

Машиностроительные заводы производят разнообразные машины и оборудование для всех отраслей промышленности страны. Задача машиностроительных предприятий – выпускать изделия высокого качества, обеспечивающего их назначение, надежность, долговечность в работе и соответствие государственным стандартам и техническим условиям.

Современное состояние производства требует от работников технического контроля не просто определения годности изделий, но и активного участия в предупреждении брака, умения эксплуатировать новейшие автоматические и полуавтоматические контрольно-измерительные средства, знания основ механизации контрольных операций.

Ни одна область техники, ни одна отрасль народного хозяйства не может существовать без контроля за ходом технологических процессов, без оценки эксплуатационных показателей, технического уровня или качества изделий и продукции.

Уровень современной техники требует от машин работы в условиях высоких скоростей и нагрузок. Это обуславливает повышение требований к точности их производства, а следовательно, и контроля. Измерения с требуемой точностью в процессе изготовления деталей машин и их сборки во многом определяют взаимозаменяемость, долговечность, надежность и бесшумность работы.

Высокий уровень современной измерительной техники является результатом длительного развития средств измерений и учения об измерениях. Из древних веков до нас сведения об использовании достаточно сложной измерительной техники. Ее дальнейшее совершенствование неразрывно связано с развитием земледелия, торговли, строительства. Наиболее заметен прогресс средств измерения во второй половине XVIII в., характеризующийся бурным развитием промышленности. Большой вклад в развитие учения об измерениях и создание измерительной техники внесли русские ученые. Основположником отечественной метрологии (науки об измерениях) является Д. И. Менделеев.

С первых дней становления Советской власти началось создание отечественного приборостроения, которое

к сегодняшнему дню достигло значительных успехов. Совершенствование измерительных средств и науки об измерениях продолжается и в настоящее время. Вследствие улучшения конструкций и использования новых принципов измерения создаются более точные и производительные приборы, позволяющие автоматизировать процесс измерения. Внедрение средств активного контроля сделало возможным предупреждение появления брака. Широко внедряется электронно-вычислительная техника в процессы измерения и обработки полученных результатов. Успешное освоение и широкое внедрение современных измерительных средств невозможно без глубокой теоретической подготовки, без знания технологических возможностей оборудования, основ теории резания, метрологии, современного уровня приборостроения и средств автоматизации, а также экономики и организации производства.

Для обеспечения эффективного использования применяемых в промышленности измерительных средств и требуемого уровня качества выпускаемой продукции необходимы квалифицированные кадры специалистов технического контроля.

В основных направлениях реформы общеобразовательной и профессиональной школы определены цели, задачи, показаны пути перестройки и повышения качества подготовки рабочих высокой квалификации и широкого профиля. Подготовка квалифицированных рабочих для всех отраслей народного хозяйства осуществляется в плановом порядке путем обучения молодых рабочих в средних профессионально-технических училищах.

Профессионально-техническое образование в СССР призвано осуществлять организованную подготовку всесторонне развитых, технически образованных, культурных молодых квалифицированных рабочих, владеющих профессиональным мастерством, отвечающих требованиям современного производства, научно-технического прогресса и перспективам их развития.



## 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МЕХАНОСБОРОЧНЫХ РАБОТАХ

Изделия получают в результате переработки исходных материалов и полуфабрикатов в готовую продукцию. Создание машин, механизмов или деталей — результат сложного технологического процесса, складывающегося из сотен, а иногда и тысяч различных операций. Выплавленный металл поступает на специализированные заводы, где из него получают прокат различной конфигурации, либо в литейный или кузнечный цехи завода. В этих цехах из металла отливают, кууют или штампуют заготовки будущих деталей. Затем эти заготовки поступают в заготовительные цехи, где происходит их предварительная обработка: обрубка, очистка, обдирка, резка и т. п. Подготовленные таким образом заготовки, пройдя контроль, попадают в механические цехи предприятия. В механических цехах на различных металлорежущих станках (токарных, сверлильных, фрезерных, шлифовальных и др.) осуществляют обработку заготовок до состояния, соответствующего требованиям рабочих чертежей деталей. В ряде случаев механообработка не может полностью обеспечить этого соответствия и детали из механических цехов передают на термические участки, где происходит их термообработка с целью изменения механических (например, повышение твердости и пластичности) или физико-химических свойств (например, повышение износостойкости, антикоррозионной стойкости и др.). После термообработки детали, как правило, возвращают в механические цехи для окончательной обработки. Некоторые детали из механических цехов поступают для окончательной обработки на слесарные участки, где их доводят до вида готовых изделий.

Окончательно обработанные детали контролируют работники отдела технического контроля (ОТК) и сдают в цеховые или заводские склады готовой продукции, откуда они поступают на сборку в виде сборочных комплектов.

Слесарную обработку и сборочные работы проводят в основном вручную, что требует значительного количества квалифицированных рабочих. В связи с этим стремятся максимально сократить долю слесарных операций при изготовлении деталей, а если это невозможно, то

прибегают к механизации слесарных работ. Для повышения производительности сборочных процессов в настоящее время все шире используют манипуляторы и промышленные роботы многоцелевого назначения, управляемые от ЭВМ.

### 1.1. Краткие сведения о слесарно-сборочных работах

Слесарные работы являются одной из разновидностей процессов холодной обработки металлов резанием. Они выполняются с помощью ручных и механизированных инструментов. Цель слесарной обработки — придание заготовке вида (формы, размеров, шероховатости поверхностей), соответствующего чертежу и техническим требованиям к детали.

Качество выполняемой работы зависит от квалификации слесаря, от применяемого инструмента, материала детали, оборудования рабочего места и других факторов.

Приемы и навыки слесарного дела формировались веками. С древних времен люди изготовляли из металла орудия труда, домашнюю утварь, оружие. На Руси мастеровых, занимавшихся этим трудом, звали кузнецами. Они варили металл, ковали из него различные изделия, в том числе и «холодной ковкой» (без нагрева). Последующее развитие ремесел внесло специализацию в кузнечный промысел. Появились бронники и стрельники, гвоздочники и скобочники, клочечники и денежники. Прародителями сегодняшних слесарей можно считать древних замочников — шлоссарей. Появление металлорежущих станков сократило долю слесарной обработки при изготовлении деталей, но профессия слесаря до сегодняшних дней осталась весьма важной.

Современные слесари, участвуя в изготовлении и сборке сложнейших машин и приборов, занимают одно из ведущих мест среди существующих профессий рабочих-металлистов. По выполняемым видам работ они подразделяются на слесарей-лекальщиков, слесарей-инструментальщиков, слесарей-сборщиков, слесарей-ремонтников и т. д.

К операциям слесарной обработки относят: разметку, гибку, правку, рубку и резку металлов, опилование, сверление, зенкование, зенкерование и развертывание отверстий, нарезание резьбы, клепку, пайку, лужение, склеивание, шабрение, притирку, доводку и целый ряд других операций. Все эти операции можно условно разделить на

три группы: подготовительные, основные и дополнительные. К подготовительным операциям относятся виды работ, связанные с изготовлением или исправлением заготовки (резка, правка, рихтовка, гибка и др.). Основные операции позволяют придать заготовке форму, размеры и состояние поверхности, соответствующие указаниям чертежа. В этой группе, как правило, первой и чрезвычайно ответственной является операция разметки — нанесения на поверхности заготовки разметочных рисок, определяющих контуры детали, центры будущих отверстий, границы или места, подлежащие обработке. Основными недостатками разметки являются невысокая точность (0,2—0,5 мм) и достаточная трудоемкость. В инструментальных цехах для повышения точности разметки пользуются отсчетной системой координатно-расточных станков. В последнее время для этой цели используют измерительные машины, управляемые от ЭВМ.

Слесарь, выполняющий разметку, должен помнить, что ошибки, допущенные им, будут дорого стоить, так как весь последующий труд и время, затраченные на обработку, будут без пользы потеряны. При разметке слесарь должен проверить чертеж, чтобы не перенести с него ошибочные размеры на заготовку. Он обязан с помощью работников службы главного метролога регулярно проверять точность приспособлений, разметочного и измерительного инструмента. Ошибки при чтении чертежей, при установке деталей или нанесении размеров, неправильное использование оснастки или небрежность разметки являются браком в работе слесаря. Простые детали могут обрабатываться и без разметки.

После разметки приступают к основной обработке заготовки, доводя ее до состояния годной детали. Иногда этот процесс выполняют в два этапа: вначале выполняют грубую обработку заготовки (рубку, опилование), а затем окончательную или отделочную (шабрение, притирку, доводку и т. п.). Для придания деталям дополнительных свойств, регламентированных чертежом (например, повышенной твердости, пластичности, стойкости от разрушения в среде газов, кислот, щелочей), применяют дополнительные операции: закалку, отжиг, лужение, покрытие, упрочнение поверхностным деформированием и т. д.

В ряде случаев при слесарной обработке требуется предварительно соединить две или несколько деталей ме-

жду собой, а потом обрабатывать их как одно целое. Для этого слесарь выполняет операции сверления, нарезания резьбы, клепки, пайки, склеивания, запрессовки и пр.

Для поддержания технологического оборудования в исправном состоянии существуют бригады ремонтников. В их задачу входит обнаружение неисправности, разборка, устранение неисправности, сборка отремонтированного оборудования и его испытание. Основными причинами неисправностей в этом случае является износ или поломка деталей.

На заводах, выпускающих продукцию с часто меняющейся номенклатурой, удельный вес слесарей среди рабочих специальностей основных цехов достаточно велик. При этом они, как правило, являются универсалами, т. е. выполняют самые разнообразные слесарные операции. С увеличением программы выпуска и стабилизацией номенклатуры изделий объем слесарных работ уменьшается и появляется возможность специализации слесарей по видам работ. Тем не менее даже на заводах, выпускающих массовую однотипную продукцию, нельзя обойтись без труда слесарей. Одни в инструментальных цехах создают оригинальный режущий инструмент, изготавливают штампы (матрицы и пуансоны) и различную технологическую оснастку, другие в ремонтных службах выполняют ремонт или монтаж оборудования, третьи ведут санитарно-технические работы, четвертые следят за работой вентиляции и т. д.

Последовательность обработки деталей, сборки машин и агрегатов (т. е. технология) разрабатывается в отделе главного технолога или его службами в цехах и заносится в специальные бланки, называемые картами технологического процесса. Эти карты являются основным документом слесаря и других работников, участвующих в изготовлении деталей или сборке узлов и машин. Самовольное изменение технологии рабочим или мастером является нарушением технологической дисциплины. Однако это не означает ее неизменность. Наоборот, технологический процесс должен непрерывно совершенствоваться на базе новой техники, передовой технологии, творческого поиска рационализаторов и изобретателей. Но все изменения должны вноситься только с разрешения работников технологической службы.

## 1.2. Металлорежущие станки и их технологические возможности

Советский Союз занимает ведущее место в мире по количеству выпускаемых станков, обеспечивая свои потребности и экспортируя их во многие страны мира.

В зависимости от характера выполняемых работ станки подразделяются на группы и типы. Существует девять групп станков, которые по номерам располагаются в специальной классификационной таблице следующим образом: 1 — токарные, 2 — сверлильные и расточные, 3 — шлифовальные, полировальные и доводочные, 4 — комбинированные (станки для электрохимической и электрофизической размерной обработки), 5 — зубо- и резьбообрабатывающие, 6 — фрезерные, 7 — строгальные, долбежные и протяжные, 8 — разрезные, 9 — разные. Каждая группа станков содержит девять типов. Например, первая токарная группа: 1 — одношпиндельные токарные автоматы и полуавтоматы, 2 — многошпиндельные, 3 — револьверные, 4 — сверлильно-отрезные, 5 — карусельные, 6 — лоботокарные, 7 — многолезцовые, 8 — специализированные, 9 — разные токарные. В настоящее время в классификационную таблицу вносится еще одна резервная группа и типы станков, носящие нулевой индекс. Графы резервной группы заполняют по мере необходимости.

Такой принцип классификации позволяет присваивать каждому станку серийного производства шифр (индекс), обозначающий условно группу, тип и один из важнейших размеров станка или обрабатываемой детали.

В шифре станка первая цифра указывает группу станков, вторая — тип, последующие — основной размер. Буква после первой или второй цифры символизирует модернизацию станка, завод-изготовитель или поколение. Буква в конце цифрового шифра указывает на класс точности (П — повышенный, В — высокий, А — особо высокий, С — сверхвысокий). Например, шифр 16К20П обозначает: 1 — группа токарных станков; 6 — токарно-винторезный; 20 — высота центров от направляющих, см; К — поколение; П — класс точности — повышенный. В станках с программным управлением в конце шифра ставится буква Ф с цифровым индексом (Ф1 — станок с цифровой индикацией обрабатываемого размера, цифры 2 и 3 указывают количество управляемых координат). Буква Т ставится в конце шифра станков с опера-

тивной (микропроцессорной) системой управления. Шифр специальных и специализированных станков образуется добавлением к шифру завода порядкового номера модели (МК — московский станкостроительный завод «Красный Пролетарий», МР — московский станкостроительный завод им. Серго Орджоникидзе, Е — егорьевский станкостроительный завод «Комсомолец» и др.). Например, ЕЗ-9 — шифр специального станка для нарезания зубчатых реек, выпускаемого егорьевским станкостроительным заводом «Комсомолец».

По степени универсальности все станки подразделяют на универсальные, специализированные и специальные. Универсальные — это станки, на которых возможно выполнение различных операций на заготовках широкой номенклатуры. Специализированные — это станки, на которых возможно выполнение ограниченного числа операций на заготовках одного наименования (например, на дисках). Специальные — это станки, предназначенные для выполнения ограниченного числа операций на одной конкретной заготовке.

По степени автоматизации станки делятся на автоматы и полуавтоматы. Автоматом (автоматическим станком) называют станок, в котором все рабочие и вспомогательные движения, необходимые для обработки заготовки, выполняются без участия человека. Полуавтоматом называют автоматический станок, в котором часть движений не механизирована, т. е. осуществляется вручную. В основном это движения, связанные с загрузкой и выгрузкой заготовок.

По массе станки разделяют на легкие (до 1 т), средние (до 10 т), тяжелые (свыше 10 т). Тяжелые станки в свою очередь делят на крупные (10—30 т), собственно тяжелые (30—100 т) и особо тяжелые, уникальные (более 100 т).

Учитывая большую трудоемкость и низкую производительность слесарного труда, стараются максимально исключать его из процесса производства, заменяя высокопроизводительной станочной обработкой. Для этого при проектировании новых или модернизации существующих станков решают вопросы не только повышения производительности, но и расширения технологических возможностей оборудования.

Так, традиционными для токарных станков являются операции: точение, обтачивание наружных цилиндрических поверхностей, обтачивание наружных конических

поверхностей, обработка торцов и уступов, прорезание канавок и отрезание, растачивание отверстий (цилиндрических и конических), сверление, зенкерование и развертывание отверстий, нарезание наружной и внутренней резьбы резцом, нарезание резьбы метчиком и плашкой, вихревое нарезание резьбы, фасонное обтачивание, накатывание рифленых поверхностей. На токарных станках можно выполнять также операции выглаживания, упрочнения поверхности, раскатки. Применение приспособлений позволяет значительно расширить технологические возможности станков токарной группы. С помощью специальной оснастки на токарном станке можно осуществлять фрезерные работы, производить обработку протяжками различной конфигурации. В настоящее время выпускают универсальные токарно-винторезные станки с набором приспособлений, позволяющим выполнять целый ряд работ, ранее не характерных для этого типа станков. В считанные минуты станок может стать гидроконтрольным полуавтоматом. Рабочему достаточно обработать самостоятельно только первую деталь из партии, установить ее в центрах и в дальнейшем использовать ее как копир для тиражирования подобных ей деталей. Функции рабочего при этом сводятся в основном к установке и снятию деталей. Широкое внедрение станков с числовым программным управлением (ЧПУ) позволило сделать универсальные станки полуавтоматами и автоматами. В нашей стране выпускают металлорежущие станки с автоматической сменой инструмента и программным управлением. Многооперационные станки, называемые обрабатывающими центрами, предназначены для обработки корпусных деталей с отверстиями, деталей типа рычагов, плит, кронштейнов и др. Такие станки, позволяющие производить практически полную обработку деталей, имеют разнообразнейший режущий инструмент (иногда свыше 100), автоматически устанавливающийся из специального магазина на рабочую позицию. Значительная часть работ слесарей-инструментальщиков выполняется фрезерными станками с ЧПУ и обрабатывающими центрами.

Огромное значение придается сегодня созданию гибких автоматизированных производств (ГАПов), представляющих собой участки, состоящие из станков с ЧПУ, обслуживаемые промышленными роботами и управляемые от единой ЭВМ. Построенные таким образом производства могут быстро перестраиваться на изгото-

вление деталей широкой номенклатуры. ГАПы — это значительный шаг на пути создания безлюдной технологии.

### 1.3. Сведения о качестве и точности

Высокое качество обеспечивает надежную и долговечную работу машин и приборов, делает их конкурентоспособными на мировом рынке, способствует интенсивному развитию нашей экономики и повышению жизненного уровня трудящихся.

Под качеством обычно понимают степень соответствия свойств изделий требованиям потребителя. Под термином «качество» понимают совокупность всех свойств продукции, призванных удовлетворять определенные потребности в соответствии со своим назначением в течение установленного времени. Как видно из определения, качество не является постоянным показателем, а меняется в зависимости от «определенных потребностей», т. е. зависит не только от эксплуатационных характеристик продукции, но имеет еще и социальный смысл. Оценка качества продукции является хотя и сложной, но выполнимой задачей. Область науки, занимающаяся теоретическими разработками основ и методов оценки качества, называется квалиметрией, а ее основоположниками являются советские ученые.

Для оценки качества используют различные свойства изделия. Так, для определения технического уровня рассматривают производительность и мощность; эксплуатационных качеств — экономичность, безопасность работы, надежность, долговечность, простоту обслуживания.

В результате оценки определяют уровень качества изделия, основанный на сравнении различных показателей его качества с требуемыми показателями.

Качество можно не только измерить, им можно и управлять. ГОСТ 15467—79 «Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения» определяет этот процесс как «установление, обеспечение и поддержание необходимого уровня качества изделий с помощью систематических проверок соответствия имеющихся показателей качества установленным». Управление качеством необходимо осуществлять на этапах разработки, производства и эксплуатации изделий.

В нашей стране вопросами управления качеством начали целенаправленно заниматься в 50-х годах. На пред-

приятиях были разработаны и широко внедрялись системы бездефектного изготовления продукции (БИП), в которых качество выполняемой работы оценивалось с помощью количественных показателей. Научно-исследовательские институты Госстандарта СССР изучили опыт передовых предприятий, проанализировали различные системы и разработали единые принципы проектирования комплексной системы управления качеством. В настоящее время тысячи предприятий, используя эти разработки, внедряли и успешно эксплуатируют комплексную систему управления качеством продукции (КСУКП).

С учетом исключительного народнохозяйственного значения и сложности проблемы качества в СССР создается Единая система государственного управления качеством продукции (ЕСГУКП).

Важную роль в повышении качества выпускаемой продукции играет Государственная аттестация качества продукции. Аттестация продукции производится в соответствии с пятилетними или годовыми планами специальной государственной аттестационной комиссией. Вся продукция подлежит аттестации и оценивается тремя категориями: высшей, первой и второй.

Промышленная продукция высшей категории качества должна по технико-экономическим показателям соответствовать лучшим отечественным и мировым достижениям или превосходить их; быть конкурентоспособной на внешнем рынке; иметь повышенные стабильные показатели качества; соответствовать стандартам или техническим условиям, учитывающим требования международных стандартов; обеспечивать экономическую эффективность; удовлетворять потребности народного хозяйства. Продукции высшей категории качества присваивают государственный Знак качества.

Продукция первой категории качества по технико-экономическим показателям должна соответствовать требованиям действующих стандартов или технических условий и удовлетворять потребностям народного хозяйства и населения страны.

Ко второй категории качества относят морально устаревшую продукцию, подлежащую модернизации или снятию с производства, так как ее технико-экономические показатели не соответствуют современным требованиям народного хозяйства.

В достижении высокого качества изготовления дета-

лей наиболее сложной является задача обеспечения заданной точности линейных и угловых размеров. Примерно 90% всех измерений при оценке качества деталей составляют линейно-угловые измерения.

Точность сборки определяется точностью параметров, характеризующих не только размеры, но и форму и взаимное расположение поверхностей деталей. Исходя из этого, условимся, что термины «точность обработки» и «точность сборки», применяемые без дополнительных указаний, в дальнейшем будут относиться только к точности линейно-угловых размеров.

Тогда под точностью обработки подразумевается соответствие размеров изготовленной детали размерам, указанным на чертеже. Размеры, проставленные на чертеже, называют номинальными. Размеры, которые имеют детали после обработки, называются действительными. Их определяют, измеряя деталь соответствующими средствами измерения. Разность между действительным и номинальным размерами характеризует погрешность обработки. Точность качественно можно определить как величину, обратную погрешности. Чем меньше погрешность, тем выше точность. Точность отдельной детали по геометрическим параметрам характеризуется погрешностями размеров и поверхностей. К погрешностям поверхностей относятся отклонения формы, отклонения расположения, волнистость и шероховатость поверхностей.

#### 1.4. Погрешности обработки и сборки

Все погрешности обработки и сборки по характеру их возникновения можно разделить на три группы: систематические, случайные и грубые.

Систематическими называются погрешности, которые постоянны по величине и направлению, либо изменяются по определенному закону. Погрешности такого вида могут появиться в результате допущенной ошибки при настройке станка на размер, либо в результате износа режущего инструмента (очень наглядно появление систематической погрешности из-за износа шлифовального круга при шлифовании деталей на автоматах), либо в результате температурных деформаций и т. д. Эти погрешности достаточно просто обнаружить, учесть и даже устранить.

Случайные погрешности — это погрешности, зна-

чение и направление которых нельзя предугадать. Возникновение таких погрешностей происходит по многим причинам, носящим случайный характер. Эти причины не зависят друг от друга и могут не в равной степени влиять на появление погрешности (неравномерность твердости заготовок в партии, разброс размеров заготовок и припусков на обработку, изменение силы резания в процессе обработки и др.).

К грубым погрешностям относятся случайные погрешности, значительно превосходящие ожидаемые при данных условиях. Причинами, вызывающими грубые погрешности, могут быть неправильный отсчет по шкале прибора, неправильная установка (перекос) измеряемой детали в процессе измерения и т. п. Результаты измерений, содержащие эти погрешности, исключают из рассмотрения, как явно недостоверные.

Для того чтобы исключить или уменьшить погрешности, необходимо знать природу их возникновения. Во время механической обработки детали силы резания действуют на станок (суппорт, шпиндель, направляющие), на приспособление, в котором зажата заготовка, на режущий инструмент и на обрабатываемую деталь. Все перечисленные в этом порядке элементы образуют технологическую систему СПИД (станок — приспособление — инструмент — деталь). Чем точнее работает каждый элемент этой системы, тем меньше погрешности в процессе обработки. Суммарная погрешность обработки складывается из погрешностей элементов технологической системы.

**Станок.** Точность его зависит от точности изготовления ответственных деталей (шпинделя и его опор, направляющих, корпусных деталей и т. д.), качества сборки и правильности регулировки, жесткости, виброустойчивости воспринимающих силы резания узлов и деталей; от точности работы приводов вращения шпинделя и подачи. Наибольшее влияние на точность обработки оказывают биение шпинделя и прямолинейность направляющих станины. Различают осевое и радиальное биение шпинделя, зависящее от точности изготовления расточек в корпусе шпиндельной бабки под подшипники, от качества изготовления самих подшипников и правильности их регулировки, от качества сборки шпиндельного узла и материала шпинделя. Овальность опорных шеек шпинделя или овальность подшипников вызывает поперечные колебания оси шпинделя. Это приводит к овальной фор-

ме обрабатываемой поверхности в поперечном сечении. В ряде случаев при правильном положении оси шпинделя (биение на шпинделе отсутствует) наблюдается биение переднего центра. Это может происходить вследствие биения конического отверстия переднего конца шпинделя относительно оси шпинделя, либо за счет несовпадения осей центра и шпинделя. Для станков с повышенными требованиями к точности обработки это биение не должно превышать 0,001 мм.

Теоретически траектория перемещения точки режущей кромки (или вершины) резца должна быть прямой линией, лежащей в плоскости, проходящей через ось вращения детали. Точность воспроизведения этой траектории во многом определяется точностью направляющих станка. Любое отклонение от теоретической траектории обусловит появление погрешности поверхности.

При обработке на токарных и шлифовальных станках вращается деталь, а на сверлильных, расточных, фрезерных, зуборезных станках — инструмент. Силы резания в процессе обработки могут существенно меняться, изменяя нагрузку на привод станка. Необходимо, чтобы эти изменения не влияли на постоянство частоты вращения заготовки или инструмента. Неравномерность частоты вращения сразу же вызовет неравномерный съем металла за один оборот, что приведет к появлению погрешности формы (гранности, овальности и др.). Непостоянство частоты вращения может быть вызвано проскальзыванием растянувшихся ремней привода и износом подшипников шпиндельной бабки. Эти дефекты особенно нежелательны на финишных операциях.

Точность продольных размеров зависит от точности остановки суппорта (стола) в требуемой точке. При обработке с автоматической остановкой суппорта (стола) погрешность размеров в этом направлении будет зависеть от точности выставки упоров, либо от работы устройства, выключающего подачу. Очень важно для уменьшения или исключения погрешности формы в продольном сечении добиться равномерной подачи независимо от изменения силы резания. Возникновение вибраций в процессе обработки вызывает резкое ухудшение качества поверхности.

**Приспособление** может внести существенные погрешности в процесс обработки. Так, на токарных и шлифовальных станках патрон может иметь торцовое и радиальное биение относительно оси шпинделя. Это может

быть вызвано отклонением от соосности посадочного отверстия патрона и шейки шпинделя и недостатками самого патрона. С целью уменьшения биений рекомендуется проводить расточку или шлифование кулачков патрона после установки его на станке. Такую операцию время от времени необходимо проводить для устранения износа поверхностей кулачков. В противном случае может возникать овальность обработанной поверхности.

При обработке деталей в центрах необходимо проверять правильность базирования заготовки. Недопустимо применение центров со сбитыми кромками, с повышенным износом рабочих поверхностей, с забоинами на посадочных поверхностях, с большими отклонениями от правильной геометрической формы. В прецизионных станках погрешность формы центров не должна превышать 0,001—0,002 мм. Неточная посадка центров в центровые отверстия, а также люфт пиноли задней бабки, применяемой для крепления заднего центра, вызывают погрешность формы и снижают точность обработки детали. Несовпадение осей центров передней и задней бабки, а также отклонение от параллельности их оси траектории инструмента (направляющим станка) ведет к возникновению конусообразности детали. Седлообразность поверхности может возникнуть при низкой (по сравнению с деталью) жесткости центров. Осевое усилие, развиваемое центрами, должно быть минимальным, но достаточным для надежного базирования детали. Большое усилие может привести к обильному тепловыделению в точках контакта центров с вращающейся деталью и тепловым деформациям. Большое усилие нежелательно при обработке тонких и длинных деталей, а также деталей с переменным сечением по длине. Увеличение осевого усилия зажима ведет также к росту износа рабочих поверхностей центров и нарушению формы центровых отверстий. Применение люнетов при обработке длинных валов требует тщательной регулировки его подвижных упоров. В противном случае это приведет к нарушению правильности геометрической формы детали и увеличению погрешности обработки.

