткая история развития взаимозаменяемости в нашей стране	76

§ 24. Основные понятия о допусках и посадках . . .	78
§ 25. Нанесение предельных отклонений размеров на чертежах	83

✓ Глава 7. Точность обработки при изготовлении и восстановлении деталей машин 85

§ 26. Виды погрешностей и причины их возникновения	85
§ 27. Точность размера	88
§ 28. Статистические параметры рассеяния	89
§ 29. Определение вероятного процента брака	94
§ 30. Точность формы и расположения поверхностей	98
§ 31. Волнистость и шероховатость поверхности	109
§ 32. Обозначение шероховатости поверхности на чертежах	115
§ 33. Влияние волнистости и шероховатости на надежность и долговечность машин	117

✓ Глава 8. Основные понятия о технических измерениях . . . 121

§ 34. Классификация средств измерения и контроля	122
§ 35. Основные метрологические показатели средств измерения	126
§ 36. Методы измерения	128
§ 37. Учет погрешностей при измерении размеров	129

Глава 9. Универсальные средства измерения 131

§ 38. Плоскопараллельные концевые меры длины	131
§ 39. Штангенинструменты	134
§ 40. Микрометрические инструменты	138
§ 41. Индикаторы и индикаторные приборы	143
§ 42. Рычажно-механические приборы	151
§ 43. Оптико-механические и оптические приборы	154
§ 44. Пневматические приборы	160
§ 45. Электрифицированные приборы для измерения и контроля линейных размеров	163
§ 46. Автоматические средства контроля	166
§ 47. Средства активного контроля	169
§ 48. Методы и средства измерения отклонений формы и расположения поверхностей	171
§ 49. Средства измерения шероховатости поверхности	174

Глава 10. Взаимозаменяемость, методы и средства контроля гладких цилиндрических соединений . . . 178

§ 50. Общие принципы построения единой системы допусков и посадок (ЕСДП)	179
§ 51. Обозначение на чертежах посадок, качеств и предельных отклонений	189
§ 52. Методы и средства измерения гладких цилиндрических соединений	190
§ 53. Предельные калибры	191
§ 54. Допуски гладких калибров	195
§ 55. Выбор средств измерения	197

Глава 11. Основы расчета и выбора посадок	201
§ 56. Выбор системы посадок	201
§ 57. Выбор качества	203
§ 58. Расчет и выбор посадок с зазором	205
§ 59. Расчет и выбор посадок с натягом	211
§ 60. Выбор переходных посадок	216
§ 61. Расчет и выбор посадок подшипников качения	219
Глава 12. Расчет размерных цепей	227
§ 62. Термины и определения	227
§ 63. Порядок составления размерных цепей	229
§ 64. Методы достижения точности замыкающего звена	232
§ 65. Метод расчета размерных цепей на максимум-минимум	233
§ 66. Вероятностный метод расчета размерных цепей	241
§ 67. Методы компенсации (пригонки и регулирования)	249
§ 68. Метод групповой взаимозаменяемости	252
§ 69. Особенности расчета плоских и пространственных размерных цепей	258
§ 70. Расчет допусков расположения осей	259
§ 71. Использование размерного анализа при ремонте машин	265
Глава 13. Допуски на угловые размеры. Взаимозаменяемость гладких конических соединений	267
§ 72. Угловые размеры и допуски на них	267
§ 73. Взаимозаменяемость гладких конических соединений	269
§ 74. Методы и средства контроля углов и конусов	273
Глава 14. Взаимозаменяемость, методы и средства контроля резьбовых соединений	278
§ 75. Основные размеры резьбового соединения и их влияние на взаимозаменяемость	278
§ 76. Степени точности резьб	282
§ 77. Посадки с зазором	283
§ 78. Переходные посадки	285
§ 79. Посадки с натягом	287
§ 80. Методы и средства контроля резьб	289
Глава 15. Взаимозаменяемость, методы и средства контроля шпоночных и шлицевых соединений	294
§ 81. Взаимозаменяемость шпоночных соединений	294
§ 82. Методы и средства контроля деталей шпоночного соединения	296
§ 83. Взаимозаменяемость шлицевых соединений	297
§ 84. Методы и средства контроля деталей шлицевых соединений	304

Глава 16. Взаимозаменяемость, методы и средства контроля зубчатых передач	307
§ 85. Эксплуатационные требования к зубчатым передачам	307
§ 86. Параметры точности зубчатых передач и методы их контроля	308
§ 87. Система допусков на цилиндрические зубчатые передачи	324
§ 88. Выбор степеней точности и комплексов показателей контроля цилиндрических зубчатых передач	329
§ 89. Особенности системы допусков конических и гипоидных зубчатых передач	332
§ 90. Особенности системы допусков червячных цилиндрических передач	332
Приложения	334
Литература	360
Предметный указатель	361

Игорь Сергеевич Серый

**ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ,
СТАНДАРТИЗАЦИЯ
И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ**

Зав. редакцией *Л. И. Чичева*

Редактор *Г. М. Микая*

Художественный редактор *С. Н. Болоболов*

Технический редактор *Н. В. Новикова*

Корректор *И. Н. Молодкина*

ИБ № 4891

Сдано в набор 05.03.87. Подписано к печати 28.07.87. Формат 84 × 108¹/₃₂. Бумага тип. № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. д. 19,32. Усл. кр.-отт. 19,32. Уч.-изд. л. 18,37. Изд. № 369. Тираж 32 000 экз. Заказ № 1390. Цена 95 коп.

Ордена Трудового Красного Знамени ВО «Агро-промиздат», 107807, ГСП, Москва, Б-53, ул. Садовая-Спасская, 18.

Диапозитивы изготовлены в Ярославском полиграфкомбинате Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 150014, Ярославль, ул. Свободы, 97.

Отпечатано с диапозитивов в Московской типографии № 11 Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 113105, Москва, ул. Нагатинская, д. 1.