При обработке в центрах длинных, нежестких заготовок без люнета силы резания деформируют (прогибают) заготовку, и чем ближе резец подходит к центру, тем больше прогиб и меньше съем металла. Поверхность детали после обработки будет иметь бочкообразную форму. Иногда при обработке длинных заготовок не пользуются



задним центром. Под действием сил резания заготовка прогибается тем больше, чем дальше от места крепления ведется обработка. Деталь в этом случае получается конической с основанием конуса у заднего торца. Для устранения этих погрешностей обработки необходимо пользоваться приспособлениями, повышающими жесткость заготовки (подвижными люнетами, задним центром и т. п.).

При закреплении заготовок с помощью электромагнитных плит (на плоскошлифовальных станках) необходимо следить, чтобы рабочая поверхность плиты не имела забоин и задиров, так как эти дефекты могут привести к разбросу размеров деталей в одной партии. Для устранения таких дефектов рекомендуется тонкое шлифование плиты на этом же станке.

**Инструмент** может вносить погрешности обработки вследствие износа и неточности установки. Износ инструмента при обработке наружных поверхностей вызывает увеличение обрабатываемых размеров от детали к детали; при обработке внутренних поверхностей — уменьшение размеров. Износ инструмента зависит от условий обработки, материала режущей части, обрабатываемого материала, геометрии режущей части резца и др. Величина его может меняться даже в пределах одной партии деталей. Явным признаком износа является постепенное изменение обрабатываемых размеров в одну сторону. Если в схеме станка отсутствует устройство автоматической компенсации износа инструмента, то эту операцию необходимо проводить вручную, используя соответствующие средства измерения.

Особенно заметно влияние износа инструмента при обработке деталей шлифованием, хонингованием, суперфинишированием.

Неточности установки резца влияют в основном на точность размера, не вызывая погрешности формы поверхности. Погрешность установки резца на размер определяют опытным путем, многократно перемещая резец на требуемую глубину резания по лимбу и измеряя при этом действительные перемещения соответствующими средствами измерения.

**Деталь** (заготовка) может также вносить погрешности в процессе обработки из-за ее неправильной установки. Кроме этого, на точность обработки могут влиять исходная форма заготовки, припуск на обработку, поверхностная твердость и тепловые деформации заготовки.

Под погрешностью базирования понимают максимально возможную разность положений заготовки после ее установки на станке. Например, изменение глубины переднего центрального отверстия вызовет перемещение переднего торца в осевом направлении относительно выставленного на размер резца. Тогда в процессе обработки продольных размеров возникнет погрешность, равная этому перемещению. Недостаточно высокое качество выполнения базовых поверхностей может быть не только причиной искажения геометрических размеров или формы детали, но и причиной возникновения погрешности контроля в процессе обработки. Перед обработкой заготовки ее центральные отверстия должны быть очищены от твердых частиц, стружки и окалины, протерты и смазаны. Для заготовок точных деталей проводят специальную предварительную операцию по доводке центральных отверстий.

При зажиме заготовки в приспособлении может возникнуть погрешность закрепления, связанная с деформацией как заготовки, так и установочных элементов приспособления. Особенно наглядно это проявляется при расточке отверстий тонкостенных втулок в трехкулачковом патроне. При зажиме заготовки кулачки деформируют ее и в процессе резания больше всего металла снимается с участков поверхности, расположенных под кулачками. После снятия обработанной втулки она расправляется и обработанное отверстие принимает в поперечном сечении вид треугольника со скругленными вершинами. Такой дефект называют гранностью. Для обработки таких легкодеформируемых изделий вместо трехкулачковых патронов следует применять цанговые или специальные патроны, имеющие большую площадь контакта зажимных элементов с заготовкой (многолепестковые мембранные патроны или патроны с гидропластмассой и тонкостенными зажимными втулками). Гранность может возникнуть при обработке цилиндрических поверхностей, если, вращаясь, заготовка меняет положение своей оси многократно за один оборот. Это явление характерно для бесцентрового шлифования, а также наглядно проявляется при сверлении больших отверстий в тонкостенных листах при недостаточно жестком закреплении заготовки. Обработанные отверстия имеют ярко выраженную трехгранную форму, по которой видно, что за один оборот сверла заготовка трижды меняла свое положение.

Форма заготовки может внести существенные погрешности в процесс обработки. В настоящее время широко используется термин «технологическая наследственность», который подразумевает перенос на готовое изделие всех погрешностей формы заготовки и даже исходной шероховатости ее поверхности, только в уменьшенном виде.

Большой разброс припуска на обработку при постоянных режимах резания может явиться причиной возникновения погрешностей. Аналогично на процесс обработки влияют и значительные отклонения поверхностной твердости заготовок.

В условиях массового производства заготовки поступают на обработку с предыдущих операций, имея различную температуру. Температурные деформации заготовок могут увеличить погрешность обработки. Особенно это влияние заметно на операциях чистового шлифования и при обработке массивных деталей.

Многие из перечисленных факторов вызывают упругие деформации и смещения элементов системы СПИД из-за зазоров в их соединениях. Для повышения точности обработки необходимо стремиться к стабилизации сил резания, повышению жесткости системы и стараться сохранить неизменным взаимное расположение ее элементов в различных сечениях и направлениях. В настоящее время советскими учеными разработаны специальные устройства, следящие за системой СПИД, реагирующие на все ее изменения и управляющие режимами резания с целью стабилизации взаимного положения ее элементов в процессе обработки. Такие станки называются станками с адаптивными (самоадаптирующимися) системами управления.

#### Контрольные вопросы

1. Что такое слесарная обработка металлов и каковы ее основные цели?
2. Какие вы знаете разновидности слесарной обработки?
3. Какая документация является основной для рабочих механических и слесарных участков?
4. Как распределяются станки по группам классификационной таблицы?
5. Какие существуют классы точности станков?
6. Как классифицируются станки по массе?
7. Какую информацию о станке можно получить из шифра модели станка?
8. Как различаются станки по степени универсальности?
9. Какие виды работ можно выполнять на токарном, фрезерном, сверлильном и расточном станках?

10. Что такое управление качеством?
11. Какие существуют категории качества?
12. Что такое погрешность обработки и сборки?
13. Что такое систематические, случайные и грубые погрешности?
14. Что такое система СПИД?
15. Какие причины вызывают погрешности обработки?
16. Как влияет на точность изготовления каждый из элементов системы СПИД?
17. Каким образом можно уменьшить погрешность обработки?

## 2. ОСНОВЫ ТЕХНИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности называется *метрологией*. Одним из основных разделов этой науки является *законодательная метрология*. Она содержит комплексы взаимосвязанных общих правил, требований и норм, а также другие вопросы, нуждающиеся в регламентации и контроле со стороны государства, направленные на обеспечение единства измерений и единообразия средств измерения. В нашей стране создана сеть государственных и ведомственных органов, называемых *метрологической службой*, деятельность которой направлена на обеспечение единства измерений и единообразия средств измерений в стране.

Обеспечение единства измерений является одним из главных требований, предъявляемых к техническим измерениям. *Единство измерений* — состояние измерений, при котором их результаты выражены в узаконенных единицах и погрешности измерений известны. Эти условия позволяют сопоставить результаты измерений, выполненных различными приборами в разных местах и в разное время. Единство измерений и единообразие средств измерений позволяют обеспечить взаимозаменяемость деталей, изготовленных по одному чертежу в различных условиях. Под *единообразием средств измерений* понимают их состояние, характеризующееся тем, что они проградуированы в узаконенных единицах и их метрологические свойства соответствуют нормам.

### 2.1. Основные понятия

В соответствии с ГОСТ 16263—70 «Метрология. Термины и определения» *измерением* называется нахождение значения физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств. В машино-

строении наиболее часто осуществляют измерения линейных и угловых размеров деталей и изделий, шероховатости и волнистости, отклонений расположения и формы поверхностей. Эти виды измерений в общем виде принято называть линейными и угловыми. Измерения могут быть прямыми и косвенными. *Прямым* называют измерение, при котором искомое значение величины находят непосредственно из опытных данных. Например, измерение длины с помощью линейных мер, штангенциркуля или микрометра. При *косвенном* измерении искомое значение величины находят на основании известной зависимости между этой величиной и величинами, подвергаемыми прямым измерениям. Например, определение угла конуса по диаметрам конуса в двух нормальных сечениях и расстоянию между ними, определение значения угла с помощью синусной линейки и др.

В ряде случаев точность косвенных измерений получается выше, чем прямых.

В каждом конкретном случае для повышения точности измерений применяют соответствующие методы измерений. Под методом измерений понимают совокупность приемов использования принципов и средств измерений. Различают метод непосредственной оценки и метод сравнения с мерой. При измерении *методом непосредственной оценки* значение измеряемой величины определяют непосредственно по отсчетному устройству измерительного прибора прямого действия. Например, измерение диаметра вала штангенциркулем. Применяя этот метод, необходимо помнить, что погрешность градуировки шкалы, износ измерительного механизма, изменение температуры будут влиять на точность измерений.

*Метод сравнения с мерой* заключается в сравнении измеряемой величины с величиной, воспроизводимой мерой. Часто этот метод называют относительным.

В результате измерения определяют количественную характеристику свойства продукции. *Годность* — соответствие количественных характеристик свойства продукции установленным требованиям, определяют в процессе контроля. Применительно к продукции машиностроения контроль можно рассматривать как процесс определения соответствия деталей техническим требованиям и заданному допуску. За результат контроля принимают качественную оценку изделия: «годное», «брак» («брак исправимый», «брак неисправимый»).

В процессе контроля деталей используют дифференцированный (позлементный) и комплексный методы. *Дифференцированный* метод заключается в проверке каждого параметра изделия. Например, контроль резьбовых калибров на микроскопе сводится кazoleментному контролю собственно среднего диаметра, шага и половины угла профиля резьбы. *Комплексный* метод состоит в одновременной проверке суммарной погрешности нескольких параметров. Например, контроль резьбы резьбовыми калибрами. Комплексный метод обладает высокой производительностью, а дифференцированный — возможностью определить причину брака.

По взаимодействию средств измерения с проверяемым объектом все методы подразделяются на *контактные* и *бесконтактные*. Для первых характерен механический контакт измерительных элементов прибора с проверяемым изделием, во втором случае прибор не касается детали.

Технические средства, используемые при измерениях и имеющие нормированные метрологические свойства, называются *средствами измерений*. Они подразделяются на меры, измерительные приборы, установки, системы. *Мера* — это средство измерений, предназначенное для воспроизведения физической величины заданного размера. *Однозначная мера* воспроизводит физическую величину одного размера. Например, плоскопараллельная концевая мера длины. *Многозначная мера* может воспроизводить ряд одноименных величин различного размера. Например, линейка с миллиметровыми делениями.

В практической деятельности чаще используют наборы мер, позволяющие воспроизводить ряд одноименных величин различного размера. Например, наборы плоскопараллельных концевых мер длины, набор угловых мер и др. В зависимости от служебного назначения различают *образцовые* и *рабочие* меры. Первые служат для воспроизведения, хранения единиц измерений и для поверки или градуировки мер и измерительных приборов. Вторые — для выполнения практических измерений.

Измерительные приборы являются средствами измерения, предназначенными для выработки сигнала измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателем. Они подразделяются на аналоговые, цифровые, показывающие, регистрирующие, самопишущие, интегрирующие и др.

По степени универсализации приборы подразделяются на универсальные, предназначенные для измерения одноименных величин различных изделий, и специализированные — для измерения однотипных изделий или однотипных параметров (шероховатость, отклонение формы поверхности и т. д.). По конструкции приборы для линейных измерений делят на штриховые приборы (приборы с нониусом), приборы с микрометрическими винтовыми парами (микрометрические инструменты), рычажные (миниметры), зубчатые (индикаторы часового типа), рычажно-зубчатые (индикаторы), пружинные (микаторы и микрокаторы), рычажно-пружинные (миникаторы), оптико-механические (оптиметры, оптикаторы, измерительные микроскопы и др.), пневматические (ротаметры), электроконтактные, индуктивные, индукционные и т. д.

## 2.2. Метрологические показатели средств измерения

Измерительные приборы состоят из измерительного преобразователя, измерительного механизма и отсчетного устройства, позволяющего определить значение измеряемой величины. В соответствии с ГОСТ 16263—70 различают первичный, промежуточный, передающий и масштабный измерительные преобразователи. *Первичным* называется преобразователь, к которому подведена измеряемая величина и который занимает первое место в измерительной цепи. После первичного находится *промежуточный* преобразователь. *Передающий преобразователь* предназначен для дистанционной передачи сигнала измерительной информации. *Масштабные преобразователи* служат только для изменения величины сигнала в заданное число раз, не преобразуя одну физическую величину в другую.

Отсчетное устройство показывающего прибора может иметь шкалу и указатель, выполненный в виде стрелки, светового луча и т. д. В настоящее время широкое применение получают отсчетные устройства с цифровой индикацией.

*Шкала* — часть отсчетного устройства, представляющая собой совокупность отметок и проставленных у некоторых из них чисел отсчета или других символов, соответствующих ряду последовательных значений величины. Промежуток между двумя соседними отметками шкалы называется *делением шкалы*.

К основным метрологическим показателям измерительных приборов относятся: *цена деления шкалы* — разность значений величины, соответствующих двум соседним отметкам шкалы; *длина деления шкалы* — расстояние между осями (или центрами) двух соседних отметок шкалы, измеренное вдоль воображаемой линии, проходящей через середины самых коротких отметок шкалы; *начальное и конечное значения шкалы* — наименьшее и наибольшее значения измеряемой величины, указанные на шкале; *диапазон показаний* — область значений шкалы, ограниченная конечным и начальным значениями шкалы; *диапазон измерений* — область значений измеряемой величины, для которой нормированы допускаемые погрешности средства измерения; *предел измерений* — наибольшее или наименьшее значение диапазона измерений; *передаточное отношение* — отношение изменения сигнала на выходе измерительного прибора к вызывающему его изменению измеряемой величины (этот термин относится к приборам для линейных измерений, для остальных — вместо «передаточное отношение» применяют термин «чувствительность измерительного прибора»). Передаточное отношение можно определить как частное при делении длины деления на цену деления шкалы; *измерительное усилие* — сила, создаваемая прибором при контакте с изделием и действующая по линии измерения; *абсолютная погрешность измерительного прибора* — разность между показаниями прибора и истинным значением измеряемой величины (так как истинное значение величины неизвестно, вместо него пользуются действительным значением); *приведенная погрешность измерительного прибора* — отношение абсолютной погрешности прибора к нормирующему значению, за которое принимают значение, равное верхнему пределу измерений, диапазону измерений, диапазону показаний и др.; *основная погрешность* — погрешность средств измерений, используемых при нормальных условиях (температура 20 °С, атмосферное давление 101 324,72 Па, или, что то же, 760 мм рт. ст., относительная влажность 58 %); *класс точности средства измерений* — обобщенная характеристика средств измерений, определяемая пределами допускаемых основных и дополнительных погрешностей, а также другими свойствами средств измерений, влияющими на точность, значения которых устанавливаются в стандартах на отдельные виды средств измерений.

### 2.3. Погрешности измерений и их оценка

Погрешность измерения, так же как и погрешность обработки, возникает вследствие суммарного действия элементарных погрешностей, вызываемых различными причинами. *Инструментальная погрешность измерения* — составляющая погрешности измерения, зависящая от погрешностей применяемых средств измерений. Причиной возникновения этого вида погрешности могут служить ошибки, допущенные при изготовлении или калибровке прибора, вызванные несовершенством его принципиальной схемы или механизма и др. *Погрешность отсчитывания* возникает из-за недостаточно точного отсчитывания показаний средств измерений. *Погрешность от параллакса* возникает вследствие изменения условий наблюдения указателя, расположенного на некотором расстоянии от поверхности шкалы. Погрешность параллакса пропорциональна расстоянию указателя от шкалы и отклонению линии зрения от нормали к поверхности шкалы. В соответствии с обозначениями, принятыми на рис. 1, погрешность параллакса будет равна  $\Delta_n = htg\varphi$ . *Погрешность от перекоса* возникает при нарушении принципа Аббе, который заключается в том, что при конструировании измерительных средств шкалы следует располагать последовательно на одной прямой с измеряемыми размерами, т. е. линия измерения должна являться продолжением линии шкалы. На рис. 2 изображен штангенциркуль с перекошенной рамкой, вследствие чего расстояние между измерительными губками неодинаково по длине. Так, при установке штангенциркуля на размер  $a$  расстояния между губками штангенциркуля вследствие перекоса рамки получаются равными  $b$  и  $c$ . В зависимости от направления перекоса эти размеры могут быть больше или меньше  $a$ . Возникающая при этом погрешность может быть рассчитана по формуле  $\Delta_A = c - a = l\varphi$ . При выполнении принципа Аббе  $l = 0$  и  $\Delta_A$  тоже равна нулю.

*Изменение показаний измерительного прибора под воздействием влияющей величины* возникает при отклонениях от нормальных условий измерения. Например, при отклонении температуры от нормального значения  $20^\circ\text{C}$  происходит изменение длины деталей измерительных средств и проверяемых изделий, причем вследствие разности коэффициентов линейного расширения материалов деталей измерительных средств и изделий эти изменения

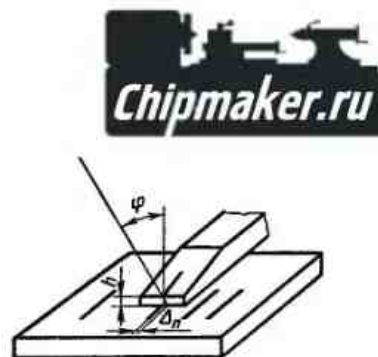


Рис. 1. Явление параллакса при отсчете

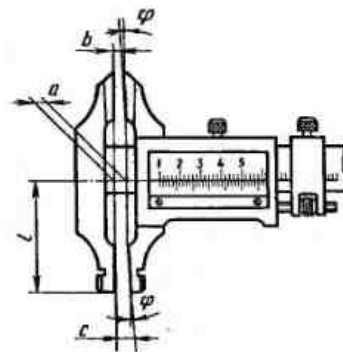


Рис. 2. Появление погрешностей при нарушении принципа Аббе

неодинаковы. Температурная погрешность подсчитывается по формуле  $\Delta_T = L[\alpha_1(t_1 - 20) - \alpha_2(t_2 - 20)]$ , где  $\Delta_T$  — температурная погрешность измерения;  $L$  — измеряемый размер;  $\alpha_1, \alpha_2$  — соответственно коэффициенты линейного расширения материалов деталей измерительного средства и изделия;  $t_1, t_2$  — температура измерительного средства и изделия.

Уменьшение температурных погрешностей возможно вследствие проведения измерений при температуре, близкой к нормальной, выравнивания температуры проверяемого изделия и прибора, внесения поправки, равной температурной погрешности, в результаты измерения.

*Погрешности измерений от измерительного усилия* могут возникать из-за контактных деформаций поверхностей в местах соприкосновения измерительного средства (измерительного наконечника) и изделия; деформации изделия (тонкостенные детали); упругих деформаций стойки или штатива. Если при измерении тонкостенных и легкодеформируемых изделий настройку прибора производить по конечным мерам длины, то погрешность измерений от измерительного усилия может достигать существенных значений. Для ее уменьшения необходимо в результаты измерений вносить поправку, определенную предварительно опытным путем, либо настраивать прибор по образцовой детали. В этом случае деформации при настройке прибора и последующих измерениях будут одинаковы и компенсируются.

*Ошибки объекта* возникают из-за отклонений контролируемой поверхности от правильной геометрической

формы, шероховатости поверхности, изменения формы и размеров детали в результате старения материала и т. д.

**Погрешности метода измерения** возникают вследствие несовершенства выбранного метода измерений. Эта составляющая присуща практически всем методам.

**Абсолютная погрешность прибора** выявляется при измерении прибором объекта с заранее известным размером (меры, образцовой детали и т. д.), погрешностью которого пренебрегают. Разность между показаниями прибора и размером объекта будет определять абсолютную погрешность прибора.

Возникающие при измерениях систематические погрешности (так же как и при изготовлении) могут быть выявлены и исключены из результатов измерения введением соответствующих поправок или устранены регулировкой прибора.

Для оценки случайных погрешностей необходимо знать закономерности их появления. Существуют законы, связывающие случайные погрешности и вероятность их появления при изготовлении и измерении деталей. Эти законы называются законами распределения случайных величин. В машиностроении наиболее часто возникновение и распределение случайных погрешностей происходит по закону нормального распределения или (как его часто называют) по закону Гаусса. Этому закону подчиняются случайные величины, появление которых зависит от большого количества причин, ни одна из которых не имеет решающего значения и играет малую роль в общей совокупности.

**Пример.** При измерении партии валиков (360 шт), изготовленных на станке-автомате, было выявлено, что наибольший размер составил 41,923, а наименьший — 41,897. Зона рассеивания размеров составила 26 мкм. Выясним, как распределились в этой партии валики по размерам. Для этого возьмем 13 одинаковых по ширине ящиков и будем складывать в них детали. В первый ящик будем класть детали, имеющие размеры от 41,897 до 41,899; во второй — свыше 41,899 до 41,901 и т. д.; т. е. средний размер деталей в каждом ящике будет отличаться от предыдущего на 2 мкм. Результаты сортировки сведем в таблицу.

Средний размер деталей в партии из 360 шт. будет 41,910 мм. Полученные результаты измерений изображаются графически (рис. 3). Для этого применяют следующие обозначения прямоугольных координат.

На вертикальной оси  $Y$  в масштабе откладывают количество деталей  $N$  в ящиках, а на горизонтальной оси

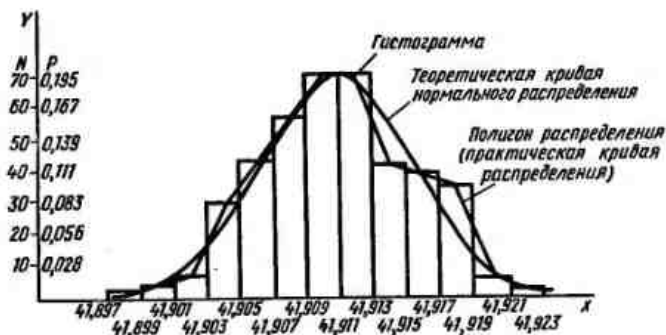


Рис. 3. Построение кривых распределений

$X$  — размеры деталей в каждом ящике. В масштабе примем ширину ящиков равной интервалу размеров, а высота ящика будет зависеть от количества деталей, помещенных в него. В первом приближении этот график дает представление о распределении размеров. Для того, чтобы от этого графика перейти к закону распределения, с правой стороны вертикальной оси проставим вероятность  $P$  появления в партии полученных при измерении размеров. За вероятность принимают число, характеризующее степень возможности появления события (размера). Вероятность можно определить как отношение числа интересующих нас событий (деталей, размеров) к общему числу событий (деталей, размеров). Для примера определим вероятность появления в этой партии деталей с размерами 41,899—41,901 мм. Таких деталей в партии оказалось 3 шт., т. е. нас интересует вероятность появления трех таких деталей в партии из 360 деталей. Вероятность  $P = 3/360 = 1/120 = 0,008$ . Максимальное значение вероятности может быть равно 1 (вероятность достоверного события), минимальное — равно нулю (вероятность невозможного события). Вероятность может определяться в процентах и принимать значения от 100% до нуля.

С учетом проставленных значений вероятности график называется *гистограммой*. Вся площадь, занятая проекциями ящиков, обозначает 100% вероятности появления в ее границах размеров от 41,897 до 41,923 мм, а площадь проекции каждого ящика соответствует вероятности появления деталей с размерами, обозначенными на ящике. Если на каждом из ящиков проведем осевую линию, соответствующую среднему значению разме-

ров деталей в ящике, и соединим точки пересечения осевых с верхними границами, получим ломаную линию, называемую *полигоном*. Если бы мы могли уменьшить до бесконечности интервалы размеров в ящиках, увеличивая их число, а потом проделали те же самые операции, то полигон принял бы форму плавной холмообразной кривой, называемой *кривой нормального распределения*, которая изображает плотность распределения.

Внешний вид кривой нормального распределения дает возможность сделать некоторые выводы о закономерностях случайных величин (погрешностей, размеров).

1. Вероятности появления относительно среднего значения случайной величины одинаковых по величине погрешностей, но имеющих разные знаки («+» и «-»), равны.

2. Чем больше погрешность изготовления или измерения, тем меньше вероятность ее появления. Это подтверждается тем, что большая часть деталей имеет размеры, близкие к среднему значению, и чем больше погрешность измерения (изготовления), тем меньше деталей лежит в ящиках.

3. В связи с тем что вероятности появления плюсовых и минусовых погрешностей равны, при увеличении числа измерений одной и той же случайной величины среднее арифметическое значение погрешностей будет стремиться к нулю. Благодаря этому можно уменьшить влияние случайной погрешности на результаты измерений.

Систематическая погрешность при этом остается постоянной при всех измерениях. Для того чтобы при многократных измерениях уменьшить или исключить систематическую погрешность, необходимо создать такие условия, при которых она стала бы случайной. Для этого измеряют один и тот же размер не одним прибором, а несколькими, причем количество измерений каждым прибором одинаково. В этом случае систематическая погрешность одного прибора превращается в случайную погрешность процесса измерения и среднее значение полученных результатов соответствует размеру с уменьшенной систематической и случайной погрешностью.

Для оценки степени уменьшения случайной погрешности при многократных измерениях пользуются выражением  $\sqrt{N}$ , где  $N$  — число измерений. При измерении одной и той же величины четыре раза влияние погрешности на результаты измерения уменьшится в два раза, а при 16 измерениях — в четыре.

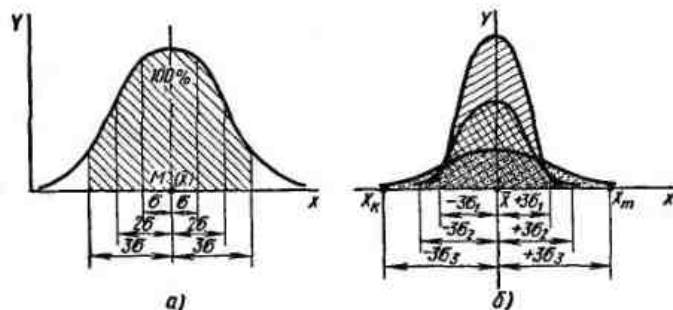


Рис. 4. Кривые распределения по нормальному закону

Важнейшей характеристикой случайной величины, оценивающей ее среднее значение, является координата вертикальной линии, относительно которой группируются (рассеиваются) возможные значения случайной величины. В теории вероятности значение центра группирования (рассеивания) называют математическим ожиданием  $M$  (рис. 4, а).

Математическое ожидание приблизительно равно среднему значению случайной величины и определяется как сумма произведений значений случайной величины на вероятность их появления.

Второй важной характеристикой, указывающей на степень разброса случайной величины относительно ее среднего значения, является среднее квадратическое отклонение, обозначаемое греческой буквой  $\sigma$  (сигма). Чем больше значение  $\sigma$ , тем кривая распределения становится более пологой, т. е. увеличивается вероятность появления больших погрешностей. С уменьшением  $\sigma$  кривая сжимается, вытягиваясь вверх, при этом уменьшается вероятность появления больших отклонений от среднего значения (рис. 4, б). Практический диапазон рассеивания обычно принимают равным  $\pm 3\sigma$  или  $6\sigma$ .

Как уже отмечалось, вся площадь, ограниченная кривой, показывает 100% вероятности получения размеров в интервале от  $x_k$  до  $x_m$ , но более точно вероятность получения размеров, имеющих разброс  $\pm \sigma$ , будет равна 35%;  $\pm 2\sigma$  — 94,5%;  $\pm 3\sigma$  — 99,73%, т. е. в последнем случае 0,27% размеров ( $\pm 0,135\%$ ) лежат за пределами, установленными границами поля рассеивания, или, другими словами, примерно в одном случае из 400 случай-

ная погрешность измерения может быть больше предельного значения.

На рис. 4, б показаны три различных кривых распределения с разными значениями  $\sigma$ . При этом границы рассеивания выбирают таким образом, чтобы площади, ограниченные кривыми, были равны.

Все вышесказанное справедливо только для закона нормального распределения. Распределение случайных величин может подчиняться и другим законам: закону равной вероятности, закону равнобедренного треугольника (Симпсона), закону равного возрастания, закону Релля и др. Поэтому, прежде чем переходить к числовым оценкам погрешностей, необходимо выяснить закон их распределения. На практике закон распределения определяют опытным путем так же как мы строили график, изображенный на рис. 3.

#### 2.4. Выбор средств измерения

Применяемые средства измерения должны в первую очередь обеспечивать требуемые производительность и точность измерений. Кроме этого, при выборе средств измерения необходимо учитывать влияние таких факторов, как организационная форма контроля, программа выпуска, особенности конструкции деталей, точность их изготовления, экономические показатели и др. Выбору средств измерения предшествует определение допустимой погрешности измерения и приемочных границ, т. е. предельных значений размеров деталей, по которым будет производиться их приемка.

Допускаемая погрешность измерения может быть найдена по таблицам ГОСТ 8.051–81 «Погрешности, допускаемые при измерении линейных размеров до 500 мм». Стандарт устанавливает 15 рядов пределов допускаемых погрешностей измерения для каждого интервала номинальных размеров в зависимости от допуска на размер изделия. Погрешность измерения составляет примерно 20% допуска на изготовление по 16–9-му уровням и 35% допуска по 9–2-му уровням.

В случае назначения нестандартного допуска на размер детали допускаемую погрешность принимают по ближайшему (меньшему) значению стандартного допуска.

Допускаемая погрешность измерения не зависит от вида измерительных средств и выбранного метода изме-

Номер ящика	Интервалы размеров, мм		Средний размер деталей в ящике, мм	Количество деталей в ящике, шт.	Отклонение от среднего размера деталей партии, мкм
	свыше	до (включительно)			
1	41,897	41,899	41,898	1	-12
2	41,899	41,901	41,900	3	-10
3	41,901	41,903	41,902	6	-8
4	41,903	41,905	41,904	27	-6
5	41,905	41,907	41,906	35	-4
6	41,907	41,909	41,908	48	-2
7	41,909	41,911	41,910	68	0
8	41,911	41,913	41,912	68	2
9	41,913	41,915	41,914	35	4
10	41,915	41,917	41,916	34	6
11	41,917	41,919	41,918	27	8
12	41,919	41,921	41,920	5	10
13	41,921	41,923	41,922	3	12
Сумма				360	0

рения. Однако на практике при измерении автоматическими и полуавтоматическими средствами деталей, изготовленных грубее 4-го качества, принимают допускаемую погрешность на один ряд меньше, указанной в стандарте. Допускаемая погрешность измерения является наибольшей возможной погрешностью измерения с учетом суммарного влияния на результат измерения систематических и случайных погрешностей.

Значение размера, полученного с допускаемой погрешностью по ГОСТ 8.051–81, принимают за действительный размер.

В зависимости от характера производства (массового, крупносерийного, серийного и т. п.) выбирают те средства измерения, применение которых экономически целесообразно и обеспечивает требуемую производительность. Обычно степень механизации средств и процессов измерения зависит от программы выпуска контролируемых изделий. В массовом производстве широко применяют специальные и специализированные контрольно-измерительные приспособления, автоматы и полуавтоматы. В единичном (опытном) производстве используют в основном универсальные измерительные приборы и измерительный инструмент. Планируется широкое применение в контрольных операциях роботов, управляемых от ЭВМ.

Конструкция детали, ее габарит и вес в значительной



мере влияют на выбор средств измерения. Так, при контроле тяжелых деталей пользуются переносными приборами, а легкие детали измеряют на стационарных. Малая жесткость детали ограничивает значение измерительного усилия, а подчас требует применения бесконтактных средств измерения. Например, диаметры тонкостенных, легкодеформируемых втулок проверяют пневматическими пробками и скобами.

Выбранные измерительные средства указывают в картах технологического процесса механообработки, сборки, технического контроля или в другой технологической документации.

### Контрольные вопросы

1. Что такое метрология?
2. Что такое технические измерения?
3. В чем разница между измерением и контролем?
4. Какие существуют методы измерения?
5. Что такое мера и какие существуют ее разновидности?
6. Перечислите основные метрологические характеристики средств измерения.
7. Какие существуют погрешности измерений?
8. Какие причины вызывают появление погрешностей при измерениях?
9. Что такое вероятность события?
10. Что такое закон распределения случайных величин?
11. Что такое закон нормального распределения и какие закономерности он раскрывает?
12. Каким образом можно уменьшить или даже исключить систематические погрешности измерения?
13. Какие основные числовые характеристики случайных величин вы знаете?
14. О чем говорит среднее квадратическое отклонение случайной величины и как она связана с диапазоном рассеивания?
15. Какие факторы следует учитывать при выборе средств измерения?
16. Что такое допустимая погрешность измерения и как ее определить по нормативным документам?

## 3. КОНТРОЛЬ ЛИНЕЙНЫХ РАЗМЕРОВ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ И СЛЕСАРНЫХ РАБОТАХ

Наиболее часто при изготовлении деталей на металлорежущих станках или при слесарной обработке рабочему приходится контролировать линейные размеры. Из большого разнообразия измерительных приборов значительная их часть предназначена именно для этих операций. Ознакомившись с некоторыми положениями метро-

логии, в частности с видами средств измерений, с методами измерений, с метрологическими характеристиками и т. д., можно приступать к измерению конкретной детали. Но для того чтобы правильно пользоваться инструментом и приборами, а также знать, какие другие размеры и какими приемами можно измерить теми же приборами, какой из них более удобен и прост, и не испытывать затруднений в выборе средств измерений, необходимо ознакомиться с принципом их действия и конструкцией.

### 3.1. Штриховые меры длины

Для измерений методом непосредственной оценки широко применяют приборы, дающие возможность по своим показаниям определить полное значение измеряемой величины. Отличительным признаком их является наличие штриховых шкал. К таким приборам относятся штриховые меры длины: брусковые меры длины, линейки и рулетки.

Брусковые штриховые меры (ГОСТ 12069—78) применяют в качестве шкал приборов и станков, а также как образцовые меры длины при поверке приборов. Их широко используют при проверке перемещений исполнительных звеньев станков.

Измерительные линейки являются рабочими штриховыми мерами. Их изготавливают с одной или двумя шкалами с верхними пределами измерений 150, 300, 500 и 1000 мм с ценой деления 0,5 или 1,0 мм. Иногда линейки с ценой деления 1 мм имеют на длине 50 мм от начала шкалы полумиллиметровые деления.

Линейки изготавливают из стальной пружинной ленты с полированной поверхностью. Они имеют декоративное хромоное покрытие, предохраняющее их от коррозии. Погрешность нанесения штрихов на любом участке линейки в пределах 300 мм не должна превышать  $\pm 0,1$  мм; на длине свыше 300 до 500 мм  $\pm 0,15$  мм и свыше 500 до 1000 мм  $\pm 0,2$  мм.

Рулетки выпускают с длиной шкалы 2,5; 10; 20; 30 и 50 м, с ценой деления 1 и 10 мм. Самосвертывающиеся или желобчатые рулетки имеют длину 1 и 2 м при цене деления 1 мм. Шкала рулеток может начинаться от конца ленты и может быть удалена от него на расстояние не менее 100 мм.

Измерительные линейки и рулетки предназначены для измерения размеров с допусками по 14–17-му классам (7–10-й классы точности системы ОСТ).

Штриховые меры могут воспроизводить как одно значение единицы длины, так и ряд ее значений, либо ее дольные и кратные значения в определенном диапазоне. В зависимости от этого штриховые меры делятся на меры с постоянным и переменным значениями. Последние более удобны и поэтому применяются гораздо чаще. По назначению штриховые меры длины подразделяют на образцовые и рабочие. С помощью образцовых производят поверку средств измерений на рабочих местах.

### 3.2. Плоскопараллельные концевые меры длины

Плоскопараллельная концевая мера длины служит для воспроизведения одного значения единицы длины. По назначению такие меры могут быть образцовыми и рабочими. Образцовые меры служат для передачи размеров с эталона длины на изделие. Ими пользуются при поверке и градуировке мер, измерительных приборов и инструментов, для оценки размеров рабочих и контрольных калибров. Рабочие меры используют для измерений при изготовлении инструментов, приспособлений и штампов, а также при проведении особо точных разметочных работ, сборке и наладке станков и т. п.

Концевые меры длины изготавливают с номинальными размерами от 0,1 до 1000 мм и поставляют в специальных деревянных футлярах в виде наборов.

Применяемые в машиностроении концевые меры чаще всего представляют собой стальные параллелепипеды или цилиндрические стержни, имеющие две параллельные рабочие измерительные поверхности (рис. 5, а, б). За длину концевой меры (в любой точке) принимают длину перпендикуляра, опущенного из данной точки измерительной поверхности меры на ее противоположную измерительную поверхность. Для определения погрешности концевой меры (рабочей) ее измеряют на приборе с ценой деления не более 0,001 мм в пяти точках (по углам и в середине). Из пяти полученных значений выбирают наибольшее и разницу между ним и номинальным значением размера, указанного на нерабочей стороне, принимают как погрешность длины меры. После этого из пяти полученных измерением размеров выбирают два, дающих наибольшую разность. Эту макси-

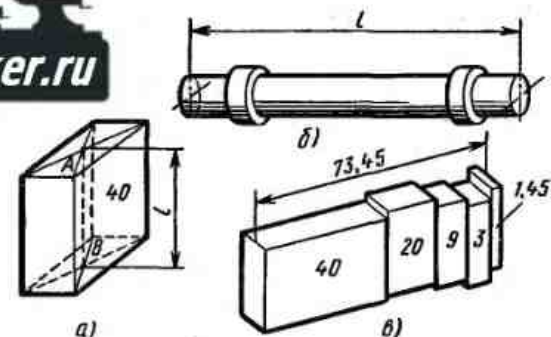


Рис. 5. Плоскопараллельные концевые меры длины

мальную разность принимают как отклонение от плоскопараллельности рабочих поверхностей концевой меры.

Концевые меры длины изготавливают из высококачественной стали или из твердого сплава с высоким качеством отделки рабочих поверхностей. Эти поверхности настолько «чисты», что обеспечивают притираемость, т. е. способность прочно сцепляться друг с другом при наложении и надвигании одной меры на другую. Усилие сцепления мер составляет 50–70 Н. Рабочие поверхности обладают большой износостойкостью.

Из отдельных мер можно составить множество блоков (рис. 5, б), отличающихся друг от друга, например, на 0,001 мм. При составлении блока требуемого размера необходимо стремиться, чтобы он состоял из минимального числа мер (не более 4–5). Для этого при подборе концевых мер необходимо, чтобы первая мера содержала последний или два последних знака размера, вторая мера – последние знаки остатка и т. д. После подбора мер по размерам приступают к сборке блока. Для этого предварительно обезжиренные рабочие поверхности прижимают и смещают друг относительно друга. Сборку начинают с наименьшей меры, притирая к ней следующую по величине, и т. д. Стороны мер, где нанесены их номинальные размеры, должны быть обращены наружу.

В зависимости от точности изготовления отечественная промышленность выпускает меры четырех классов: 0, 1, 2, 3. Для мер, находящихся в эксплуатации, предусмотрены еще два класса: 4 и 5. Класс набора определяется по классу худшей меры, входящей в набор. В за-

висимости от погрешности аттестации (измерения длины меры) и отклонения от плоскопараллельности их рабочих поверхностей меры разделяют на пять разрядов: 1, 2, 3, 4 и 5.

Концевые меры часто применяют совместно со специальными принадлежностями: боковиками, державками, основанием, лекальной линейкой. Принадлежности предназначены для закрепления набранных в блоки концевых мер и поставляются в специальных футлярах наборами: измерительный малый, включающий две державки для крепления концевых мер и блоков длиной от 0 до 80 и от 60 до 160 мм и три пары радиусных боковиков высотой 2, 5 и 10 мм; измерительный полный, в который дополнительно включены державка для блоков 160—320 мм, два радиусных боковика высотой 15 мм, два плоскопараллельных боковика и трехгранная линейка длиной 200 мм; разметочный, включающий основание, центровой и чертильный боковики; специальный, предназначенный для мер с отверстиями и состоящий из пяти стяжек и двух сухарей.

Применение принадлежностей для контроля наружных и внутренних размеров особенно удобно и рационально при изготовлении деталей и изделий высокой точности в условиях мелкосерийного производства. В этом случае с помощью принадлежностей меры могут набираться по предельным размерам изделия и ими можно пользоваться как двусторонними предельными калибрами с проходной и непроходной сторонами.

Принадлежности к плоскопараллельным концевым мерам длины находят широкое применение в измерительной практике. Ими пользуются для настройки на размер и для поверки различных измерительных приборов (например, индикаторных и микрометрических нутромеров).

Дополнительный разметочный набор совместно с державками и разметочными боковиками применяют при особо точных разметочных работах.

### 3.3. Предельные и нормальные калибры

*Калибрами* называют бесшкальные меры, которые предназначены для контроля размеров, формы и расположения поверхностей деталей. Калибры бывают нормальные и предельные.

Нормальными называют калибры, размеры которых

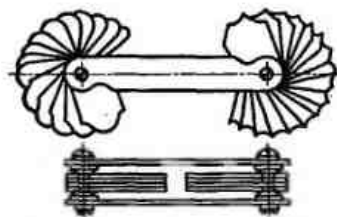


Рис. 6. Радиусные шаблоны

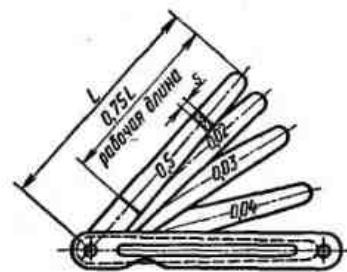


Рис. 7. Щупы

соответствуют номинальным размерам контролируемых изделий.

Предельные калибры обычно имеют два рабочих размера: один соответствует наибольшему предельному размеру, а другой — наименьшему предельному размеру. Один из указанных размеров называется «проходным» и обозначается буквами ПР, другой «непроходным», обозначается буквами НЕ.

В настоящее время предельные калибры получили более широкое применение, тем не менее некоторые виды нормальных калибров еще успешно используют в машиностроении. Это, в первую очередь, шаблоны, щупы и конусные калибры.

Шаблоны применяют для проверки правильности формы и расположения поверхностей при изготовлении сложных деталей. Контроль осуществляют по просвету между контурами шаблона и детали («на просвет»), либо по краске.

Для проверки радиусов кривизны поверхностей широко применяют радиусные шаблоны (рис. 6). Их выпускают в виде наборов, которые позволяют контролировать «на просвет» радиусы выпуклых и вогнутых поверхностей от 1 до 25 мм.

Достаточно распространенным инструментом являются щупы, которые представляют собой набор пластин определенной толщины (рис. 7). Щупы являются нормальными калибрами для проверки зазоров между поверхностями. Щупы выпускают двух классов точности (1-го и 2-го по ГОСТ 882—75), с номинальными размерами 0,02—1 мм, с градацией через 0,01 и 0,05 мм и двух исполнений по длине (100 и 200 мм). Щупы длиной 100 мм могут быть в виде отдельных пластин и в виде

наборов. При длине 200 мм щупы выпускают только в виде отдельных пластин.

При измерении рабочий вводит в зазор один или несколько щупов, наложенных друг на друга. По тому, как ведет себя щуп (не входит, проваливается, перемещается свободно), рабочий меняет щуп или толщину пакета щупов. Размер щупа (щупов) будет равен зазору, когда он (они) не начнет перемещаться в щели под небольшим усилием.

В случаях, когда требуется установить определенный зазор между деталями (при регулировках и настройках), их перемещают так, чтобы щуп без зазора размещался между ними. После этого детали закрепляют. Проверка или установка зазора с помощью щупа требует от слесаря высокой квалификации и не всегда обеспечивает требуемую точность.

Предельными калибрами контролируют гладкие цилиндрические, конусные поверхности, резьбовые и шлицевые соединения, высоты выступов и глубины впадин. Предельные калибры позволяют установить, находится ли проверяемый размер в границах допуска. Как правило, при изготовлении сопрягаемых по стандартной посадке деталей такой контроль гарантирует качество соединения.

По назначению калибры делят на две основные группы: рабочие (проходные Р — ПР и непроходные Р — НЕ) и контрольные калибры (К — РП; К — НЕ; К — И). Годность детали проверяют последовательным сопряжением проходного и непроходного калибров с деталью.

Предельные калибры особенно часто применяют для контроля цилиндрических валов и отверстий. Валы контролируют калибрами-скобами, а отверстия — калибрами-пробками. Конструкции калибров-пробок показаны на рис. 8.

Двусторонние пробки со вставками из проволоки применяют для контроля отверстий диаметром 1—3 мм (рис. 8, а), двусторонние пробки, имеющие вставки с коническими хвостовиками (рис. 8, б), для контроля отверстий диаметром 1—50 мм. В последнем случае длина проходного калибра больше, чем непроходного. Для этих же размеров иногда применяют односторонние пробки, у которых проходной и непроходной калибры расположены по одну сторону рукоятки. Однако такие пробки применяют (и изготавливают) редко, так как ими

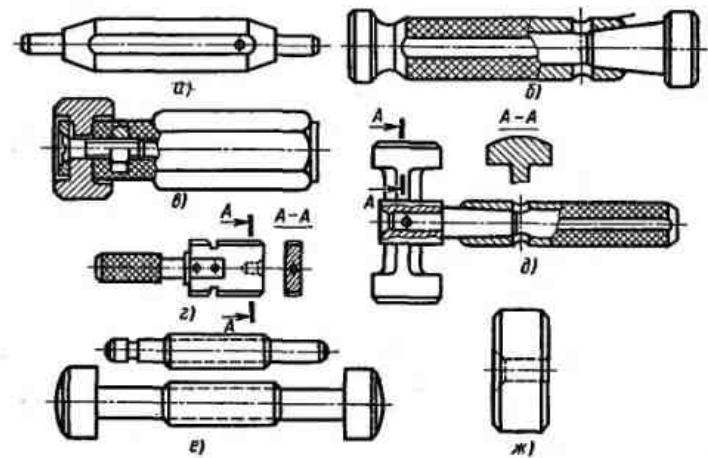


Рис. 8. Калибры-пробки для контроля отверстий

нельзя контролировать неглубокие глухие и длинные сквозные отверстия. Кроме этого, односторонние пробки сложнее в изготовлении, нежели двусторонние. Для контроля отверстий диаметром 30—100 мм применяют двусторонние пробки с насадками (рис. 8, в). Они имеют полный профиль. Пользование такими калибрами при контроле отверстий диаметром более 50 мм затруднительно из-за их большого веса. Поэтому для контроля отверстий больших диаметров чаще используют пробки с неполным профилем. Их изготавливают одно- и двусторонними из листовых заготовок для диаметров 30—50 мм (рис. 8, г) и односторонними (рис. 8, д) для диаметров от 50 до 300 мм. Контроль отверстий диаметром от 250 до 1000 мм осуществляют предельными нутромерами или штихмассами (рис. 8, е). У нутромеров измерительные поверхности выполнены цилиндрическими, а у штихмассов — сферическими. Штихмассы и нутромеры применяют в виде комплектов, состоящих из двух калибров: проходного и непроходного.

Для контроля калибров-скоб применяют контрольные калибры, представляющие собой шайбы с наружной рабочей измерительной поверхностью (рис. 8, ж). Контроль калибров-скоб при их изготовлении осуществляют с помощью контркалибров К — РП и К — НЕ, являющихся соответственно проходными и непроходными.

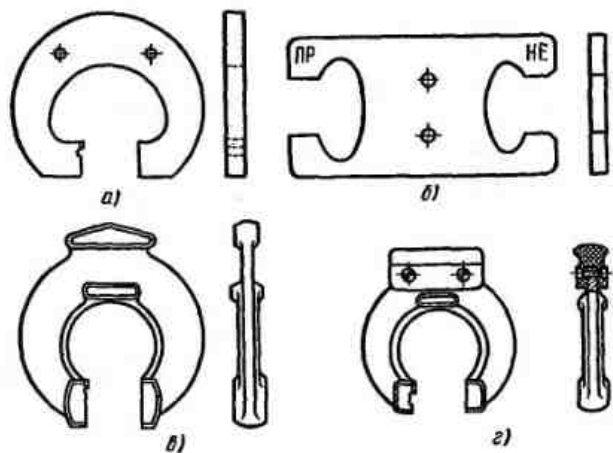


Рис. 9. Калибры-скобы для контроля валов

Контркалибры К – И являются непроходными и служат для контроля степени износа калибров-скоб.

Калибры-скобы для контроля валов имеют различные конструкции (рис. 9). Скобы изготовляют одно- и двусторонними из листовых заготовок (рис. 9, а, б) – для контроля валов диаметром от 1 до 500 мм или штампованными (рис. 9, в) – для контроля валов диаметром от 3 до 100 мм. Последние, имея повышенную жесткость и более широкую рабочую измерительную поверхность, обладают повышенной долговечностью. Штампованные односторонние скобы могут выполняться с рукояткой (рис. 9, г).

Кроме жестких калибров промышленность выпускает регулируемые калибры-пробки и скобы, которые можно с помощью концевых мер настраивать на требуемый размер. Эти калибры применяют при ремонте или в мелкосерийном производстве.

Помимо рабочих и контрольных калибров на ряде предприятий применяют калибры контролеров и приемные калибры. Калибрами контролеров называют калибры, которыми пользуются работники ОТК завода, а приемными – калибры, используемые заказчиком при приемке готовой продукции. Те и другие калибры специально не изготовляют, а пользуются для этих целей частично изношенными рабочими проходными калибрами и новыми рабочими непроходными. Это делается для

того, чтобы повысить гарантию качества изделий и не забраковать при контроле и приемке годные детали.

Все инструкции по контролю калибрами предписывают, что изделие считается годным, если проходной калибр проходит, а непроходной не проходит под действием собственного веса. Выполнить эти требования, например, применяя калибры-пробки, можно только в случае контроля деталей с вертикально расположенной осью. Во всех других случаях это требование трудно выполнимо.

Предельные калибры широко используют для контроля не только диаметральных, но и других линейных размеров. Ими проверяют ширину, высоту, глубину и длину различных уступов. Они имеют различную конструкцию, которая зависит от метода контроля. Различают контроль линейных размеров этими калибрами методами «вхождения», «надвигания», «световой щели» (на просвет), «по рискам».

Калибры, работающие по методу вхождения, показаны на рис. 10, а. Их изготовляют из листового материала. Они могут быть одно- и двусторонними. Эти калибры ни конструкцией, ни маркировкой, ни методами контроля не отличаются от описанных выше предельных калибров – скоб и пробок. По тем же стандартам назначают на них предельные размеры и допуски на изготовление и износ. С помощью этих калибров контролируют внутренние и наружные размеры, расстояния между параллельными поверхностями с допусками по 11-му качеству.

Для контроля глубины пазов и высоты уступов мето-

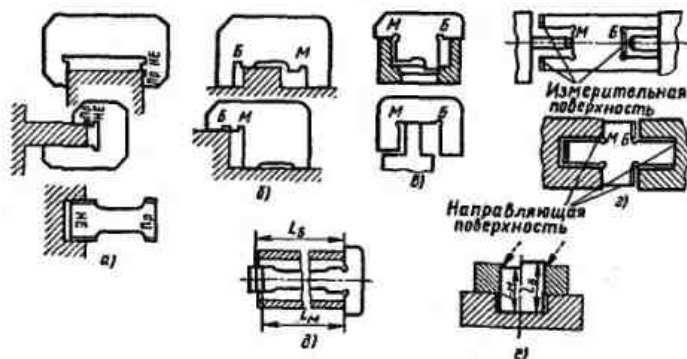


Рис. 10. Калибры для контроля линейных размеров

дом надвигания используют калибры, изображенные на рис. 10, б, в. Эти калибры изготавливают и маркируют в соответствии с требованиями ГОСТ 2534—77. Каждый предельный калибр имеет две ступени — две рабочие стороны. Одна из них соответствует наименьшему предельному размеру детали и обозначается буквой *М*, а вторая — наибольшему и обозначается буквой *Б*. При надвигании калибра на контролируемую деталь большая сторона *Б* должна проходить над уступом, а малая сторона *М* находить на него. В ряде случаев годность детали определяется, наоборот, прохождением над уступом стороны *М* и непрохождением стороны *Б*. Для того чтобы определить, какая из сторон должна проходить над уступом годной детали, необходимо по конструкции калибра определить, к какой схеме измерения по ГОСТ 2534—77 он относится. Стандарт предусматривает три схемы контроля в зависимости от конструкций калибров. Каждый калибр имеет измерительные поверхности, которые проходят или не проходят относительно проверяемых элементов детали. Кроме этого, калибр обязательно имеет направляющие поверхности, которыми (или которой) он опирается на базовые поверхности детали и относительно которых он проверяет высоту уступа или глубину паза.

По первой схеме применяют калибры, у которых износ направляющих поверхностей вызывает уменьшение расстояния от них до измерительных (например, калибры, изображенные на рис. 10, б). В этом случае при контроле годной детали сторона *Б* должна проходить над уступом, а сторона *М* — нет.

По второй схеме применяют калибры, изображенные на рис. 10, в. У этих калибров износ направляющих поверхностей вызывает увеличение расстояния от направляющих до измерительных поверхностей. Годными считают детали, у которых сторона *М* проходит над контролируемой поверхностью, а *Б* — не проходит.

Калибры, изображенные на рис. 10, б, в, широко применяют при контроле уступов плоских деталей, обработанных на металлорежущих станках или вручную. Однако метод недостаточно точен и применяется в основном для размеров с допусками по 11—17-му квалификациям.

Метод контроля «на просвет» осуществляют калибрами, изображенными на рис. 10, г. В этом случае годность изделия определяется по третьей схеме ГОСТ 2534—77. Характеризуется она тем, что при износе направляющей

поверхности размер стороны *Б* увеличивается, а стороны *М* — уменьшается. Годными считаются изделия, при контроле которых сторона *М* прошла над уступом, а *Б* — не прошла. Каждая из сторон калибра (*М* и *Б*) должна иметь одну грань в виде лезвия, а другую — плоскую. Плоская грань уменьшает погрешности контроля, вызываемые неровностями обработанных поверхностей, а острая грань улучшает условия оценки просвета.

Изделие считается годным, если между поверхностью детали и измерительными поверхностями калибра просвет наблюдается последовательно у сторон *М* и *Б*. При этом направляющая поверхность калибра плотно прилегает к базовой поверхности детали.

Методом «на просвет» можно контролировать размеры с допусками 40 мкм у шлифованных деталей и не менее 60 мкм при более грубых методах обработки.

Для контроля длин, имеющих допуск порядка нескольких десятых миллиметра (0,4—0,5 мм), используют метод «рисок» (рис. 10, д). По этому методу деталь считается годной, если контролируемая плоскость находится между рисками. Метод «рисок» применяют достаточно широко при контроле длин проточек, канавок, прорезов.

Для контроля глубин методом «осязания» применяют ступенчато-стержневые калибры (рис. 10, е). Они позволяют определить годность деталей, имеющих допуски размеров 0,01—0,03 мм. Проверку осуществляют на ощупь в местах, указанных на рис. 10, е стрелками. Контролируемый размер считается годным, если плоскость, ограничивающая его, занимает положение между плоскостью *М* и *Б*, т. е. выше нижнего уступа калибра и ниже верхнего.

Кроме предельных калибров (*М* и *Б*) ГОСТ 2534—77 предусматривает приемные калибры, которые имеют маркировку *П* и *Б* и *П*—*М*. Этими калибрами пользуются представители заказчика при приемке готовых изделий. Предельные размеры этих калибров близки соответственно наибольшему и наименьшему предельным размерам изделия. Допустимый износ калибров контролируется контрольными калибрами для каждой из сторон. Они маркируются *К*—*Б* и *К*—*М*.

### 3.4. Штангенциркументы

Для измерений линейных размеров методом непосредственной оценки и для воспроизведения размеров

при разметке деталей служат штангенинструменты, объединяющие под этим названием большую группу измерительных средств: штангенциркули, штангенглубиномеры, штангенрейсмасы, штангензубомеры и т. д. В качестве отчетного устройства в них используется шкала штанги (измерительной линейки) с ценой деления 1 мм, а отчет долей миллиметра по этой шкале производится с помощью нониуса — подвижной вспомогательной шкалы. Нониус имеет небольшое число делений (10—20) по сравнению со шкалой штанги. Первый нулевой штрих нониуса выполняет роль стрелки и позволяет отсчитывать размер в миллиметрах по основной шкале. Если нулевой штрих совпал с каким-либо штрихом основной шкалы, то значение измеряемой величины отсчитывают только по основной шкале. Если же нулевой штрих не совпал ни с одним штрихом основной шкалы штанги, то отчет ведется следующим образом. Отсчитывают число целых миллиметров, пройденных нулевым штрихом, а дробную часть размера добавляют по нониусу в зависимости от того, какое деление нониуса совпадает с одним из штрихов основной шкалы. Так, положению нониуса относительно шкалы штанги (рис. 11, а) будет соответствовать размер 40,7 мм.

Конструкции штангенинструментов достаточно разнообразны и зависят от их назначения. Наиболее распространенным видом штангенинструмента является штангенциркуль. В соответствии с ГОСТ 166—80 отечественная промышленность выпускает несколько видов штангенциркулей. Штангенциркуль ШЦ-I (рис. 11, а) с двусторонним расположением губок для наружных и внутренних измерений и с линейкой для измерения глубин (нониус 0,1 мм, предел измерений от 0 до 125 мм) имеет штангу (линейку) 1 с миллиметровой шкалой. Штанга имеет неподвижные измерительные двусторонние губки с рабочими поверхностями, перпендикулярными штанге. По линейке перемещается рамка 2 со второй парой губок; на рамке имеется стопорный винт 3 для ее фиксации в требуемом положении. На рамке нанесена шкала нониуса 4. Наружные размеры измеряют нижними губками, имеющими плоские рабочие поверхности малой ширины. Верхние губки применяют для измерения внутренних размеров. Линейка-глубиномер 5 предназначена для измерения высоты уступов, глубины глухих отверстий и т. п.

Штангенциркуль ШЦТ-1 подобен штангенциркулю

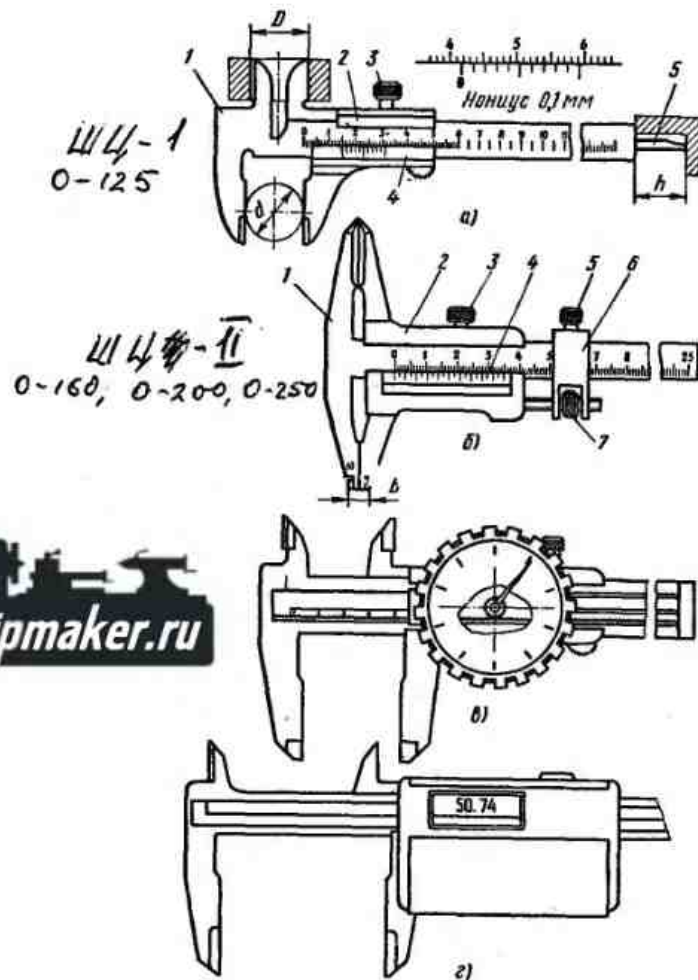


Рис. 11. Штангенциркули

ШЦ-I, но не имеет губок для измерения внутренних размеров. Односторонне расположенные губки оснащены твердым сплавом. Применяется он для наружных измерений и имеет линейку для измерения глубин.

Штангенциркуль ШЦ-II с двусторонним расположением губок (рис. 11, б) предназначен для наружных

и внутренних измерений и для разметочных работ. Состоит из тех же основных деталей, что и ШЦ-I, но имеет специальное устройство 6 для перемещения рамки 2 по штанге 1. Для этого необходимо предварительно зафиксировать устройство 6 стопорным винтом 5, а затем, вращая винт 7, перемещать рамку по штанге. Как правило, подачей пользуются для точной установки размера на штангенциркуле при разметке. Остроконечные губки штангенциркуля ШЦ-II применяют для разметки или измерения наружных размеров в труднодоступных местах. Нижние губки для измерения внутренних размеров имеют цилиндрические рабочие поверхности. Размер губок в сведенном состоянии обычно бывает равен 10 мм и определяет наименьший внутренний размер, который может быть измерен этим штангенциркулем. При внутренних измерениях к отсчету по шкале следует прибавить размер губок, указанный на их боковой стороне. Штангенциркули типа ШЦ-II имеют нониусы с ценой деления 0,1 и 0,05 мм и пределы измерения 0–160, 0–200, 0–250 мм.

Штангенциркуль ШЦ-III в отличие от ШЦ-II не имеет верхних остроконечных губок и устройства для подачи рамки. Он применяется для наружных и внутренних измерений с помощью таких же, как у ШЦ-II, нижних губок. Цена деления нониуса 0,1 мм, пределы измерений от 0 до 2000 мм.

Зарубежной промышленностью выпускаются штангенциркули, в конструкции которых внесены усовершенствования, значительно облегчающие работу контролера и повышающие производительность контроля. Так, инструментальная промышленность ГДР выпускает штангенциркули, имеющие закрепленную на штанге зубчатую рейку, а на подвижной рамке — зубчатое колесо (рис. 11, в) со стрелкой. Длина деления шкалы штанги 10 мм. При перемещении рамки зубчатое колесо поворачивается вместе со стрелкой. По положению стрелки относительно делений круговой шкалы судят о размере. Цена деления круговой шкалы 0,1 мм, а диапазон показаний 10 мм.

Выпускаются также штангенциркули с цифровой индикацией измеряемой величины с ценой деления 0,05 и 0,01 мм (рис. 11, г). У этих приборов на штанге также имеется рейка, связанная с зубчатым колесом, закрепленным на подвижной раме. Зубчатое колесо связано с круговым фотоэлектрическим преобразователем (датчиком). При перемещении подвижной рамки с измери-

тельными губками зубчатое колесо поворачивается и за один оборот выдает из преобразователя 1000 импульсов, регистрируемых на цифровом табло штангенциркуля.

Несмотря на множество типоразмеров, наибольшее распространение получили штангенциркули с пределами измерений 0–125, 0–250, 0–320 мм.

Штангенглубиномеры (рис. 12) предназначены для измерения глубин отверстий, пазов, высоты уступов и т. п. В соответствии с ГОСТ 162–80 выпускаются штангенглубиномеры с ценой деления нониуса 0,05 мм и пределами измерений 0–160, 0–200, 0–250, 0–315, 0–400 мм. По конструкции штангенглубиномер отличается от штангенциркуля отсутствием неподвижных губок на штанге и наличием вместо них на рамке 2 с нониусом 3 траверсы 4, которая является опорой при измерении глубины. Нулевой размер штангенглубиномер показывает при совпадении торцов штанги (линейки) 1 и траверсы (основания) 4.

Штангенрейсмас применяют для разметки, но он может быть использован и для измерения высоты деталей, установленных на плите (рис. 13). По ГОСТ 164–80 штангенрейсмасы имеют цену деления нониуса 0,1 и 0,05 мм и предел измерений до 2500 мм. Они имеют массивное основание 5 для установки на плите. Перпендикулярно основанию расположена штанга 1 с миллиметровой шкалой. Подвижная рамка 2 с нониусом 3 имеет державку 4 для установки специальной измерительной ножки для измерения высоты, либо глубиномера 6, либо разметочной ножки 7.

При разметке вертикальных поверхностей штангенрейсмас с установленным по шкале и нониусу размером (при этом рекомендуется пользоваться микроподачей рамки) перемещается по плите вдоль размечаемой заготовки. Острие разметочной ножки наносит на поверхность заготовки горизонтальную линию.

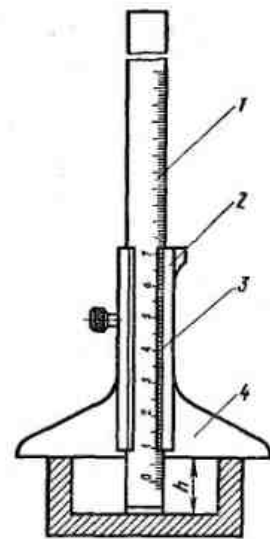


Рис. 12. Штангенглубиномер



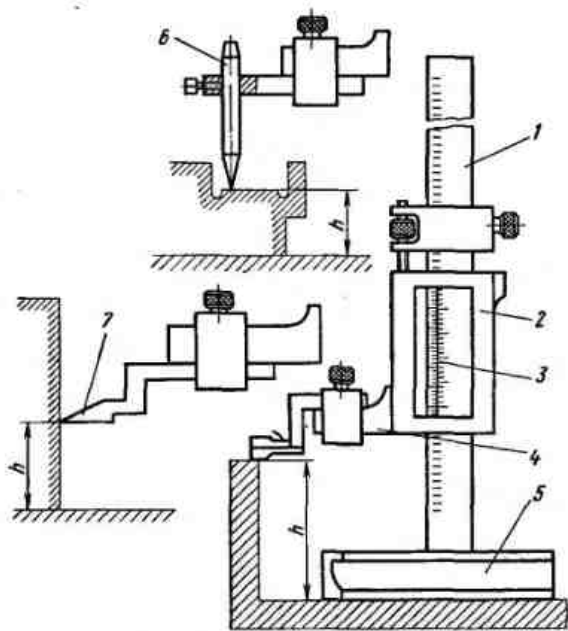


Рис. 13. Штангенрейсмас

В настоящее время зарубежная промышленность выпускает электроиндуктивные штангенрейсмасы с цифровой индикацией измеряемого размера.

### 3.5. Микрометрические инструменты

Микрометрические инструменты являются широко распространенными средствами измерений наружных и внутренних размеров, глубин пазов и отверстий. Микрометрическими инструментами измерения осуществляют методом непосредственной оценки. Принцип действия этих инструментов основан на применении пары винт – гайка, преобразующей вращательное движение микрометрического винта в поступательное перемещение его пятки.

В соответствии с ГОСТ 6507–78 выпускаются следующие типы микрометров: МК – гладкие для измерения наружных размеров; МЛ – листовые с циферблатом для измерения толщины листов и лент; МТ – трубные для измерения толщины стенок труб; МЗ – зубомерные для

измерения длины общей нормали зубчатых колес; МВМ, МВТ, ВМП – микрометры со вставками для измерения различных резьб и деталей из мягких материалов; МР, МВТ, МРИ – микрометры рычажные; МВ, МГ, МН1, МН2 – микрометры настольные.

Кроме перечисленных типов микрометров выпускаются микрометрические нутромеры (ГОСТ 10–75 и ГОСТ 17215–71) и микрометрические глубиномеры (ГОСТ 7470–78 и ГОСТ 15985–70).

Практически все выпускаемые микрометры имеют цену деления 0,01 мм. Исключение составляют микрометры рычажные МР, МРЗ и МРИ, имеющие цену деления 0,002 мм. Пределы измерений микрометров зависят от размеров скобы и составляют 0–25, 25–50, ..., 275–300, 300–400, 400–500 и 500–600 мм.

На рис. 14, а, б показаны конструкция и схема микрометра. В отверстиях скобы 1 запрессованы с одной стороны пятка 2, а с другой – стержень 5 с отверстием, которое является направляющей микрометрического винта 4. Микрометрический винт 4 ввинчивается в микрогайку 7, имеющую разрезы и наружную резьбу. На эту резьбу навинчивают специальную регулировочную гайку 8, которая сжимает микрогайку 7 до полного выбора зазора в соединении «винт – микрогайка». Это устройство обес-

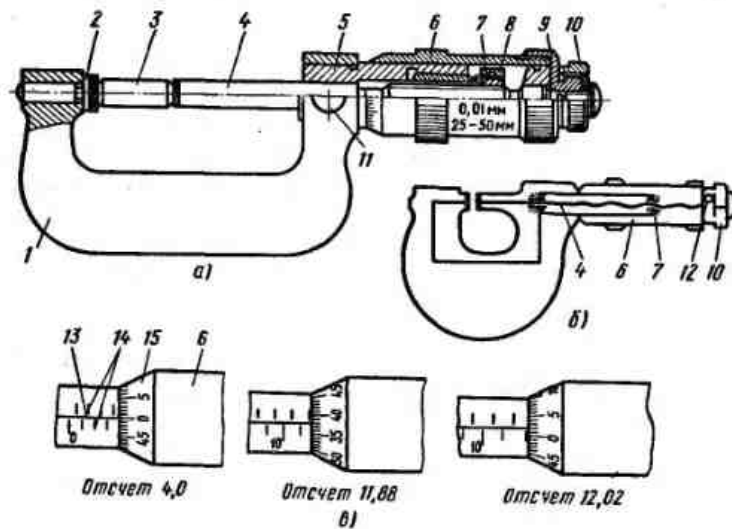


Рис. 14. Микрометр гладкий

печивает точное осевое перемещение винта относительно микрогайки в зависимости от угла его поворота. За один оборот торец винта перемещается в осевом направлении на расстояние, равное шагу резьбы, т. е. на 0,5 мм. На микрометрический винт надевается барабан 6, закрепляемый установочным колпачком-гайкой 9. В колпачке-гайке смонтирован специальный предохранительный механизм 12, соединяющий колпачок-гайку 9 и трещотку 10, за которую необходимо вращать барабан 6 при измерениях. Предохранительный механизм-трещотка, состоящий из храпового колеса, зуба и пружины, в случае превышения усилия между губками  $0,7 \pm 0,2$  Н отсоединяет трещотку 10 от установочного колпачка 9 и барабана 6 и она начинает проворачиваться с характерным прощелкиванием. При этом микрометрический винт 4 не вращается. Для закрепления винта 4 в требуемом положении микрометр снабжен стопорным винтом 11. Измерительные поверхности (губки) пятки 2 и микрометрического винта изготовляют из твердого сплава.

На стебле 5 микрометра нанесена шкала 14 с делениями через 0,5 мм. Для удобства отсчета четные штрихи нанесены выше, а нечетные — ниже сплошной продольной линии 13, которая используется для отсчета углов поворота барабана. На коническом конце барабана нанесена круговая шкала 15, имеющая 50 делений. Если учесть, что за один оборот барабана с пятьюдесятью делениями торец винта и срез барабана перемещают на 0,5 мм, то поворот барабана на одно деление вызовет перемещение торца винта, равное 0,01 мм, т. е. цена деления на барабане 0,01 мм.

При снятии отсчета пользуются шкалами на стебле и барабане. Срез барабана является указателем продольной шкалы и регистрирует показания с точностью 0,5 мм. К этим показаниям прибавляют отсчет по шкале барабана (рис. 14, в).

Перед измерением следует проверить правильность установки на нуль. Для этого необходимо за трещотку вращать микровинт до соприкосновения измерительных поверхностей пятки и винта или соприкосновения этих поверхностей с установочной мерой 3 (рис. 14, а). Вращение за трещотку продолжают до проворачивания трещотки. Правильной считается установка, при которой торец барабана совпадает с нулевым штрихом шкалы на стебле и нулевой штрих круговой шкалы барабана совпадает с продольной линией на стебле. В случае их несов-

падения необходимо закрепить микровинт стопором, отвернуть на пол-оборота установочный колпачок-гайку, повернуть барабан в положение, соответствующее нулевому, закрепить его колпачком-гайкой, освободить микровинт. После этого следует еще раз проверить правильность установки на нуль.

Микрометром можно пользоваться как нормальным калибром-скобой. Для этого необходимо установить требуемый размер между измерительными поверхностями пятки и винта, а затем стопором зафиксировать микровинт в этом положении.

В настоящее время зарубежные фирмы освоили выпуск микрометров с цифровой индикацией измеряемого размера. Цифровой отсчет при этом осуществляется электронными или механическими системами (рис. 15). Цифровое табло располагается либо на скобе, либо на барабане.

У микрометров настольного типа скоба составляет одно целое с массивной подставкой. Иногда при контроле мелких деталей в часовой промышленности используют настольные микрометры, имеющие на скобе-подставке специальный столик для деталей, значительно облегчающий их правильную установку при измерении. У этих микрометров микрометрический винт имеет шаг, равный 1 мм, а барабан — сто делений по круговой шкале. Цена деления круговой шкалы этого прибора равна 0,01 мм. Для расширения метрологических возможностей настольные микрометры часто снабжают сменными измерительными наконечниками: цилиндрическими (с плоскими и ножевидными измерительными поверхностями) и тарельчатыми. Эти наконечники в значительной мере упрощают процесс измерения деталей сложной конфигурации.

К микрометрическим инструментам относятся также

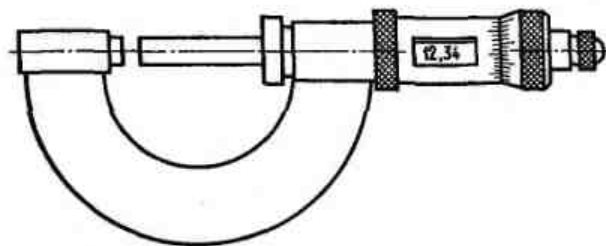


Рис. 15. Микрометр с цифровым отсчетом

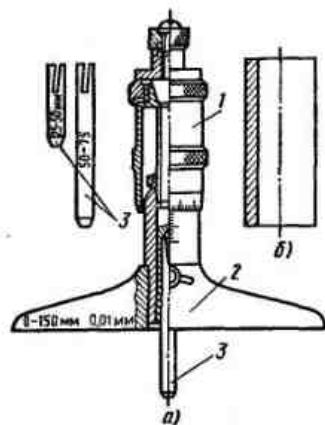


Рис. 16. Микрометрический глубиномер

микрометрический глубиномер и микрометрический нутромер.

Микрометрический глубиномер (рис. 16, а) состоит из микрометрической головки 1, запрессованной в отверстие основания 2. Торец микровинта этой головки имеет отверстие, куда вставляют разрезными пружинящими концами сменные стержни 3 со сферической измерительной поверхностью. Сменные стержни имеют четыре размера: 25; 50; 75 и 100 мм. Размеры между торцами стержней выдержаны очень точно. Измерительными по-

верхностями в этих приборах являются наружный конец сменного стержня 3 и нижняя опорная поверхность основания 2. При снятии отсчета необходимо помнить, что в некоторых конструкциях основная шкала, расположенная на стебле, имеет обратный отсчет.

Для настройки нутромера на нуль опорную поверхность основания прижимают к торцу специальной установочной меры (рис. 16, б), которую ставят на поверочную плиту. Микровинт со вставкой с помощью трещотки доводят до контакта с плитой, фиксируют его стопором и далее продельвают те же операции, что и при настройке на нуль микрометра.

Измерение глубины отверстий, уступов, выточек и т. д. выполняют следующим образом. Опорную поверхность основания микрометрического глубиномера устанавливают на базовую поверхность детали, относительно которой измеряется размер. Одной рукой прижимают основание к детали, а другой вращают за трещотку барабан микрометрической головки до касания стержня с измеряемой поверхностью и прощелкивания трещотки. Затем фиксируют стопором микровинт и снимают отсчет со шкал головки. Микрометрические нутромеры имеют пределы измерений от 0 до 150 мм и цену деления 0,01 мм.

Микрометрические нутромеры предназначены для измерения внутренних размеров изделий в диапазоне от 50

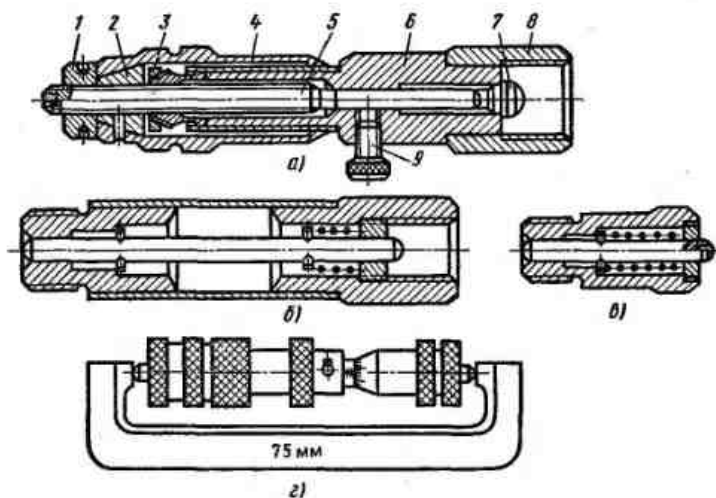


Рис. 17. Микрометрический нутромер

до 6000 мм. Они состоят из микрометрической головки (рис. 17, а), сменных удлинителей (рис. 17, б) и защитного наконечника (рис. 17, в).

Микрометрическая головка нутромера несколько отличается от головки микрометра и глубиномера и не имеет трещотки.

В стебель 6 микрометрической головки с одной стороны запрессован измерительный наконечник 7, а с другой ввинчен микровинт 5, который соединен с барабаном 4 гайкой 2 и контргайкой 1. Наружу выступает измерительный наконечник микровинта 5, оснащенный вставкой из твердого сплава.

Зазор в соединении винт — гайка выбирается с помощью регулировочной гайки 3, навинчиваемой на разрезную микрогайку с наружной конической резьбой. Установленный размер фиксируется стопорным винтом 9. Для расширения пределов измерения в резьбовое отверстие муфты 8 ввинчиваются удлинители или защитный наконечник, также оснащенный вставкой из твердого сплава.

Удлинитель представляет собой стержень со сферическими измерительными поверхностями, имеющий точный размер в осевом направлении. Стержень не выступает за пределы корпуса, на обоих концах которого

нарезана резьба. Пружина, расположенная внутри корпуса, создает силовое замыкание стержней между собой при свинчивании удлинителя с микрометрической головкой. На свободный конец удлинителя может быть навинчен другой удлинитель и т. д. до получения нутромера с требуемым пределом измерения. В последний удлинитель ввинчивается защитный наконечник. В процессе измерения с деталью соприкасаются оснащенные твердосплавными вставками измерительные наконечники микровинта и защитного наконечника. При использовании нутромера с несколькими удлинителями необходимо помнить, что удлинители следует соединять в порядке убывания их размеров и микрометрическую головку соединить с самым длинным из них.

Микрометрический нутромер в сборе с защитным наконечником устанавливают на нуль по установочной мере-скобе размером 75 мм (рис. 17, з). В случае неудовлетворительной настройки нуля ослабляют на пол-оборота контргайку 1, поворачивают барабан до совпадения нулевой риски с продольной линией стебля, затягивают контргайку 1 и отпускают винт 9. Затем проверяют правильность установки. После настройки нутромера на нуль его свинчивают с удлинителями для получения требуемого размера и приступают к измерениям.

Измерения внутренних размеров нутромером осуществляют следующим образом. Вводят инструмент в пространство между измерительными поверхностями (например, в отверстие). Устанавливают один измерительный наконечник нутромера на поверхность и вращают барабан головки до касания второго измерительного наконечника противоположной поверхности. В процессе измерения необходимо не только вращать барабан, но еще и покачивать собранный нутромер в вертикальной и горизонтальной плоскостях для определения минимального расстояния между поверхностями.

Погрешность измерения микрометрическими нутромерами в два раза больше, чем гладкими микрометрами. Это объясняется недостаточной изгибной жесткостью нутромера. Погрешность из-за прогиба у нутромеров длиной 4000–5000 мм составляет 55 мкм. Большой погрешности способствует отсутствие устройства для стабилизации измерительного усилия и трудность установки нутромера в правильное положение при измерении. Исходя из этого перспективы применения их в машиностроении (особенно в тяжелом) весьма ограничены.

### 3.6. Рычажные микрометры и скобы с отсчетным устройством

Для измерения наружных размеров с повышенной точностью применяют рычажные микрометры и скобы с отсчетными устройствами.

Рычажные микрометры (в отличие от гладких микрометров) вместо неподвижно запрессованной пятки имеют подвижный измерительный наконечник, соединенный либо со встроенным в корпус отсчетным устройством (рис. 18, а, б), либо с измерительной головкой (рис. 18, в). Вторым измерительным наконечником является торец 3 микровинта. Таким образом, у рычажных микрометров оба измерительных наконечника связаны с отсчетными устройствами.

Рычажный микрометр типа МР (рис. 18, б) состоит из традиционной микрометрической головки (стебля 4, барабана 6, микрометрического винта 5 и микрогайки 7) и рычажно-зубчатого шкального отсчетного устройства, смонтированного в корпусе скобы. Цена деления шкалы этого устройства равна 0,002 мм. При измерении изделия стержень 1 с измерительной поверхностью 2 передает движение через рычаг 12 на зубчатый сектор 11, зацепляющийся с малым колесом (трибом) 10, на оси которого установлена стрелка 9. Для отвода измерительного стержня 1 прибор снабжен арретирующим устройством, работающим от кнопки 8. В рычажном микрометре отсутствует предохранительный механизм с трещоткой. Его функции выполняет рычажно-зубчатый механизм, который создает измерительное усилие.

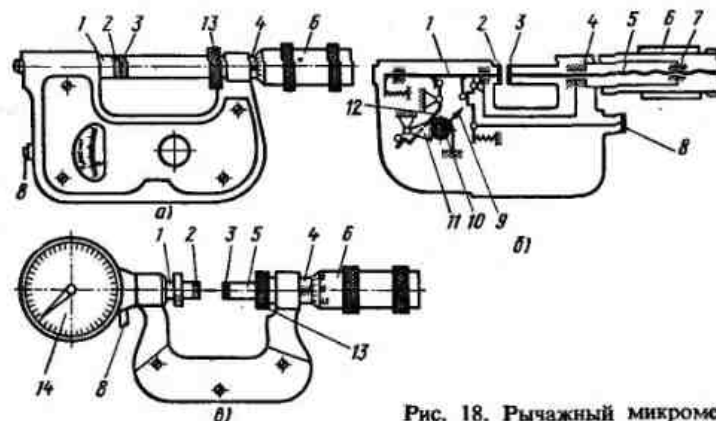


Рис. 18. Рычажный микрометр

Микрометры типа МР имеют диапазон измерения 0—25, 25—50, 50—75, ..., 150 мм. Эти микрометры имеют встроенные отсчетные устройства с ценой деления 0,002 мм и пределами измерений  $\pm 0,03$  мм (для конструкции, изображенной на рис. 18, а) и  $\pm 0,14$  мм (рис. 18, б).

При измерении размеров свыше 150 мм используют индикаторные микрометры типа МРИ с индикатором часового типа 14 с ценой деления 0,01 мм (рис. 18, в). Диапазон измерения этих микрометров 150—200, 250—300, 300—400, ..., 900—1000, 1000—1200, ..., 1800—2000 мм.

Установка на нуль рычажных микрометров производится с помощью установочных или концевых мер (для размеров свыше 25 мм). Меру вводят между измерительными поверхностями, вращают микровинт 5 до тех пор, пока стрелка отсчетного устройства не займет нулевого положения. Затем фиксируют микровинт стопорной гайкой 13 и устанавливают барабан в нулевое положение относительно продольной линии на стебле.

Измерение рычажным микрометром можно осуществлять методом непосредственной оценки и методом сравнения с мерой. В первом случае барабан микрометрической головки вращают так, чтобы измерительные поверхности соприкоснулись с поверхностью изделия, а стрелка отсчетного устройства установилась на нуль. После этого барабан поворачивают до совпадения штриха круговой шкалы барабана с продольной линией стебля. Отсчет по стрелочному устройству прибавляют или вычитают из отсчета по микрометрической головке в зависимости от знака.

Для измерения методом сравнения сначала проводят настройку рычажного микрометра на размер по концевой мере и фиксируют микровинт стопорной гайкой. Затем проводят измерения, снимая отклонения измеряемых размеров от установочного значения по показаниям шкального устройства. Несмотря на дополнительные затраты времени, связанные с установкой прибора на размер, этот способ является более производительным и точным по сравнению с первым и рекомендуется к применению при измерении партии деталей.

Скобы с отсчетным устройством в соответствии с ГОСТ 11098—75 изготавливают двух типов: СР — рычажные со встроенными в корпус отсчетными устройствами и скобы индикаторные, оснащенные измерительными головками.

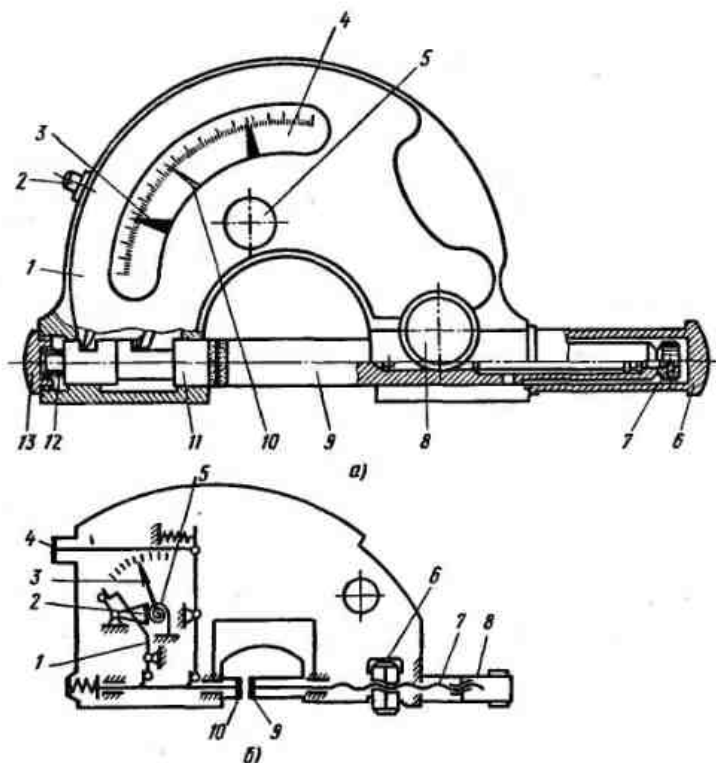


Рис. 19. Рычажная скоба

Рычажные и индикаторные скобы применяют для проверки размеров партии деталей, отклонений формы (овальности, конусообразности и т. д.), сортировки деталей по группам. Рекомендуется также применять эти скобы для контроля размеров тонкостенных, легкодеформируемых деталей. Рычажными скобами контролируют детали, изготовленные по 7-му качеству, а индикаторными — по 9-му и грубее.

Скобы типа СР имеют цену деления 0,002 мм и диапазон измерения от 0 до 150 мм (0—25, 25—50, ..., 125—150 мм).

На рис. 19, а показана рычажная скоба, состоящая из корпуса 1, в который вставлена плата, с собранным на ней рычажно-зубчатым механизмом и шкалой 4. На шка-

ле расположены подвижные указатели-ограничители 3 поля допуска. Указатели-ограничители устанавливаются в требуемое положение специальным ключом при снятой верхней крышке 5. В направляющих корпуса 1 могут перемещаться регулируемая измерительная пятка 9, которая в процессе измерения остается неподвижной, и пятка 11. Пружина 12 создает измерительное усилие. Для регулировки измерительного усилия при сборке и ремонте скобы в конструкции предусмотрен колпачок 13.

Перед измерением скобу настраивают на размер по блоку концевых мер. Для этого регулирующую пятку 9 перемещают, вращая головку 7 винта подачи, до контакта пяток 9 и 11 с настроечным блоком и установки стрелки 10 в нулевое положение. Фиксируют регулирующую пятку 9 стопорным зажимом 8 и закрывают винт 7 защитным колпачком 6. Регулируемая пятка 9 имеет диапазон перемещений 25 мм.

С целью уменьшения износа и предотвращения повреждения измерительных поверхностей при установке детали подвижная пятка 11 отводится от детали с помощью арретира 2.

В настоящее время выпускают новую гамму рычажных скоб, обладающих увеличенным диапазоном показаний. В корпус этих скоб вставлен унифицированный рычажно-зубчатый механизм. Схема такой скобы приведена на рис. 19, б. Скоба состоит из регулируемой (неподвижной во время измерений) пятки 9 и подвижной пятки 10. Перемещение подвижной пятки 10 через рычаг 1 и зубчатый сектор 2 передается на центральное зубчатое колесо 5, на оси которого посажена стрелка 3. Скоба имеет арретир 4.

При настройке скобы на размер винт 7 с помощью гайки 6 перемещает регулирующую пятку 9. После установки на размер на винт 7 навинчивают колпачок 8, который выполняет роль контргайки и стопорит винт 7 в требуемом положении.

Кроме увеличенного диапазона показаний скоба обладает рядом преимуществ по сравнению с предыдущей моделью. В конструкции новой скобы контактные элементы рычажной передачи выполнены из твердого сплава. В корпус скобы вставлены закаленные стальные втулки, выполняющие роль направляющих подвижной измерительной пятки 10. Корпус скоб оснащен эффективными теплоизоляционными накладками. Все эти мероприятия

позволили значительно увеличить надежность и долговечность скобы.

Индикаторные скобы (рис. 20) в качестве отсчетного устройства имеют индикатор часового типа. Цена деления у этих приборов составляет 0,01 мм, а пределы измерений 0—50, 50—100, 100—200, ..., 600—700, 700—850, 850—1000 мм. Регулируемая пятка у них может перемещаться на 50 мм. Некоторые типоразмеры индикаторных скоб имеют в наборе две или три сменные регулируемые пятки. Диапазон показаний этих приборов достаточно велик и составляет при использовании индикаторов часового типа 10 мм.

В корпусе индикаторной скобы 9, оснащенной теплоизоляционными накладками 10, установлен индикатор часового типа 6. Имеются две измерительные пятки — регулируемая 2 и подвижная 4. Для правильной установки контролируемых деталей прибор снабжен регулируемым упором 3. При измерении больших размеров этим упором, как правило, не пользуются. Измерительное усилие создается пружиной 5. Крепление индикаторов и регулируемой пятки 2 осуществляется соответственно зажимными винтами 7 и 11. Установку скобы на размер производят в следующем порядке. Отвернув стопорный винт 11, отводят регулирующую пятку 2 вниз приблизительно на значение устанавливаемого размера. Затем арретиром 8 отводят подвижную пятку 4 в крайнее положение. Между измерительными поверхностями обеих пяток вводят блок концевых мер, соответствующий номинальному размеру изделия, и отпускают арретир 8. После этого перемещают регулирующую пятку 2, с тем чтобы создать предварительный натяг измерительного наконечника индикатора на один оборот стрелки до нулевого положения. Этот прием необходим для измерения минусовых отклонений. Настроив прибор на размер,

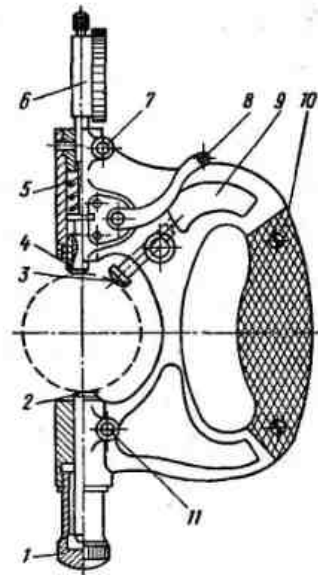


Рис. 20. Индикаторная скоба

фиксируют положение пятки 2 стопорным винтом 11. При неосторожном обращении со скобой можно нарушить настройку, поэтому пятку 2 закрывают защитным колпачком 1. Затем отводят арретиром 8 подвижную пятку 4 и снимают установочную концевую меру. В процессе измерения детали по шкале отсчетного устройства определяют отклонение размера (со знаком) от настроенного.

У скоб, используемых для измерения малых диаметров, измерительные поверхности пяток выполнены плоскими для облегчения настройки прибора. Скобы для измерения больших размеров имеют регулируемую пятку с плоской поверхностью, а подвижную — со сферической.

### 3.7. Индикаторные нутромеры и глубиномеры

Для определения действительных размеров диаметров отверстий широко применяются индикаторные нутромеры. Измерения этими приборами осуществляют методом сравнения с мерой, считывая с отсчетного устройства отклонения (со знаком) от нулевого положения, соответствующего номинальному значению размера.

Конструкция нутромера зависит от пределов измерения (рис. 21).

Регулируемый (неподвижный при измерении) наконечник 11 ввертывают во втулку 9 и контрят после настройки на размер гайкой 10. С другого конца втулки 9 помещен измерительный стержень 14, перемещение которого через угловой рычаг 8 с запрессованными шариками 13 и стержень 7 передается на индикатор 1. Измерительное усилие, обеспечивающее надежный контакт пяток наконечника и стержня с поверхностью измеряемого отверстия, создается пружиной 2 и индикатором 1. Стержень 7 находится внутри трубки 6, имеющей теплоизоляционную накладку на 3.

В корпусе нутромера 12 имеются отверстия, куда входят направляющие стержни центрирующего мостика 4. Под действием пружин 5 центрирующий мостик находится в крайнем выдвинутом состоянии. После введения нутромера в измеряемое отверстие центрирующий мостик под действием этих пружин прижимается к поверхности, обеспечивая размещение пяток по линии диаметра отверстия.

Индикаторный нутромер на размер настраивают по блоку концевых мер с боковиками, закрепленными

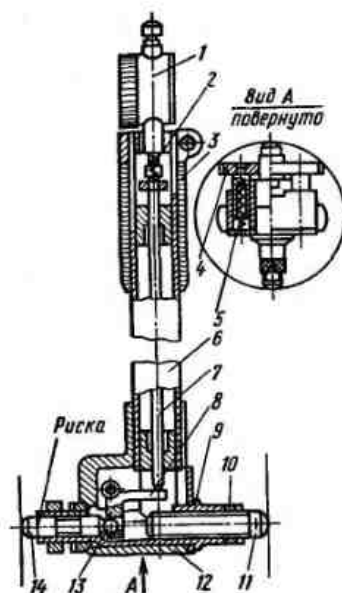


Рис. 21. Индикаторный нутромер

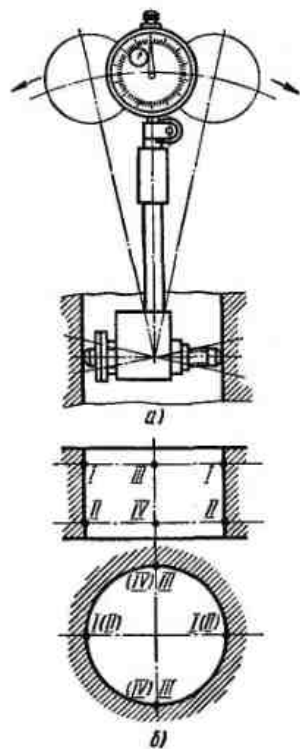


Рис. 22. Схема измерения отверстия индикаторным нутромером

в струбине. При настройке измерительная пятка должна быть выдвинута настолько, чтобы риска, расположенная на измерительном стержне, совпала с торцом втулки 9. Это обеспечит установку плеч рычага 8 в положение, перпендикулярное осям стержней 14 и 7, и уменьшит погрешность измерения. Для настройки прибора на нуль необходимо создать предварительный натяг, вывернув на 1 мм регулируемый наконечник, затем установить нутромер в положение, при котором оси измерительного стержня и регулируемого наконечника заняли бы положение, перпендикулярное поверхностям боковиков. Это положение находится покачиванием нутромера в вертикальной плоскости и соответствует наименьшему показанию индикатора.

Для измерения диаметра отверстия корпус нутромера с направляющим мостиком вводят в отверстие, устанавливают по линии диаметра (рис. 22, а) и, так же как при

настройке на размер, покачивают нутромер в вертикальной плоскости. Наименьшее показание индикатора будет соответствовать отклонению диаметра от размера блока концевых мер. Оценку формы отверстия можно произвести, если измерить диаметры отверстия по двум взаимно перпендикулярным направлениям в двух сечениях по высоте (рис. 22, б).

Показанная на рис. 21 конструкция характерна для нутромеров с пределом измерений больше 18 мм. Цена деления у этих приборов составляет 0,01 мм, диапазон показаний по шкале — до 10 мм.

Для измерения малых отверстий применяют шариковые нутромеры. Стержень 7 у этих приборов оканчивается конической иглой, которая находится в контакте с четырьмя шариками, расположенными вокруг иглы через 90°. Два шарика играют роль центрирующих, а два, отмеченные на корпусе красной краской, — измерительных. Перемещение измерительных шариков передается игле, а через нее — отсчетной головке.

Индикаторные глубиномеры применяют для измерения методом сравнения глубин отверстий, пазов, высоты уступов и т. п. Они состоят (рис. 23) из основания 2 с державкой 3, индикатора часового типа 4 и сменного измерительного стержня 1. Цена деления этих приборов 0,01, диапазон показаний 10 мм. Диапазон измерения

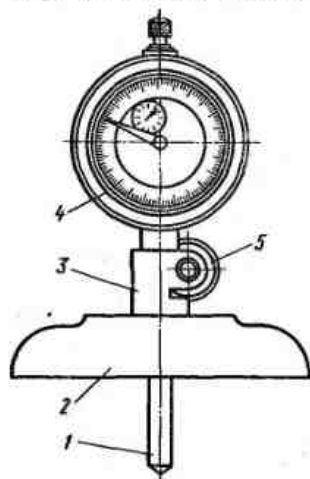


Рис. 23. Индикаторный глубиномер

глубиномера от 0 до 100 мм обеспечивается набором сменных измерительных стержней, позволяющих производить измерения в поддиапазонах — 0—10, 10—20, ..., 90—100 мм. Для создания предварительного натяга сменные стержни имеют несколько большую длину, чем требуется для данного поддиапазона.

Для установки прибора на нуль пользуются либо двумя одинаковыми мерами длины, либо аттестованной втулкой, соответствующей по высоте измеряемому размеру. Поставив глубиномер основанием на торец втулки (либо на концевые меры), отпускают винт 5

зажима и перемещают индикаторную головку в державке так, чтобы указатель числа оборотов занял положение 0,5—1 (для создания предварительного натяга), а стрелка\* приблизительно встала на нуль. После этого зажимают винт 5 и ободком индикатора подводят нулевой штрих шкалы под стрелку. Результат измерения получают путем сложения показания индикатора (с учетом знака) с размером установочной меры.

### 3.8. Измерительные головки

Измерительные головки — это приборы, преобразующие малые перемещения измерительного наконечника (стержня) в большие перемещения конца стрелки относительно штрихов круговой шкалы.

Как правило, все измерительные головки используют для измерений методом сравнения. В связи с узкими диапазонами показаний они используются в конструкциях специальных и специализированных средств измерения, в приспособлениях либо совместно со специальными стойками и штативами (рис. 24).

Стойки имеют устройство для зажима измерительной головки и столик для установки контролируемого изделия. В стойках в основном используют головки, имеющие посадочную цилиндрическую поверхность диаметром 28 мм. В отличие от стоек штативы не имеют столиков для установки деталей и в них используются головки с посадочной цилиндрической поверхностью диаметром 8 мм.

На рис. 24 показаны стойки типов С-I (рис. 24, а), С-II (рис. 24, б) и С-III (рис. 24, в). Жесткие и массивные стойки типа С-I используют для проведения высокоточных измерений с головками, имеющими цену деления до 0,0001 мм. Менее жесткие стойки типа С-II предполагают применение головок с ценой деления от 0,001 до 0,005 мм. В стойках типов С-I и С-II посадочные отверстия для измерительных головок имеют диаметр 28 мм. Стойка типа С-III предназначена для крепления измерительных головок с ценой деления от 0,001 до 0,1 и посадочным размером 8 мм.

Стойки состоят из основания 1, предметного столика 2, кронштейна 3 с отверстием для крепления измерительной головки 5 с помощью зажимного винта 4. Стойки типа С-I имеют маховик 6 для перемещения кронштейна по направляющим. Остальные стойки в качестве напра-



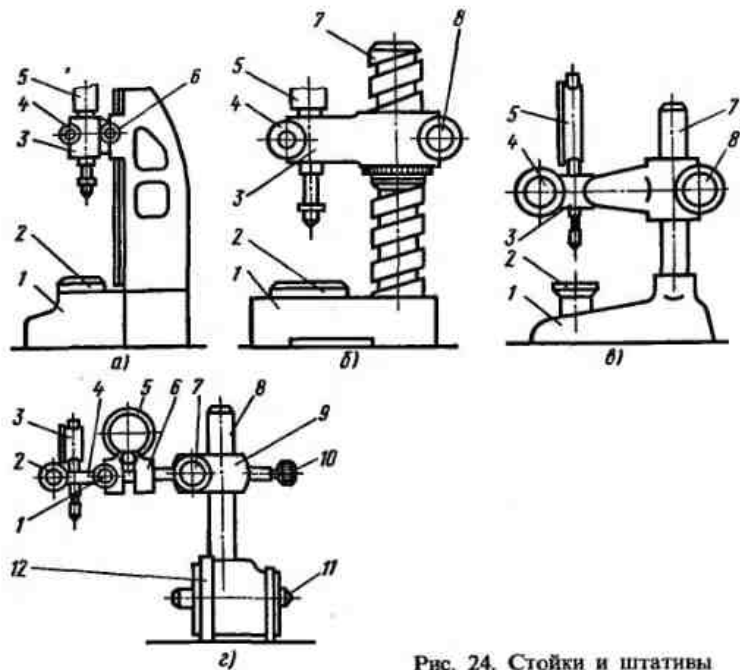


Рис. 24. Стойки и штативы

вляющих для перемещения кронштейна имеют цилиндрическую колонку 7 и винт 8, крепящий кронштейн в нужном положении на колонке. Выпускается еще одна стойка типа С-IV, которая отличается от стойки С-III прямоугольной формой стола и наличием стержня, закрепленного на кронштейне и перемещающегося вместе с измерительной головкой в горизонтальной плоскости. Стойки типа С-IV имеют посадочное отверстие диаметром 8 мм и служат для крепления головок с ценой деления 0,01 мм.

Штативы не имеют предметных столиков, служат только для крепления измерительных головок с посадочным диаметром 8 мм и применяются при измерениях на поверочных плитах, в центрах и на станках. Штативы Ш-1 выпускают для измерительных головок с ценой деления 0,001—0,005 мм, Ш-2 — для головок с ценой деления 0,01 мм. Штативы аналогичных конструкций, но имеющие магнитные основания, соответственно обозначают ШМ-1 и ШМ-2.

Штативы Ш-2 и ШМ-2 выпускают в двух исполне-

ниях: с высокой и укороченной колонкой. Кроме этого, они имеют специальные устройства для крепления индикаторов за ушко.

На рис. 24, 2 показан штатив типа ШМ-1, состоящий из основания 12 с постоянными магнитами, державки 4 с измерительной головкой 3 и зажимным винтом 2. Для грубой установки на размер державка 4 может поворачиваться в вертикальной плоскости, а затем крепиться винтом 1. Для тонкой настройки на размер пользуются винтом 10, который, разжимая губки 6 и пружинное кольцо 5, меняет угол наклона державки 4. Вся эта конструкция собрана на специальном хомутике 9 с зажимным винтом 7, который фиксирует хомутик 9 на нужной высоте цилиндрической колонки 8. Для включения и выключения магнитного основания 12 имеется стержень 11, который проходит сквозь основание. Усилие отрыва у штативов с магнитным основанием должно быть не менее 300 Н, а у штативов с высокой колонкой — не менее 1000 Н. Магнитные штативы очень удобны, так как их можно надежно крепить на любой плоской металлической (магнитопроводной) поверхности. Эти штативы широко используют при выполнении слесарных работ и при различных проверках станков (например, на геометрическую точность, при проверке торцового и радиального биений шпинделя, соосности центров и т. д.).

В зависимости от конструкции механизма, преобразующего перемещение измерительного наконечника в поворот стрелки, измерительные головки подразделяют на зубчатые, рычажно-зубчатые, рычажно-пружинные, пружинные и пружинно-оптические.

Для того чтобы правильно выбрать измерительную головку, необходимо знать как конструкцию, так и метрологические характеристики основных типов измерительных головок.

Зубчатые измерительные головки (индикаторы часового типа) предназначены для измерений линейных размеров, контроля отклонений от заданной геометрической формы и расположения поверхностей. Индикатор часового типа относится к многооборотным головкам, так как стрелка у него совершает несколько оборотов при полном ходе измерительного наконечника. В соответствии с ГОСТ 577—68 индикаторы выпускают двух типов: ИЧ, у которого измерительный стержень перемещается параллельно шкале, и ИТ с перемещением измерительного стержня перпендикулярно шкале. По-

скольку в конструкции индикаторов типа ИТ для изменения положения измерительного стержня имеется рычажная передача, то эти головки могут быть отнесены к рычажно-зубчатым.

Индикаторы типов ИЧ-2, ИЧ-5 и ИЧ-10 имеют диапазон показаний 0—2, 0—5, 0—10 мм соответственно. Индикаторы типов ИЧ-5 и ИЧ-10 имеют диаметр корпуса 60 мм, а типов ИЧ-2 и ИТ-2 — 42 мм.

Индикаторы часового типа имеют шкалу с ценой деления 0,01 мм. В настоящее время еще применяются зубчатые измерительные головки с ценой деления 0,001 и 0,002 мм. Однако они обладают общим недостатком — имеют большую и неравномерную по шкале погрешность измерения, в несколько раз превышающую цену деления.

В последнее время появились индикаторы часового типа с цифровой индикацией. Они гораздо удобнее в работе и значительно повышают производительность контрольно-измерительных процессов.

На рис. 25, а показан внешний вид, а на рис. 25, б — принципиальная схема зубчатой измерительной головки типа ИЧ. Основными узлами индикатора часового типа являются циферблат со шкалой 2, ободок 3, центральная стрелка 4, указатель числа оборотов 5, гильза 6, измерительный стержень 7, наконечник 8 и корпус 9.

На циферблате индикатора имеется шкала с цифрами

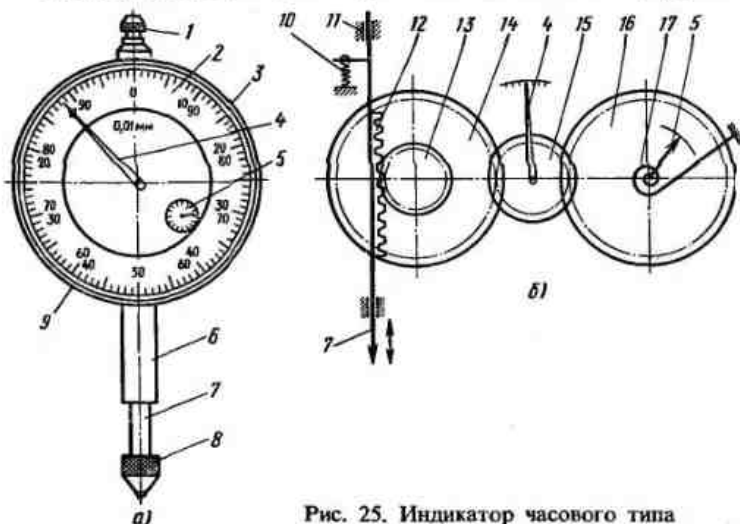


Рис. 25. Индикатор часового типа

двух цветов, расположенными встречно. Для установки головки на нуль поворачивают ободок 3 вместе со шкалой 2 и подводят под стрелку нулевой штрих. Устанавливая изделие под измерительный наконечник, последний отводят с помощью головки 1. Крепление индикатора в штативе, приборе или приспособлении осуществляется зажимом гильзы 6 диаметром 8 мм.

Принцип действия индикатора состоит в следующем. На измерительном стержне 7 нарезана зубчатая рейка 12, находящаяся в постоянном зацеплении с зубчатым колесом 13. Измерительный стержень 7 перемещается в направляющих 11, запрессованных в гильзу 6 корпуса 9, и прижимается к измеряемой поверхности пружиной 10 с измерительным усилием (0,8—2 Н). При перемещении измерительного стержня 7 нарезанная на нем рейка 12 поворачивает колесо 13 и сидящее с ним на одной оси большое колесо 14. Колесо 14 находится в зацеплении с центральным колесом 15, поворачивает его и центральную стрелку 4, закрепленную на оси колеса 15. Поскольку зубчатое зацепление на практике всегда имеет боковой зазор между профилями находящихся в зацеплении зубьев, то в схему индикатора введена спиральная пружина (волосок) 17, закрепленная на оси колеса 16. Волосок обеспечивает касание всех зубчатых колес и рейки только одной стороной профиля при прямом и обратном ходе измерительного стержня. Такое решение позволяет исключить влияние бокового зазора в зубчатых зацеплениях на точность измерения.

Настройку индикатора часового типа на нуль производят в следующем порядке. Закрепляют индикатор на стойке (типа С-IV) или штативах (типа Ш-П или ШМ-П), под измерительный наконечник помещают блок концевых мер, размер которого равен номинальному размеру проверяемого элемента детали или изделия, опускают по стойке индикатор до тех пор, пока наконечник не коснется детали с некоторым натягом. Для удобства отсчета обычно принимают натяг, равный одному обороту центральной стрелки. Закрепив в этом положении индикатор на колонке, с помощью ободка подводят к центральной стрелке нулевой штрих шкалы. Арретируя несколько раз стержень за головку, проверяют возврат стрелки в нуль. Отклонение стрелки от нулевого положения требует повторения настройки. При измерениях по шкале индикатора с ценой деления 0,01 мм отсчитывают отклонения измеряемого размера от настроечного со знаком.

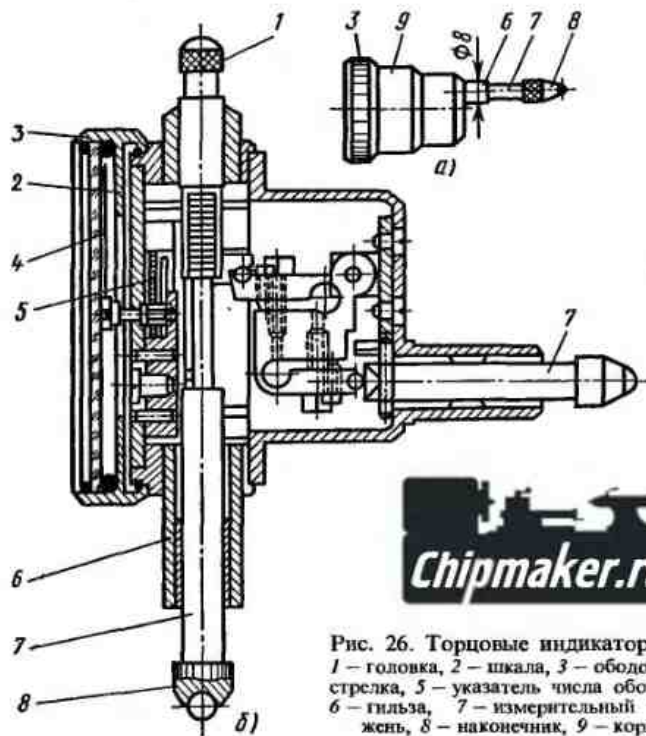


Рис. 26. Торцовые индикаторы:  
 1 – головка, 2 – шкала, 3 – ободок, 4 –  
 стрелка, 5 – указатель числа оборотов,  
 6 – гильза, 7 – измерительный стержень,  
 8 – наконечник, 9 – корпус

Для измерений абсолютным методом порядок настройки прибора тот же, но нулевое показание настраивается либо от поверхности предметного столика (при креплении индикатора на стойке), либо от поверхности поверочной плиты (при креплении на штативе). В процессе измерения по малой шкале отсчитывают миллиметры, а по большой – десятые и сотые доли миллиметра.

Торцовый индикатор типа ИТ-2 (рис. 26, а) имеет один измерительный стержень, расположенный перпендикулярно плоскости шкалы, а индикатор типа ИТ-3 (рис. 26, б) – два измерительных стержня. Один из них расположен параллельно плоскости циферблата, другой – перпендикулярно. На рис. 26 приняты те же обозначения, что и на рис. 25. Все элементы конструкции и схемы торцового индикатора типа ИТ-3 носят те же названия и выполняют те же функции, что и у индикаторов часового типа.

Торцовые индикаторы (кроме измерения размеров) широко применяются для оценки биений поверхностей.

Индикаторы часового типа (ИЧ и ИТ) выпускают в соответствии с ГОСТ 577–68 классов точности 0 и 1. Погрешность индикаторов находится в пределах цены деления только на небольшом участке шкалы. Поэтому не рекомендуется отсчитывать «на глаз» дробные части делений.

Кроме рассмотренных индикаторов часового типа выпускаются индикаторы с диапазоном показаний 25, 50 и 100 мм. Они применяются в специальных измерительных приспособлениях и встречаются значительно реже. Цена деления 0,01 мм.

К группе рычажно-зубчатых измерительных головок относятся:

рычажно-зубчатые головки с ценой деления 0,01 мм (типы ИРБ и ИРТ);

рычажно-зубчатые измерительные головки бокового действия с ценой деления 0,002 мм (типы ГИРБ2-30 и ГИРБ2-60);

рычажно-зубчатые измерительные головки с ценой деления 0,001 и 0,002 мм (типы 1МКМ, 2МКМ, 1ИГ, 2ИГ);

многооборотные головки с ценой деления 0,001 и 0,002 мм (типы 1ИГМ, 2ИГМ, 1МИГ, 2МИГ).

Рычажно-зубчатые головки (индикаторы) с ценой деления 0,01 мм изготавливают по ГОСТ 5584–75. Эти индикаторы применяют для измерений в труднодоступных местах, так как измерительный стержень (измерительный рычаг) может менять свое положение относительно корпуса (рис. 27). Индикаторы типов ИРБ (рис. 27, а) и ИРТ (рис. 27, б) отличаются друг от друга положением шкалы. У первых оно параллельно, а у вторых – перпендикулярно среднему положению измерительного рычага.

Диапазон показаний у этих индикаторов 0,8 мм. Они применяются для измерения линейных размеров, отклонений от заданной геометрической формы и расположения поверхностей.

Поскольку оба типа головок имеют одинаковые передаточные рычажно-зубчатые механизмы, рассмотрим базовую модель индикатора типа ИРБ (рис. 27, а).

В коробчатом корпусе 7 индикатора установлен измерительный рычаг 9, связанный фрикционной передачей с рычагом 8 зубчатого сектора 21. Усилие фрикционного соединения создается плоской пружиной 3. Перемещения

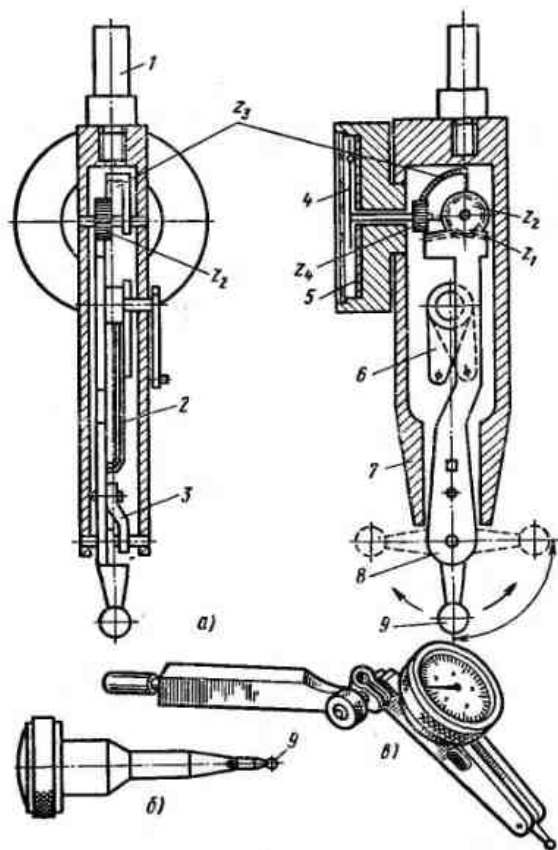


Рис. 27. Рычажно-зубчатые измерительные головки типов ИРБ, ИРТ

измерительного рычага 9 и связанного с ним силами трения рычага 8 вызывают поворот зубчатого сектора  $z_1$ , находящегося в зацеплении с колесом  $z_2$ . На одной оси с этим колесом находится торцовый зубчатый сектор  $z_3$ , передающий вращение на центральную шестерню  $z_4$  и закрепленную на ее оси стрелку 4. Ободок с закрепленным на нем циферблатом 5 может поворачиваться вокруг своей оси и позволяет совмещать нулевой штрих со стрелкой 4. Измерительное усилие индикатора создается стержневой пружиной 2. Изменить направление действия измерительного усилия можно с помощью переключате-

ля 6. Для зажима индикатора в кронштейне стойки или штатива он снабжен присоединительным стержнем 1.

К индикаторам типов ИРБ и ИРТ выпускается специальный набор принадлежностей, предназначенных для проверки биения наружных и внутренних поверхностей, контроля деталей при их обработке и проверке на станках, при монтажных и слесарно-сборочных работах. В набор входят также специальные зажимные устройства, позволяющие использовать принадлежности для самых разнообразных работ (рис. 27, в).

Предел допускаемой погрешности индикаторов при любом положении измерительного рычага не превышает 0,005 мм на любом участке шкалы в пределах 0,1 мм и 0,001 мм — на любом участке шкалы более 0,1 мм.

Рычажно-зубчатые измерительные головки бокового действия типов ГИРБ2-30 и ГИРБ2-60 (ГОСТ 16924—71) имеют цену деления 0,002 мм. Эти головки (как и головки типа ИРБ) имеют шкалу, расположенную параллельно оси измерительного рычага. Диапазон показаний этих головок одинаков и составляет 0—0,16 мм. Погрешность на любом участке шкалы и при любом положении накопника не превышает 0,002 мм в пределах 20 делений и 0,004 мм — в пределах 40 делений.

Рычажно-зубчатые измерительные головки с ценой деления 0,001 и 0,002 мм изготавливаются по ГОСТ 18 833—73.

Измерительные головки типов 1МКМ и 1ИГ имеют цену деления 0,001 мм и диапазон показаний  $\pm 0,05$  мм. Головки типов 2МКМ и 2ИГ имеют цену деления 0,002 мм при диапазоне показаний  $\pm 0,1$  мм.

Механизм головки типа 1МКМ (рис. 28) состоит из двух рычажных и одной зубчатой пары. Плоская поверхность измерительного стержня 9 контактирует с коротким плечом ( $r_1 = 4,15$ ) первого рычага 8. Контактующая с измерительным стержнем сферическая часть ры-

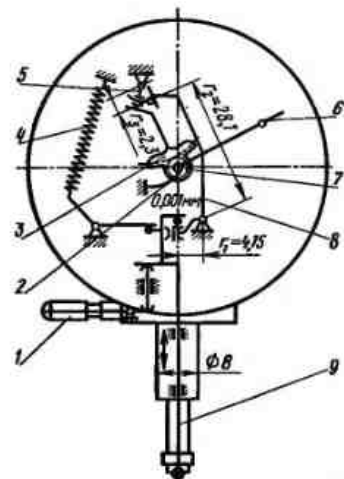


Рис. 28. Рычажно-зубчатая измерительная головка типа 1МКМ

чага выполнена в виде эксцентрика. Благодаря этому можно изменять размер малого плеча, т. е. регулировать передаточное отношение механизма. Большое плечо рычага 8 ( $r_2 = 28,1$ ) контактирует с опорным штифтом второго рычага 5 ( $r_3 = 2,3$ ), который связан с зубчатым сектором 3. Регулируя положение опорного штифта второго рычага 5, добиваются минимальной погрешности.

Правильная регулировка рычажных передач позволяет добиться погрешности, не превышающей 0,1 мкм. Зубчатый сектор 3 находится в зацеплении с шестерней 7, на оси которой установлена стрелка 6. На этой же оси закреплен один конец спиральной пружины (волоска) 2, который обеспечивает силовое замыкание кинематической цепи прибора. Измерительное усилие, равное  $(200 \pm 15)$  сН, создается пружиной 4.

Для установки прибора на нуль поворачивают шкалу в пределах  $\pm 5$  делений с последующей фиксацией стопорным винтом. Для подъема измерительного наконечника при установке под него объекта измерения в схему введен арретир 1.

Головки типа 2МКМ имеют такую же конструкцию, что и тип 1МКМ, но малое плечо рычага 8 у них вдвое больше; значит, они имеют передаточное отношение в два раза меньше.

Головки типа ИГ имеют принципиальную схему, которая во многом совпадает со схемой головок типа МКМ.

Рычажно-зубчатая головка типа ИИГ показана на рис. 29. Измерительный стержень 13 своей плоской поверхностью взаимодействует с шариком, эксцентрично запрессованным во втулку 2. Большое плечо рычага 9 находится в контакте со вторым рычагом зубчатого сектора 5. Этот рычаг может поворачиваться на оси сектора в пределах дугообразного паза и крепиться винтом 6. Зубчатый сектор 5 находится в зацеплении с центральным зубчатым колесом 4, на оси которого посажена стрелка и спиральная пружина — волосок (на рисунке стрелка и волосок не показаны). Волосок выполняет те же функции, что и в головке типа МКМ. Измерительное усилие создается двумя пружинами 12, закрепленными одним концом за измерительный стержень, а другим — за корпус. Расположены они по обе стороны малого плеча рычага 9.

Подъем измерительного стержня осуществляется арретиром 1. Штифт 10 предотвращает поворот измери-

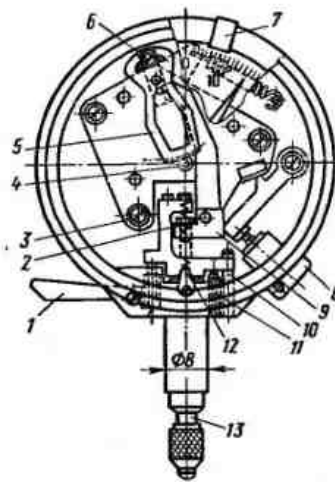


Рис. 29. Рычажно-зубчатая измерительная головка типа ИИГ

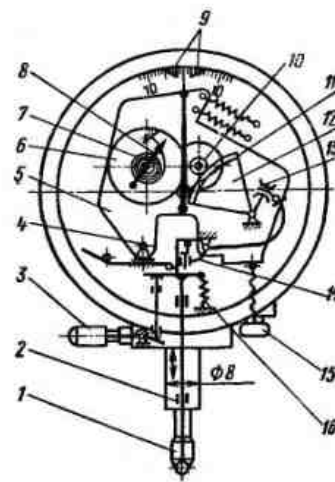


Рис. 30. Многооборотный индикатор типа ИИГМ

тельного стержня вокруг своей оси, а винт 11 является упором, ограничивающим перемещение стержня вниз под действием пружины 12. Настройка головки на нуль производится с помощью винта 8, который поворачивает весь механизм головки вокруг оси винта 3. Такая настройка является более чувствительной по сравнению с поворотом шкалы у головок типа 1МКМ.

Для удобства работы с прибором на его ободке установлены два передвижных флажка 7, которые устанавливают вручную в положения, соответствующие допустимым предельным отклонениям. При работе с флажками процесс измерения более производительен. Годными деталями считаются те, при измерении которых стрелка не выходит за границы флажков.

Главным недостатком однооборотных головок является узкий диапазон показаний  $\pm(0,05-0,10)$  мм.

Многооборотные измерительные головки (индикаторы) имеют достаточно большой диапазон показаний (1–2 мм) при цене деления 0,001–0,002 мм. В соответствии с ГОСТ 9696–82 изготавливают головки типов 1МИГ и 2МИГ взамен устаревших ИИГМ и 2ИГМ. Тем не менее еще значительное количество таких головок находится в эксплуатации на предприятиях.

Отличительным признаком головок типа ИИГМ (рис. 30) является применение в схеме двух рычажных пере-

дач и двух пар зубчатых колес. Внешне многооборотные головки отличаются от однооборотных наличием двух шкал. По большой шкале стрелка показывает перемещение измерительного стержня в микрометрах, а по малой шкале другая стрелка — число оборотов большой стрелки.

Головка работает следующим образом. При перемещении измерительного стержня *1* в направляющих *2* пятка стержня воздействует на шарик, эксцентрично запрессованный во втулку на коротком плече рычага *14*. Длинное плечо этого рычага контактирует со вторым регулируемым рычагом *13*, который может поворачивать зубчатый сектор *12* вокруг его оси. Зубчатый сектор находится в зацеплении с колесом *10*, имеющим 25 зубьев, на оси которого закреплено колесо с 80 зубьями. Последнее может поворачивать центральное колесо *11* и сидящую на его оси большую стрелку.

Для силового замыкания кинематической цепи, которое обеспечивает работу механизма при ходе наконечника вверх, в схему введено большое зубчатое колесо *6*, имеющее 130 зубьев, и спиральная пружина *7*, закрепленная одним концом на оси колеса. Одновременно спиральная пружина позволяет уменьшить погрешность обратного хода. На оси колеса *6* установлена стрелка *8* счетчика оборотов. Измерительное усилие порядка 200 сН создается пружиной *16*. Головка снабжена арретирующим устройством *3*.

Настройка головки на нуль производится с помощью винта *15* поворотом подпружиненной платы *5* с собранным на ней механизмом вокруг оси *4*. Шкала имеет передвигающиеся флажки-указатели *9* предельных отклонений.

Многооборотная рычажно-зубчатая головка типа МИГ показана на рис. 31. Измерительный стержень через втулку с эксцентрично запрессованным шариком может поворачивать рычаг *9*, а тот, в свою очередь, рычаг *8*, закрепленный на зубчатом секторе *2*. Последний находится в зацеплении с колесом *3*, на оси которого закреплено колесо *4*. Это колесо может поворачивать центральное колесо *5* и сидящую на его оси большую стрелку (на рисунке не показана). На оси колеса *6* с волоском *7* расположена маленькая стрелка счетчика оборотов (на рисунке не показана). Настраивается головка на нуль винтом *1*. Индикатор имеет арретирующее устройство, включающее рычаг *10* и пружину *11*. Остальные

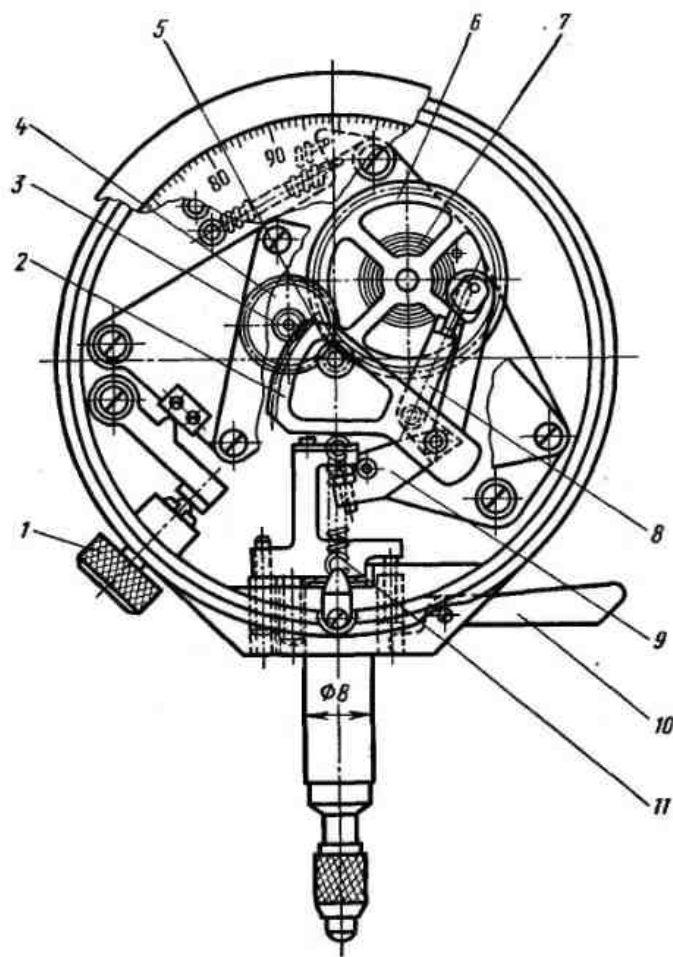


Рис. 31. Многооборотная измерительная головка типа МИГ

узлы и детали выполнены так же, как у головок типа ИГМ.

Зубчатые и рычажно-зубчатые измерительные головки применяют в универсальных и специальных стойках, штативах и державках. Они широко применяются в качестве отсчетных устройств в универсальных измерительных приборах различного назначения и в специальных контрольных и измерительных приспособле-

ниях. Их используют в качестве отсчетных устройств в переналаживаемых и универсальных сборных многомерных приспособлениях для контроля и измерений различных деталей и изделий. Эти головки могут применяться также в конструкции приборов активного и автоматического контроля для визуального наблюдения за изменением контролируемого размера.

При выборе измерительной головки в каждом конкретном случае необходимо учитывать требования ГОСТ 8.051—81 «Погрешности, допускаемые при измерении линейных размеров до 500 мм».

Основной деталью пружинных и рычажно-пружинных головок является скрученная из плоской бронзовой полоски толщиной 0,004—0,008 мм пружина. В поперечном сечении пружина может иметь форму прямоугольника, вытянутого овала или овала с талией (напоминает гитару). Если пружину потянуть за концы в разные стороны, средний участок повернется вокруг продольной оси на значительный угол. Приклеив к этому участку стрелочку, получают пружинный передаточный механизм. Простота конструкции, долговечность в работе, отсутствие «мертвого хода», малые потери на трение, возможность получения больших передаточных отношений (высокая чувствительность) — вот основные достоинства пружинных механизмов, обеспечивающих их широкое применение.

Рычажно-пружинная измерительная головка бокового действия типа ИРП (миникатор) предназначена для измерения линейных размеров, контроля отклонения формы и расположения поверхностей (рис. 32). Механизм размещен в литом из магниевого сплава корпусе. Измерительный наконечник 7 соединен через серьгу 6 с рычагом 5. Конец этого рычага связан с закрученной ленточной пружиной 10, на середине которой закреплена стрелка 9. Для крепления в державке головка имеет штифт 1.

Отклонение на небольшой угол измерительного наконечника 7 вызывает поворот рычага 5 вокруг оси 8 на тот же угол. При этом игла 4 действует на угольник 3, к которому прикреплен один конец завитой ленточной пружины 10. Другой конец ленточной пружины прикреплен к консольной плоской пружине 11. Угольник поворачивается и перемещает конец пружины, в результате чего стрелка 9 поворачивается на угол, пропорциональный углу поворота измерительного наконечника 7.

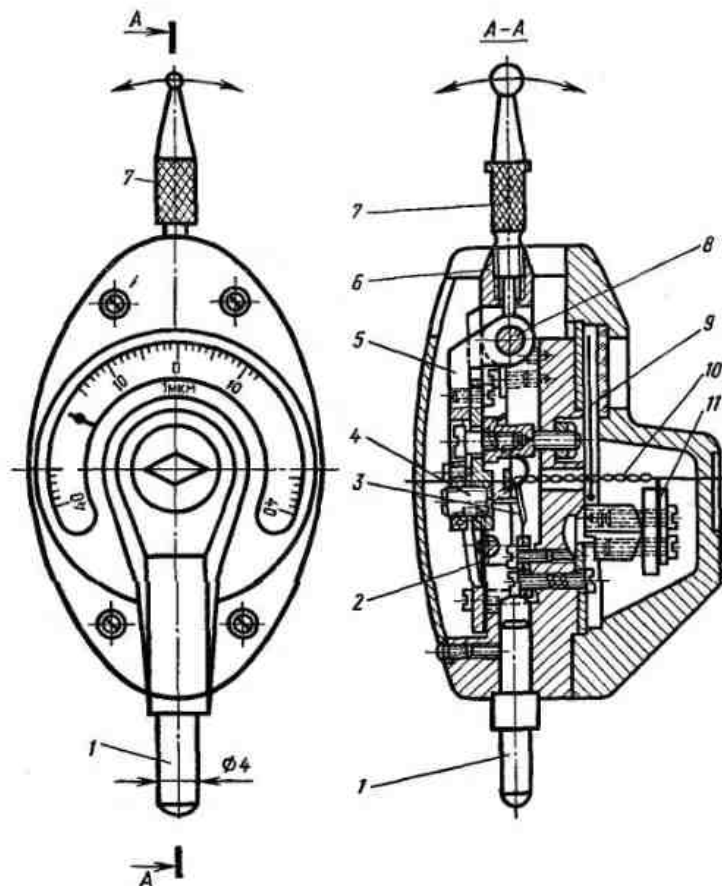


Рис. 32. Рычажно-пружинная измерительная головка типа ИРП

Цена деления зависит от длины сменного измерительного наконечника и может составлять 0,001 и 0,002 мкм. Прибор имеет симметричную шкалу с 40 делениями.

Измерительное усилие создается плоской пружиной 2. С помощью специального эксцентрика она может менять направление действия усилия и соответственно направление перемещения измерительного наконечника. Рычажок переключения эксцентрика выведен на боковую стенку корпуса.

При коротком наконечнике измерительное усилие составляет 20 сН, а при длинном — 3 сН. Передаточное от-

ношение при юстировке регулируется изменением вылета консольной пружины 11.

Недостаток рычажно-пружинной головки — вибрация стрелки в процессе измерения.

В пружинных измерительных головках (микаторах и микрокаторах) в качестве чувствительного элемента используется та же скрученная тонкая бронзовая ленточка.

Малогабаритная пружинная головка (микатор) выпускается в соответствии с ГОСТ 14712—79 двух типов — ИПМ и ИПМУ. Кроме этого, выпускается не предусмотренный стандартом тип ИПМП. Конструкции этих головок практически одинаковы. Только головки типа ИПМП имеют дополнительный механизм, позволяющий изменять измерительное усилие.

Малогабаритная пружинная измерительная головка (микатор) типа ИПМ, являющаяся базовой моделью, показана на рис. 33. Измерительный стержень 7 установлен в шариковых направляющих 8 и воздействует на рычаг 9, подвешенный на плоских пружинах. Один конец пружинной ленты 3 прикреплен к рычагу 9, а другой — к консольной плоской пружине, которая позволяет регулировать передаточное отношение изменением ее вылета. Действие пружинного механизма аналогично его работе в микаторе.

Для обеспечения плавного перемещения стрелки 1 и исключения ее вибрации в процессе измерения в конструкции головки включен демпфер 2.

Измерительный стержень 7 в данной конструкции не связан жестко с рычагом 9 и имеет свободный ход, который намного больше диапазона показаний. Это обеспечивает защиту механизма от случайных ударов по измерительному стержню вдоль его оси.

Перемещение измерительного стержня вниз ограничивается упорным штифтом 10, а вверх — эксцентриком. Упорный штифт и эксцентрик регулируют при сборке и ремонте таким образом, чтобы в крайних положениях измерительного стержня стрелка находилась за пределами шкалы, но в поле зрения наблюдателя.

Настройка стрелки на нуль осуществляется винтом 6, поворотом которого изгибают кронштейн 4 с винтами 5.

На ободке головки имеются передвижные флажки-указатели 11 предельных отклонений, с помощью которых на шкале можно выделить участок, соответствующий допуску контролируемого параметра.

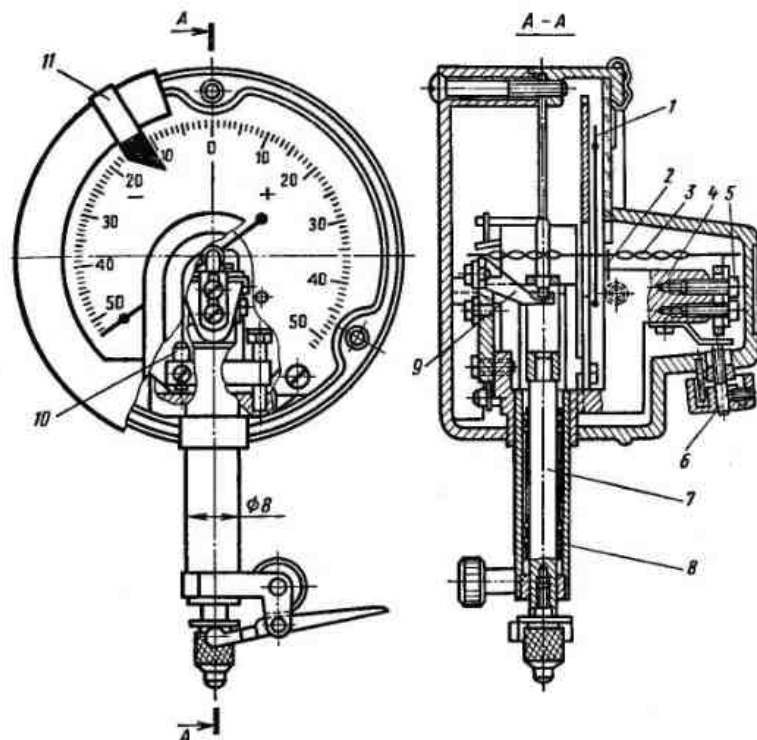


Рис. 33. Малогабаритная пружинная измерительная головка типа ИПМ

Микаторы имеют цену деления 0,0002; 0,0005; 0,001 и 0,002 мм. У всех микаторов симметричные шкалы со 100 делениями ( $\pm 50$ ). Микаторы с ценой деления 0,0002 мм имеют вместо шариковых направляющих подвеску измерительного стержня на плоских пружинах. Измерительное усилие создается в микаторе специальной пружиной (на рис. 33 не показана) в пределах 100—150 сН. Есть головки с уменьшенным до 50 сН измерительным усилием.

Пружинные измерительные головки (микрокаторы) выпускают согласно ГОСТ 6933—81 следующих типов: ИГП, ИГПУ и ИГПР. Принцип работы всех микрокаторов одинаков. Отличаются они друг от друга модификациями узла создания и регулировки измерительного усилия. В качестве примера рассмотрим конструкцию базовой модели — микрокатора ИГП (рис. 34).



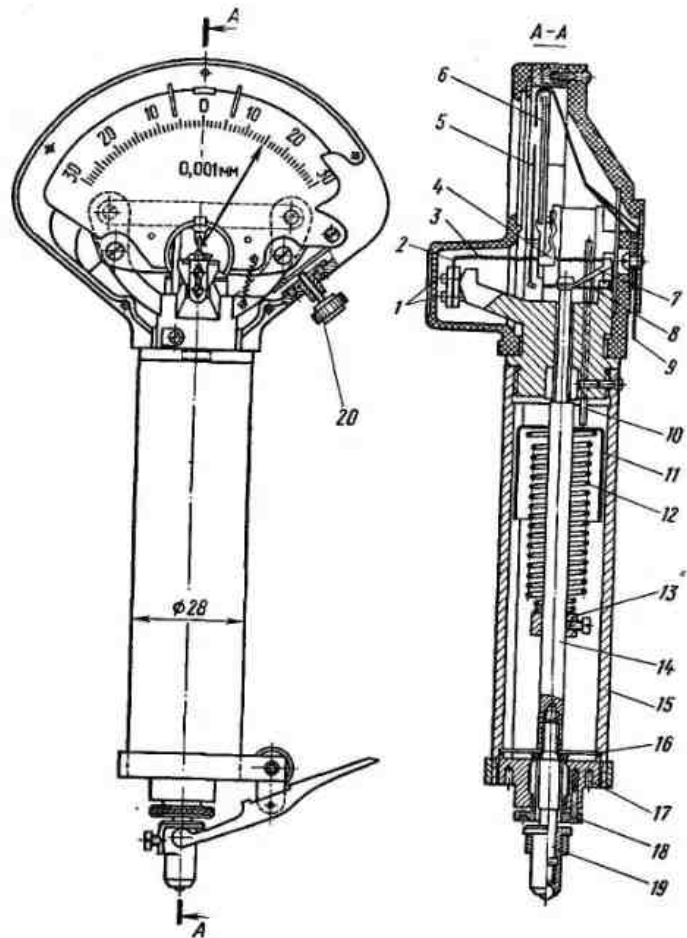


Рис. 34. Пружинная измерительная головка типа ИГП

На плоских пружинах 8 и 16 подвешен измерительный стержень 14. Пружина 16 выполнена в виде круглой мембраны с фигурными прорезями для придания ей лучшей податливости. Средняя часть пружины зажата между измерительным стержнем 14 и удлинителем 19, а края прижаты резьбовой втулкой 17 к запячку в трубке 15. Измерительный стержень 14 с помощью рычага 7 воздействует на ленточную пружину 3, которая одним

концом прикреплена к рычагу 7, а другим — к консольной пружине 2, зажатой винтами 1. В зависимости от перемещения измерительного стержня средняя часть пружины 3 и стрелка 5, прикрепленная к ней, поворачиваются на определенный угол. Показания снимают со шкалы 6, относительно которой перемещается стрелка, изготовленная из тонкой конической стеклянной трубочки диаметром 0,06—0,08 мм. Для удобства отсчета к одному концу трубочки приклеен окрашенный указатель из алюминиевой фольги, а к другому — капелька шеллака, играющая роль противовеса.

Для исключения вибраций стрелки в процессе измерения имеется демпфер 4, который выполнен в виде короткой трубочки. Сквозь трубочку проходит ленточная пружина. Трубочка расположена вблизи стрелки и заливается специальной демпфирующей жидкостью, которая обеспечивает успокоение стрелки.

Настройка прибора на нуль осуществляется винтом 20, который может перемещать шкалу относительно стрелки на ±5 делений. В ряде конструкций установка на нуль осуществляется винтом, расположенным не сбоку, а спереди. В этих конструкциях шкала выполнена неподвижной, а нуль устанавливают за счет деформации кронштейна, на котором закреплена консольная пружина (так же как в микроаторе ИГМ).

На задней стороне головки размещены два рычажка 9, передвигающие на шкале флажки-указатели предельных отклонений.

Для создания измерительного усилия служит пружина 12, сидящая на измерительном стержне 14. Пружина опирается одним концом на комутик 13, а другим — на дношко стаканчика 11. Сняв заднюю крышку, можно регулировать измерительное усилие за счет перемещения стаканчика 11 стержнем 10.

Измерительные усилия выпускаемых микроаторов различны и в зависимости от цены деления составляют 300—150, 150—40, 50 и 5 сН.

Головка крепится в стойке за трубку 15 диаметром 28 мм. Для предотвращения повреждения механизма головки во время транспортировки измерительный стержень (удлинитель) зажимается поворотом винта 18.

Все микроаторы снабжены съемными арретирующими устройствами, устанавливаемыми на нижнем конце трубки.

Головки ИГП выпускаются следующих модифика-

ций: 01ИГП; 02ИГП; 05ИГП; 1ИГП; 2ИГП; 5ИГП и 10ИГП и имеют цену деления соответственно: 0,0001; 0,0002; 0,0005; 0,001; 0,002; 0,005 и 0,01 мм. Головки типов ИГПУ и ИГПР имеют цену деления 0,0001; 0,0002; 0,0005 и 0,001 мм. Головки типов ИГП и ИГПУ выпускаются не по стандарту с ценой деления 0,0002 и 0,00005 мм.

Пружинно-оптические измерительные головки (оптикаторы) изготовляют в соответствии с ГОСТ 10593-74 четырех типов: 01П, 02П, 05П и 1П.

Конструкция узла измерительного стержня и пружинного передаточного механизма у оптикатора точно такая же, как у микрокатора. Однако вместо стрелки на средней части ленточной пружины наклеено маленькое зеркальце размером  $1,5 \times 1,5 \times 0,1$  мм и массой 0,5–2 мг. Угол поворота его пропорционален перемещению измерительного стержня. У оптикатора нет стрелки. Ее заменяет световой индекс со штрихом, перемещающийся по шкале прибора.

Пружинно-оптическая измерительная головка (оптикатор) показана на рис. 35. На среднем участке ленточной пружины 1 закреплено зеркальце 2. На задней стенке 9 головки закреплен осветитель 4 с лампочкой накаливания 5. Лучи света от лампочки проходят через оптическую систему, состоящую из линзы (конденсора) 6, прямоугольной диафрагмы 7 и объектива 8. В прямоугольной диафрагме натянута тонкая нить, дающая узкую теньевую полосу. Поэтому на зеркальце падает изображение квадратного отверстия диафрагмы («зайчик») с черной вертикальной риской. Это изображение проецируется на шкалу 3 оптикатора. Теневая риска на ярком фоне выполняет роль стрелочного указателя. Максимальной яркости и правильности положения зайчика на шкале добиваются регулировкой лампы в осветителе с помощью трех винтов, расположенных в корпусе патрона.

Для точной установки оптикатора на нуль пользуются винтом 11, которым поворачивают шкалу.

Следует отметить оригинальную конструкцию указателей предельных отклонений. Они выполнены в виде светофильтров красного и зеленого цветов. Светофильтрами с помощью кнопок 10 ограничивают участок шкалы, соответствующий полу допуска годной детали. В этом диапазоне шкалы «зайчик» имеет белый цвет. Если размер детали меньше наименьшего допустимого раз-

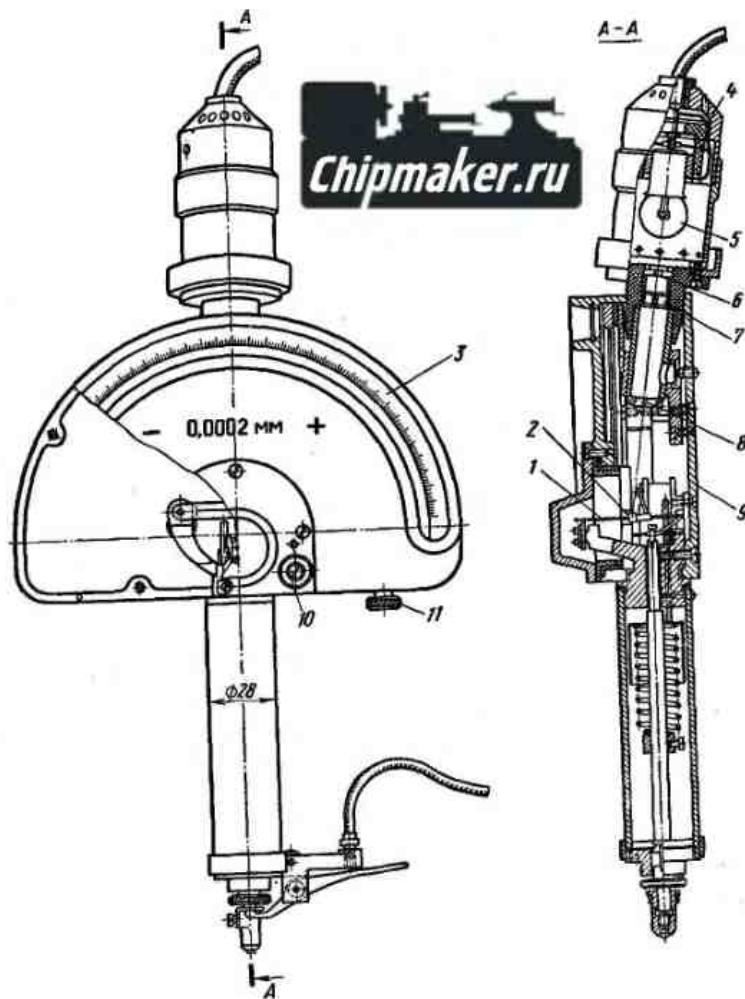


Рис. 35. Пружинно-оптическая измерительная головка

мера, то «зайчик» становится красного цвета, а если размер больше наибольшего допустимого значения, то «зайчик» становится зеленого цвета.

Использование в схеме прибора луча вместо стрелки позволило по сравнению с микрокатором получить цену деления 0,0001; 0,0002 и 0,0005 мм при более широком

диапазоне показаний, который составляет соответственно 0,024; 0,05 и 0,1 мм.

Все рассмотренные рычажно-пружинные, пружинные и пружинно-оптические измерительные головки применяются для высокоточных измерений линейных размеров методом сравнения. Они универсальны и могут использоваться со стойками как самостоятельные приборы или в измерительных и контрольных приспособлениях в качестве отсчетных устройств.

Указанные в паспорте измерительной головки метрологические характеристики будут реализованы только при условии соблюдения правила их эксплуатации, регулировки, ремонта и поверки. Особое внимание следует уделить головкам, в которых применяются плоская закрученная ленточная пружина. Эти высокоточные измерительные средства должны эксплуатироваться в чистом, сухом помещении. Температурный режим помещения должен соответствовать требованиям, оговоренным в паспорте головок. Приборы должны быть виброизолированы от работающих станков и машин. Для этих целей могут быть использованы стандартные или самодельные амортизаторы, виброизолирующие опоры столов, виброизоляционные подкладки под приборы и т. д.

Перед началом работы следует отвернуть втулку в нижней части крепежной трубки, блокирующую механизм головки во время транспортировки. По окончании работы рекомендуется ее опять завернуть. Устанавливать головку следует, удерживая ее за пластмассовый корпус, а не за металлическую трубку, чтобы не вызвать температурную погрешность. Необходимо остерегаться случайных ударов, особенно по измерительному наконечнику. Осветитель оптического прибора необходимо включать за 20—30 мин до начала работы с целью стабилизации температуры прибора. На измерительном стержне не следует допускать больших боковых усилий, так как это может привести к порче плоских пружин, на которых он подвешен. Перед прибором целесообразно поместить прозрачный экран из оргстекла, чтобы защитить прибор от непосредственного воздействия дыхания контролера. Протирать стекла приборов необходимо слегка смоченной легкой тканью. В таком случае не возникает поверхностного статического заряда, притягивающего стеклянную стрелку к защитному стеклу шкалы.

Подъем и опускание измерительного наконечника необходимо производить плавно, пользуясь только аррети-

ром. Следует избегать резких подъемов измерительного стержня и боковых ударов по наконечнику. Не допускается попадание масла и влаги на поверхность приборов.

При работе пружинных и пружинно-оптических головок возможна остановка стрелки или «зайчика» в одном положении во время перемещения измерительного стержня. Часто это связано с обрывом ленточной пружины или поломкой других элементов пружинного механизма. Замена испорченной пружины достаточно просто выполняется юстировщиком.

Из-за попадания влаги внутрь головки стрелка может залипать в крайних положениях. Для устранения этого явления достаточно обработать поверхности ограничителей крайних положений стрелки эфиром.

Для замены перегоревшей лампы в оптикаторе необходимо отвернуть гайку, крепящую патрон, вынуть его из корпуса вместе с лампой. Вставив патрон с исправной лампой на место, необходимо легким покачиванием добиться максимальной яркости «зайчика» и затянуть гайку крепления патрона.

В случае загрязнения оптической системы ее элементы можно очистить накрученной на палочку ватой, смоченной в эфире или спирте.

Необходимо регулярно производить поверку приборов. В процессе поверки проводят внешний осмотр, выявляющий забоины, царапины и другие дефекты измерительных поверхностей. Проверяют взаимодействие узлов и механизмов прибора, определяют изменение показаний головки при боковом усилии на измерительный стержень. Проверяют и регулируют измерительное усилие. Путем многократного арретирования (5—10 раз) оценивают вариацию показаний. Определяют погрешность показаний на всем диапазоне и в пределах нескольких нормированных участков шкалы. Поверку показаний измерительной головки производят по валуку с аттестованным биением. Эту операцию проводят при двух положениях головки — вертикальном и горизонтальном. В процессе поверки прибора рекомендуется осматривать измерительный наконечник с целью выявления внешних дефектов и возможных погрешностей формы и расположения измерительной поверхности и посадочного отверстия.

Целесообразно проводить проверку технического состояния стойки. Для этого выявляют правильность взаи-

модействия ее узлов и элементов, проверяют жесткость, плоскостность и шероховатость рабочей поверхности стола, перпендикулярность ее оси и оси посадочного отверстия в кронштейне.

### 3.9. Оптико-механические и оптические измерительные приборы

К оптическим приборам относятся средства, осуществляющие измерения путем использования законов распространения света в оптических системах. Как правило, в измерительных приборах оптическая система связана с механической. Приборы такого вида называют оптико-механическими. Прежде чем приступить к рассмотрению конкретных приборов, необходимо напомнить основные положения из курса физики.

В геометрической оптике принимается, что свет в однородной среде распространяется прямолинейно. Углом падения называют угол между направлением падающего луча и перпендикуляром к границе раздела сред, восставленным из точки падения.

Углом отражения называют угол между этим же перпендикуляром и направлением отраженного луча. Если падающие параллельные лучи после отражения остаются параллельными, то такое отражение называют *зеркальным*, а если они после отражения не параллельны, то *диффузионным*.

Линзой называют прозрачное тело, ограниченное двумя криволинейными поверхностями. Существуют линзы, ограниченные с одной стороны криволинейной поверхностью (выпуклой или вогнутой), а с другой стороны — плоскостью. Прямая, проходящая через центры кривизны поверхностей линзы, называется *главной оптической осью* линзы. Если одна из поверхностей линзы является плоскостью, то оптическая ось проходит перпендикулярно через центр кривизны второй поверхности. Точка линзы, через которую проходят лучи без изменения своего направления, называется *оптическим центром* линзы. Через него проходит и главная оптическая ось. В оптическом приборе линза, обращенная к предмету (объекту), называется *объективом*, а линза, обращенная к глазу (оку) наблюдателя, — *окуляром*. Окуляр и объектив состоят из нескольких линз. Точка, в которой сходятся лучи, называется *фокусом*. Плоскость, проходящая через фокус перпендикулярно главной оптической оси,

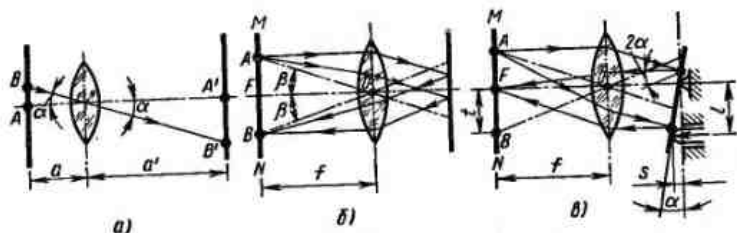


Рис. 36. Принципы оптического рычага и автоколлимации

называется *фокальной плоскостью*, а расстояние по главной оптической оси от фокальной плоскости до оптического центра линзы — *фокусным расстоянием* этой линзы. Любая прямая, проходящая через оптический центр линзы, называется *побочной осью* линзы.

Выше рассматривалась группа приборов, имеющих механический рычаг. В оптических приборах тоже есть свои *оптические рычаги*. Понять, что такое оптический рычаг, поможет схема (рис. 36, а). Предмет высотой  $AB$ , помещенный перед линзой на расстоянии  $a$ , даст свое изображение  $A'B'$  на экране, расположенном на расстоянии  $a'$ . Из этой схемы, по аналогии с механическим рычагом, можно определить передаточное отношение  $i_{op} = A'B'/AB = a'/a$ , где  $AB$  — высота предмета;  $A'B'$  — высота изображения предмета;  $a$  и  $a'$  — малое и большое плечи оптического рычага.

Оптический рычаг по сравнению с механическим обладает рядом преимуществ. В механических рычагах увеличение плеча рычага или увеличение передаточного отношения передачи влечет за собой либо увеличение габаритов прибора, либо значительные сложности, связанные с изготовлением малых плеч. В оптическом рычаге можно менять длину плеч введением в схему зеркал для повторных отражений лучей и не увеличивать габариты прибора.

Кроме оптического рычага в оптических и оптико-механических приборах широко используются *автоколлимационные системы*, которые позволяют усилить отклоняющее действие оптической системы путем многократных отражений (рис. 36, б).

Если в фокальной плоскости объектива поставить экран  $MN$ , поместить на нем источник света в точке  $A$ , поставить за объективом зеркало перпендикулярно главной оптической оси, то лучи, отразившись от зеркала

и пройдя через объектив, соберутся в точке *B* на плоскости экрана. В данном случае точка *B* будет являться автоколлимационным изображением точки *A*. При этом точка *B* исходя из равенства треугольников *AOF* и *BOF* (прямоугольные треугольники имеют общий катет и равные углы  $\beta$ ) будет расположена симметрично точке *A* относительно главной оптической оси ( $AF = BF$ ).

Если с помощью измерительного стержня, расположенного на расстоянии *l* от оси поворота зеркала, последнее отклонить на угол  $\alpha$  (рис. 36, в), то направление отраженных лучей изменится на угол  $2\alpha$  и изображение точки *A* теперь будет уже не в точке *B*. При угле  $2\alpha = \beta$  оно совпадет с главным фокусом оптической системы. В общем случае перемещение *t* автоколлимационного изображения точки *A* при повороте зеркала на угол  $\alpha$  будет равно  $ftg2\alpha$ , где *f* — фокусное расстояние.

Передаточное отношение такой системы определяется как отношение перемещения изображения точки *A* к соответствующему перемещению *S* измерительного стержня:  $i = t/S = ftg2\alpha / (ltg\alpha)$ .

При  $\alpha = 0$  передаточное отношение  $i = t/S = 2f/l$ .

Как видно из равенства, передаточное отношение автоколлимационной системы не зависит от расстояния между зеркалом и объективом. Это позволяет делать приборы с автоколлимационными системами достаточно компактными, обладающими высокой чувствительностью, и получать значение цены деления до 0,0002 мм.

Оптические рычаги и автоколлимационные системы используются в трубке оптиметра (рис. 37), автоколлиматоре и в пружинно-оптических приборах (например, в рассмотренном выше оптикаторе).

Лучи от источника света направляются (с помощью внешнего зеркала или без него) в призму 3 полного внутреннего отражения. Пройдя через призму, лучи попадают на шкалу, нанесенную на прозрачную пластину 2 (поле *a*), которая расположена в фокальной плоскости объектива 5. Пройдя через шкалу, каждый луч несет изображение той точки шкалы, через которую он прошел. Затем они попадают на призму 5, которая введена в схему только для поворота лучей на 90°. Отраженные от призмы лучи проходят через объектив 5 и падают на поверхность зеркала 6 параллельным пучком. Зеркало 6 установлено на шариковой опоре и может отклоняться на небольшие углы под действием измерительного стержня 8. Отраженные от зеркала параллельные лучи,

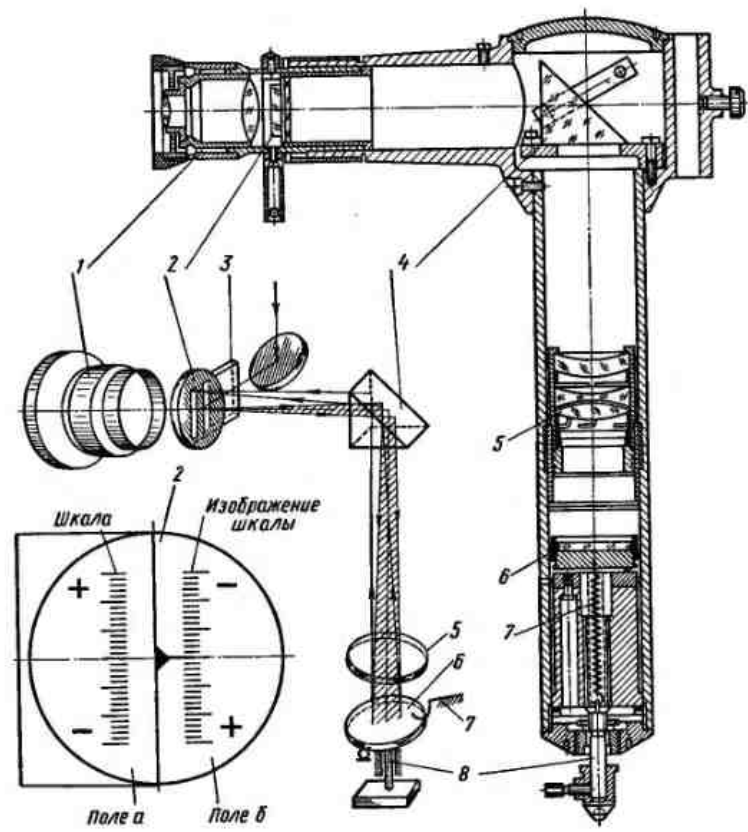


Рис. 37. Трубка оптиметра

пройдя обратно через объектив и призму 4, дают на поле *б* стеклянной пластины 2 автоколлимационное изображение шкалы. Поле *а* стеклянной пластины закрыто от наблюдателя окрашенной снаружи призмой 3 (закранировано). Соседнее поле *б* является экраном, на котором наблюдатель видит изображение шкалы со штрихами и цифрами. В центре пластины нанесен неподвижный указатель в виде черного треугольника со штрихом. Этот штрих играет роль стрелки, относительно которой будет перемещаться автоколлимационное изображение шкалы, пропорционально связанное с перемещением измерительного стержня. Наблюдатель через окуляр 1 может оценить перемещение измерительного наконечника 8 по по-

ложению изображения шкалы относительно указателя. Измерительное усилие создается пружиной 7, прижимающей зеркало к торцу измерительного стержня.

Трубка оптиметра имеет симметричную шкалу с диапазоном  $\pm 100$  делений. Цена деления 0,001 мм. Диапазон показаний  $\pm 0,1$  мм.

Трубка оптиметра в качестве отсчетного устройства используется в различных приборах. В зависимости от положения трубки в приборе различают вертикальные и горизонтальные оптиметры. По способу отсчета они бывают окулярные и экранные.

Вертикальные оптиметры типов ОВО-1, ОВЭ-1 и ОВЭ-02 и горизонтальные оптиметры типов ОГО-1 (ИКГ) и ОГЭ-1 выпускают в соответствии с требованиями ГОСТ 5405-75.

Оптиметры применяют для измерений методом сравнения концевых мер длины, калибров, шариков, роликов и других деталей высокой точности. Тонкие пластины, проволока и детали, имеющие размеры менее 0,2 мм, могут быть измерены на оптиметре методом непосредственной оценки.

Вертикальный оптиметр типа ОВО-1 (рис. 38) состоит из двух стандартных узлов: трубки оптиметра 2 и стойки типа С-П. На трубке оптиметра закреплены внешнее зеркало 1 для направления светового потока в щель приемной призмы и арретир 13. Трубка зажимается в разрезной муфте кронштейна 4 винтом 14. Кронштейн 4 фиксируется в требуемом положении на колонке 3 с ленточной резьбой винтом 5. Перемещение кронштейна по колонке осуществляется гайкой 6 при отпущенном винте 5. Стол 7 устанавливается в положение, перпендикулярное оси измерительного наконечника 12, с помощью трех микрометрических винтов 11 по соответствующей методике. Стол может перемещаться в вертикальном направлении (в пределах нескольких миллиметров) с помощью

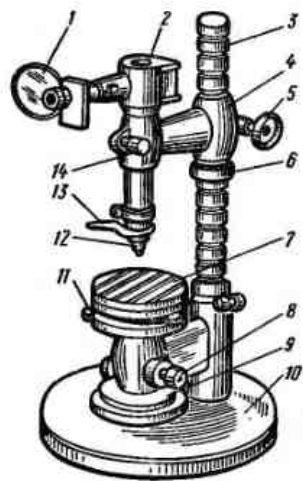


Рис. 38. Вертикальный оптиметр типа ОВО-1

микрометрической гайки 9, а затем фиксироваться винтом 8. Колонка запрессована в массивное основание 10, обеспечивающее надежную устойчивость прибора.

Для проверки правильности положения предметного столика на измерительном стержне оптиметра устанавливают сменный наконечник с плоской доведенной пяткой. К поверхности столика притирают плоскопараллельную концевую меру длины размером около 10 мм. Ослабив винт 5, осторожно, с помощью гайки 6 опускают по колонке кронштейн с трубкой оптиметра до касания наконечника с концевой мерой длины. О моменте касания судят по началу движения шкалы (изображения шкалы) относительно указателя. После этого стопорят винт 5. Рекомендуется создать предварительный натяг между пяткой наконечника и мерой и для удобства отсчета установить шкалу на нулевую отметку. Для этого отпускают винт 8, микрогайкой 9 доводят шкалу до нуля и фиксируют винт 8. Затянув винт 8, перемещают меру на  $2/3$  ее длины в двух взаимно перпендикулярных направлениях. По четырем измерениям судят о положении поверхности предметного стола. Если его плоскость не параллельна плоской пятке измерительного наконечника, то показания будут различными. В этом случае прибегают к регулировке стола с помощью микровинтов 11 до положения, при котором все показания будут одинаковыми.

Настраивая прибор на нуль, гайкой 6 устанавливают изображение шкалы так, чтобы нулевой штрих был несколько ниже указателя. Далее выполняют тонкую настройку на нуль перемещением стола, проводят проверку на стабильность показаний арретиром, корректируют настройку на нуль, с помощью арретира отводят наконечник, снимают концевую меру. При измерении сначала поднимают наконечник, ставят под него деталь, опускают наконечник и определяют по шкале отклонение действительного размера от настроечного. Сменные измерительные наконечники значительно расширяют возможности оптиметра. Сферические наконечники позволяют с высокой точностью измерять плоские и цилиндрические детали диаметром более 10 мм; ножеобразные наконечники — цилиндрические детали диаметром менее 10 мм; плоские наконечники — сферические детали (например, шарики).

Измеряемые изделия могут быть установлены либо непосредственно на гладкий предметный стол, либо на

накладной ребристый столик, который притирается к предметному столу. Цилиндрические детали прокатывают под измерительным наконечником для определения диаметрального размера.

Вертикальные оптиметры типа ОВЭ более удобны в работе тем, что отсчет у них производится с экрана, это делает процесс контроля менее утомительным и позволяет значительно повысить его производительность. Вертикальный оптиметр типа ОВЭ-1 имеет те же метрологические показатели, что и типа ОВО-1.

Вертикальный оптиметр типа ОВО-02, выпущенный впервые фирмой «Цейсс», был назван ультраоптиметром. Это название сохранялось за оптиметрами, имеющими цену деления 0,0002 мм.

Оптическая схема и внешний вид вертикального оптиметра типа ОВО-02 (ультраоптиметр) показаны на рис. 39. На стеклянной пластине 13 помещена шкала, которая освещается источником света 6, содержащим лампочку и конденсор (линзу или систему линз, используемых в осветительных системах для создания параллельного светового пучка). Шкала установлена в фокальной плоскости объектива 15, после которого лучи идут параллельно пучком, отражаются от подвижного зеркала 16, попадают на неподвижное зеркало 14 и вновь падают на подвижное зеркало. Двукратное отражение лучей от подвижного зеркала значительно увеличивает передаточ-

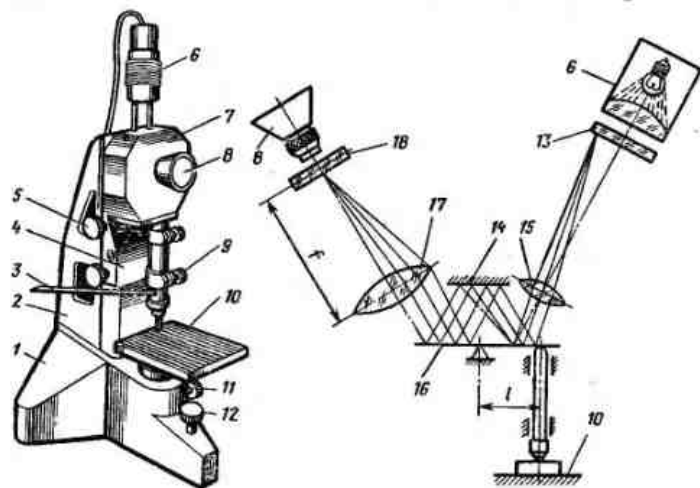


Рис. 39. Вертикальный оптиметр типа ОВО-02

ное отношение прибора. Отразившись вторично от зеркала 16, лучи направляются на второй объектив 17, в фокальной плоскости которого расположена стеклянная пластина 18 с неподвижным указателем. На эту пластину проецируется изображение шкалы с пластины 13. Отсчет осуществляется с окуляра 8 по взаимному положению шкалы и указателя.

Оптиметр крепят на стойке С-1, состоящей из массивного основания 1 с колонной 2, имеющей направляющие. По направляющим может перемещаться кронштейн 4 и фиксироваться в нужном положении винтами 5. Головка оптиметра 7 крепится в кронштейне винтами 9. Ребристый предметный стол 10 может перемещаться в вертикальном направлении с помощью микровинта 12 и стопорится винтом 11. Оптиметр снабжен арретиром 3.

Цена деления ультраоптиметра составляет 0,0002 мм, диапазон показаний  $\pm 0,083$  мм, измерительное усилие  $(200 \pm 20)$  сН.

Для расширения метрологических возможностей вертикальных оптиметров используют различные приспособления и накладные унифицированные столы. Так, для измерения среднего диаметра резьбового калибра методом трех проволок используют стол типа С-5, а для измерения диаметра проволок — приспособление ИП-1. При измерении мелких деталей с выточками и уступами применяют стол С-7. Стол С-8 имеет сферическую поверхность и предназначен для опоры тонких листовых изделий в процессе измерения. Для измерения концевых мер длины размерами до 20 мм применяют ребристый стол со сферической агатовой опорой и т. д.

На горизонтальных оптиметрах можно измерять наружные размеры до 350 мм и внутренние от 1 до 150 мм. При измерениях внутренних размеров от 1 до 13 мм горизонтальный оптиметр оснащается дополнительно электроконтактной головкой ГК-3. При размерах свыше 13 мм применяют приспособление ИП-3.

Горизонтальный оптиметр типа ОГО-1 (ИКГ) имеет массивное чугунное основание 15 с закрепленной в нем горизонтальной направляющей 13 кронштейнов 1 и 12 (рис. 40). Во избежание проворота кронштейнов они снабжены шпонками, взаимодействующими со шпоночным пазом направляющей 13. В правом кронштейне установлена трубка 10, а в левом — пиноль 4, которые крепятся в верхних отверстиях кронштейнов с помощью винтов 11 и 5.

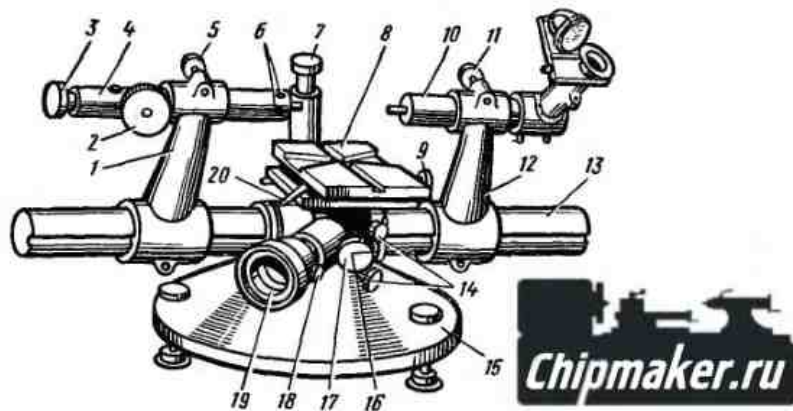


Рис. 40. Горизонтальный оптиметр типа ОГО-1

Стол 8 может перемещаться в трех взаимно перпендикулярных направлениях (вверх-вниз, перпендикулярно линии измерения и вдоль нее). Кроме этого, он может поворачиваться вокруг вертикальной и горизонтальной оси, перпендикулярной линии измерения. Подъем — опускание стола производится маховиком 19. В требуемом по высоте положении стол стопорится винтом 18. Винты 14 позволяют ограничить крайние положения стола по высоте. Поперечное перемещение стола производится поворотом маховичка 9, а продольное — приложением незначительного усилия, так как стол выполнен плавающим в этом направлении за счет направляющих качения. Поворот стола вокруг горизонтальной поперечной оси осуществляют маховичком 17 и фиксируют в нужном положении стопором 16. Пользуясь рычагом 20, поворачивают стол вокруг вертикальной оси, преодолевая трение в направляющих. Для крепления вспомогательного упора, используемого при измерении партии одинаковых деталей или головки ГК-3, прибор имеет стойку с винтом 7. Измерения осуществляют с помощью измерительных наконечников, устанавливаемых на стержни пинноли и трубки оптиметра. Пиноль снабжена винтом 3 микроподачи левого наконечника. Винт 2 является стопором микроподачи наконечника.

Несмотря на то что шпоночный паз направляющей 13 и шпонки кронштейнов обеспечивают соосность пинноли и трубки оптиметра, перед настройкой прибора на нуль

проводят проверку соосности наконечников. Необходимо добиться, чтобы сведенные сферические наконечники пинноли и трубки оптиметра касались друг друга выступающими точками сферических поверхностей.

Для этого перемещают кронштейны друг к другу почти до касания наконечников, отпускают стопор 2, вращают микровинт 3, наблюдая в окуляр за шкалой оптиметра. Момент касания совпадает с началом движения шкалы относительно указателя.

Установив микровинтом 3 шкалу в нулевое положение, фиксируют его стопором 2. Затем отверткой вращают последовательно два винта 6, с помощью которых наконечник пинноли может перемещаться в двух взаимно перпендикулярных радиальных направлениях. Поворачивая винты, наблюдают в окуляр за перемещением шкалы. Наибольшему отклонению по шкале будет соответствовать правильное положение наконечников в этой плоскости. При пользовании наконечниками с плоскими измерительными поверхностями их выставляют на соосность с помощью концевой меры размером 0,5—2 мм. Ее помещают между наконечниками и выполняют регулировку в той же последовательности. Правильному взаимному положению наконечников будут соответствовать наименьшие показания по шкале оптиметра. В процессе измерений большое внимание уделяют правильной установке детали относительно линии измерения прибора.

Способы установки зависят от условий измерений и сводятся к трем основным случаям: измерение размера между параллельными поверхностями; измерение диаметральных размеров; измерение размеров, ограниченных сферическими поверхностями.

Наиболее типичным примером первого случая является настройка прибора на нуль и последующее измерение концевых плоскопараллельных мер длины. Так как измерение меры должно проводиться по линии, перпендикулярной ее рабочим поверхностям, настройка прибора сводится к получению минимальных показаний по шкале оптиметра. Для этого измерительные наконечники пинноли и трубки оптиметра приводят в соприкосновение с рабочими поверхностями меры. Поворотом стола вокруг вертикальной оси и покачиванием его вокруг горизонтальной оси добиваются наименьших показаний по шкале трубки оптиметра. Оставив стол в этом положении, микровинтом пинноли подводят нуль шкалы к штриху



указателя. Для контроля правильности установки перемещают концевую меру относительно наконечников в поперечном и вертикальном направлениях, проводят окончательную корректировку нуля микровинтом. После этого затягивают стопорный винт пинולי и, отведя наконечник арретиром, снимают со стола установочную концевую меру и ставят проверяемую. Прodelывая со столом те же манипуляции, что и при настройке на нуль, определяют отклонение размера проверяемой меры от установочной.

При измерении наружных диаметров ось изделия должна быть перпендикулярна линии измерения. Независимо от расположения оси изделия (вертикально или горизонтально) диаметральный размер определяется при наибольшем показании по шкале, а перпендикулярность оси изделий к линии измерения — наименьшими показаниями прибора.

При измерении размеров, ограниченных сферическими поверхностями (например, диаметр шарика), стол оптиметра перемещают в двух взаимно перпендикулярных направлениях — вертикальном и поперечном. О диаметре шарика судят по наибольшим отклонениям шкалы от указателя.

При измерении длины валика, имеющего торцы в виде сфер, покачивают стол около горизонтальной оси и поворачивают вокруг вертикальной до получения минимальных показаний оптиметра.

Измерение внутренних размеров (калибров-скоб, колец и т. п.) производят с помощью приспособления ИП-3, которое представляет собой два дугообразных кронштейна, которые одевают на концы пинולי и трубки оптиметра.

По блоку концевых мер с притертыми боковиками или аттестованному кольцу оптиметр настраивают перед измерением внутренних размеров на нуль. Методика настройки прибора на нуль по концевой мере и последующее измерение размера между плоскими поверхностями детали (например, измерение размера калибра-скобы) такие же, как при измерении наружных размеров изделий с плоскими поверхностями.

Настройка прибора на нуль по аттестованному кольцу и измерение внутренних диаметров производится так же, как при измерении наружных цилиндров.

Основным недостатком всех приборов, измеряющих методом сравнения, является необходимость их предва-

рительной настройки на нуль. Эта операция создает значительные неудобства при измерении малых партий деталей, снижая производительность. Другим недостатком оптических приборов, использующих в схемах оптические рычаги и автоколлимационные системы, является ограниченный диапазон показаний по шкале.

Этих недостатков лишены оптические длиномеры (компараторы). Они предназначены для измерений методом непосредственной оценки длин до 100 мм, методом сравнения — свыше 100 мм.

В соответствии с ГОСТ 14028—68 выпускаются вертикальные оптические длиномеры с окулярным отсчетом типа ДВО (ИЗВ-2), вертикальные оптические длиномеры с отсчетом по экрану типа ДВЭ (ИЗВ-3) и горизонтальные оптические длиномеры с отсчетом по экрану типа ДГЭ (ИКУ-2). Особенностью таких приборов является соблюдение в их схеме принципа Аббе.

Вертикальный оптический длиномер типа ДВО (рис. 41) имеет массивное основание 1, на котором закреплен ребристый стол 2. Его поверхность строго перпендикулярна линии измерения. На колонне 18, жестко соединенной с основанием, имеются ленточная резьба и резьбовое кольцо 17, с помощью которого корпус длиномера можно перемещать вертикально. В нужном положении его можно фиксировать винтами 15. На корпусе расположены кронштейн 16 для крепления осветительного устройства и головка типа ОМС микроскопа 6 со спиральным нониусом. В корпусе имеется вертикальная цилиндрическая расточка, где смонтированы направляю-

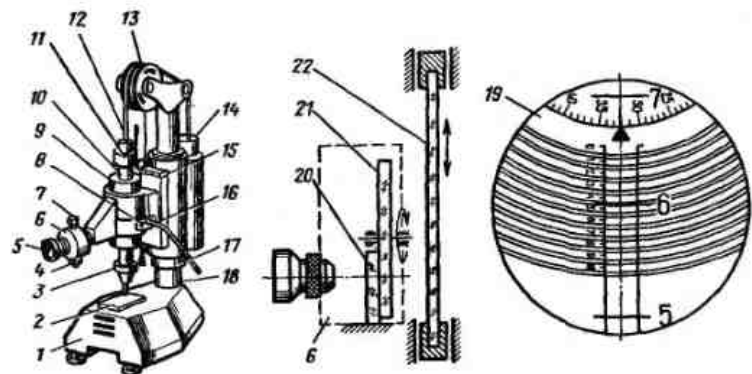


Рис. 41. Вертикальный оптический длиномер типа ДВО

щие 9 для перемещения по ним измерительного шпинделя 10 с закрепленными на нем пластиной 22 со шкалой и измерительным наконечником. Направляющие качения обеспечивают легкое и плавное перемещение шпинделя вверх-вниз. Вес шпинделя уравнивается противовесом, перемещающимся в цилиндре 14, заполненном вазелиновым маслом. Цилиндр с маслом служит демпфером. Противовес соединен со шпинделем гибкой стальной лентой 12, перекинутой через блок 13. Это устройство обеспечивает плавное перемещение плунжера и предупреждает повреждение измерительного стержня. Подъем шпинделя осуществляется за кнопку 3, прикрепленную к концу тросика, намотанного на шкив, который сидит на одной оси с блоком. Опускание шпинделя происходит под действием собственного веса при отпущенном винте 8. Измерительное усилие в данном случае равняется разности веса шпинделя и противовеса и регулируется с помощью шайб-разновесов 11.

Оптическая схема длиномера состоит из трех шкал, окуляра и источника света с конденсором. Шкала, нанесенная на стеклянной пластине 22, расположенной на шпинделе имеет миллиметровые деления. Головка микроскопа 6 содержит две стеклянные пластины: неподвижную 20 с нанесенной на ней по вертикали шкалой с ценой деления 0,1 мм и вращающуюся 21. На пластине 21 нанесены двойная спираль Архимеда и круговая шкала с ценой деления 0,001 мм.

Отсчетная головка микроскопа типа ОМС с окуляром 5, примененная в оптическом длиномере, широко используется в различных приборах. Все три пластины прозрачные, поэтому изображения шкал накладываются друг на друга и увеличиваются окуляром (см. поз. 19). Большие горизонтальные штрихи с крупными цифрами — это видимые в окуляр деления миллиметровой шкалы на пластине 22. На вертикальной линии нанесены маленькие штрихи с цифрами от 0 до 10. Если совместить штрих миллиметровой шкалы с нулем, то следующий миллиметровый штрих обязательно совпадет с 10, т. е. в одном делении миллиметровой шкалы помещается десять делений шкалы на пластине 20. Цена деления, таким образом, составляет 0,1 мм.

В приборе роль указателя десятых долей миллиметра выполняет штрих миллиметровой шкалы. Спираль Архимеда на пластине 21 нанесена с шагом 0,1 мм, т. е. при полном повороте пластины 21 точки спирали переместят-

ся в вертикальном направлении на 0,1 мм. Так как круговая шкала на пластине 21 имеет 100 делений, то повороту диска на одно деление относительно треугольного неподвижного указателя соответствует перемещение точки спирали Архимеда на 0,001 мм.

Отсчет по окуляру осуществляют следующим образом. В окуляр наблюдают миллиметровый штрих, попавший в поле шкалы десятых долей миллиметра (6 мм). Десятые доли миллиметра отсчитывают по штриху вертикальной шкалы, расположенному выше миллиметрового штриха (на рис. это значение 4). Спираль Архимеда (для повышения точности отсчета) выполнена двойной. Вращая винт 4 (в любую сторону), добиваются, чтобы двойная линия спирали заняла симметричное положение относительно штриха миллиметровой шкалы. По круговой шкале отсчитывают сотые и тысячные доли миллиметра. Отсчет окончательно равен 6,432. Итак, с миллиметровой шкалы считывают целые миллиметры, с малой вертикальной — их десятые доли, с круговой — сотые и тысячные. Сумма отсчетов дает абсолютное значение измеряемого размера.

Настройка прибора на нуль осуществляется винтом 7.

С помощью длиномера можно измерять размеры более 100 мм методом сравнения с мерой. Настройку прибора на нуль осуществляют по концевой мере длины размером 100 (150) мм. Для этого необходимо ослабить винты 15, резьбовым кольцом поднять корпус несколько выше установочной меры, отпустить винт 8, подождать, пока измерительный наконечник коснется рабочей поверхности меры. Затем, пользуясь нониусом головки 6 с установленной в нулевое положение круговой шкалой, опустить корпус длиномера по колонне с помощью резьбовой гайки до примерного совпадения нулевых штрихов шкал, затянуть винты 15 и провести тонкую подстройку нуля винтом 7. Не следует отсчитывать на глаз десятые доли круговой шкалы, так как погрешность прибора значительно превышает 0,0001 мм.

Вертикальный длиномер типа ИЗВ-2 по принципу построения и отсчета результата измерений ничем не отличается от типа ДВО. Изменены только некоторые конструктивные решения. Так, стойка вместо винтовой колонны имеет жесткие и более точные направляющие типа «ласточкин хвост». Корпус прибора перемещается по ним с помощью реечного механизма. В приборе нет противовеса и масляного демпфера. Для удобства ра-

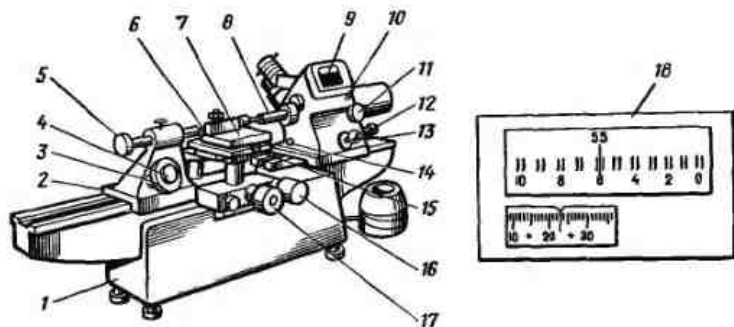


Рис. 42. Горизонтальный оптический длиномер типа ДГЭ (ИКУ-2)

боты окуляр расположен под углом  $45^\circ$  и сбоку от направляющих шпинделя. Метрологические показатели длиномера типа ИЗВ-2 те же, что у ИЗВ-1.

Горизонтальный оптический длиномер типа ДГЭ (ИКУ-2) похож на горизонтальный оптиметр, но собран на более жесткой станине (рис. 42). По направляющим станины 1 могут перемещаться две бабки — измерительная 10 и пинольная 2. В средней части станины расположен предметный стол 7. В измерительном шпинделе 8 смонтирована миллиметровая шкала, соединенная с измерительным стержнем. Грубое перемещение шпинделя осуществляется маховиком 11, а тонкое — микровинтом 12. Для фиксации шпинделя предусмотрен стопор 13. Перемещать пинольную бабку 2 можно маховиком 3, а фиксировать — винтом 4. Тонкую подачу наконечника пиноли 6 можно осуществлять вращением микрометрического винта 5. Предметный стол 7 имеет те же движения, что и в горизонтальном оптиметре. Стол может с помощью маховичка 17 перемещаться в вертикальном направлении, а винтом 14 — в горизонтальном поперечном. Верхняя («плавающая») часть стола на шариках может легко перемещаться в горизонтальном продольном направлении. Вокруг вертикальной оси стол может поворачиваться маховичком 16, а вокруг горизонтальной поперечной — маховичком 15. Показания отсчитывают с экрана 9.

Оптическая схема прибора сочетает в себе элементы схемы оптиметра и оптического длиномера. В отличие от схемы вертикального длиномера изображение 18, проецируемое на экран, является автоколлимационным изображением шкал, нанесенных на соответствующих оптических элементах. Изображение участка миллиметро-

вой шкалы, смонтированной на измерительном шпинделе, проецируется на неподвижную пластинку с десятичной шкалой (такой же, как у вертикального длиномера), а их совмещенное изображение проецируется в верхний кадр экрана, на котором можно предварительно отсчитать 55,6 мм. В шпинделе также находится зеркало, как у трубки оптиметра. На это зеркало действует измерительный стержень и поворачивает его на угол, пропорциональный измеряемому размеру. Оптическая схема, идентичная трубке оптиметра, создает в нижнем кадре изображение третьей шкалы с ценой деления  $0,001$  мм и со знаком. Как и в трубке оптиметра, эта шкала перемещается с перемещением стержня. На рис. 42 отсчет по этой шкале равен  $0,023$ . Суммируя отсчеты по всем шкалам, получают размер измеряемой детали, равный  $55,623$  мм.

Для измерений методом непосредственной оценки (длины до 100 мм) необходимо, так же как и в горизонтальном оптиметре, добиться соосности измерительных наконечников. Затем настраивают прибор на нуль. Для этого микровинтом 12 устанавливают нуль в верхнем кадре, а микровинтом 5 пиноли — в нижнем кадре. После этого отводят измерительный стержень, устанавливают и закрепляют на предметном столе измеряемую деталь и подводят к ней наконечник измерительного стержня до тех пор, пока показания в нижнем кадре не будут близки к нулю. Затем микровинтом 12 совмещают штрих основной миллиметровой шкалы с серединой ближайшего двойного штриха шкалы с ценой деления  $0,1$  мм. Для установки измеряемых поверхностей в положение, перпендикулярное линии измерения, перемещают предметный столик. Перемещения эти зависят от формы измеряемой детали. Процесс установки осуществляется с использованием показаний прибора так же, как и в горизонтальном оптиметре.

Измерение объектов длиной более 100 мм производят методом сравнения с мерой.

На горизонтальном длиномере можно измерять призматические детали длиной от 0 до 500 мм, цилиндрические — от 0 до 225 мм и внутренние размеры от 13,5 до 150 мм. Для расширения метрологических возможностей в комплект прибора входят горизонтальные и вертикальные центра, приспособление для измерения резьбовых колец, электроконтактная головка с электронно-оптическим индикатором. Индикатор позволяет фиксировать с большой точностью момент касания измеритель-

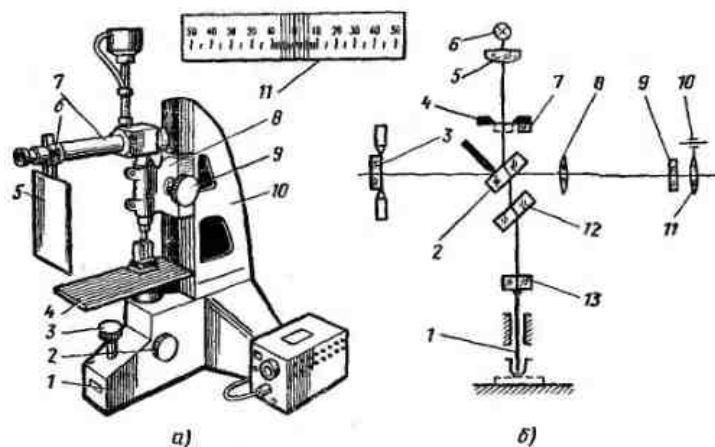


Рис. 43. Вертикальный контактный интерферометр типа ИКПД

ного наконечника поверхности измеряемого объекта при измерении внутренних размеров.

Особо точные изделия успешно измеряют с помощью интерферометров — оптико-механических приборов для линейных измерений, использующих в своей схеме явление интерференции световых волн. Наибольшее распространение в нашей стране получили контактные интерферометры типов ИКПВ (вертикальный) и ИКПГ (горизонтальный) и бесконтактные интерферометры Кестерса (ГДР).

Контактный интерферометр (рис. 43, а) применяют для проверки концевых мер длины 2, 3 и 4-го разрядов и классов точности 0, 1, 2.

Основным узлом прибора является интерференционная трубка 7. Принцип ее действия основан на следующем: если пучок света с помощью какого-нибудь устройства разделить в пространстве на два пучка, направить их разными путями, а потом свести вместе, то можно наблюдать интерференционную картину — чередующиеся черные и белые полосы.

Оптическая схема контактного интерферометра (рис. 43, б) построена по известной схеме двухлучевого интерферометра Майкельсона. От лампы 6 свет с помощью конденсора 5 через ограничительную диафрагму 4 направляется параллельным пучком на полупрозрачную разделительную пластину 2. Пластина является устройством,

которое разделяет пучок параллельных лучей на два. Часть лучей, отразившись от полупрозрачного покрытия нижней поверхности пластины 2, направляется на неподвижное зеркало 3, отражается от него и, вновь пройдя через пластину 2 и объектив 8, попадает на пластину 9. На поверхности пластины 9 нанесена линейная шкала. Другие лучи, пройдя через полупрозрачную пластину, следуют далее через компенсационную пластину 12 и попадают на поверхность зеркала 13. Зеркало 13 жестко связано с измерительным стержнем 1. От зеркала 13 лучи идут в обратном направлении и, отразившись от нижней поверхности разделительной пластины 2, попадают на пластину 9. В случае небольшой разности оптических путей двух пучков света на пластине 9 (на фоне шкалы) возникает интерференционная картина. Интерференционные полосы и шкалу наблюдают через окуляр 11, который может поворачиваться вокруг оси 10, расположенной параллельно главной оптической оси. Это позволяет рассматривать через окуляр интересные участки шкалы с минимальным искажением.

Перемещение измерительного стержня вызывает перемещение интерференционной картины вдоль шкалы 11 (см. рис. 43, а).

При установке сменного фильтра 7 световой поток становится состоящим из лучей с одинаковыми длинами волн и картина интерференции на шкале 11 будет иметь вид ряда темных полос с цветными (цвета фильтра) промежутками. Если фильтр убрать, то лучи белого света дадут интерференционную картину в виде ряда радужных полос с черной полосой в середине.

Если измерения проводят в белом свете, то черную интерференционную полосу принимают в качестве указателя шкалы, имеющей  $\pm 50$  делений.

Контактный интерферометр имеет переменную цену деления шкалы. Она может иметь значение от 0,00005 до 0,0002 мм.

Настройка цены деления возможна только при наличии светофильтра, позволяющего создать поток лучей одинаковой длины волны (мономатический свет) и обеспечить интерференционную картину, состоящую из большого числа черных полос.

Изменяя угол наклона зеркала 3, можно уменьшить или увеличить расстояние между полосами. Чем больше расстояние между полосами, тем меньше цена деления.

Наилучшую точность настройки достигают при ценах

деления 0,00005; 0,0001 и 0,0002 мм. При этом необходимо разместить в расчетном диапазоне шкалы соответственно 8, 16 и 32 интервалов между интерференционными полосами. Диапазон шкалы (количество делений) рассчитывают по формуле  $n = (\lambda/2) \cdot (k/c)$ , где  $n$  — число делений шкалы, на которых должно разместиться целое число интервалов интерференционной картины;  $k$  — принятое (целое) число интервалов между интерференционными полосами;  $c$  — требуемая цена деления, мкм;  $\lambda$  — длина световой волны, мкм.

Учитывая приведенные выше соотношения цены деления и количества интервалов, можно записать  $n = (\lambda/2) 160$ .

На каждом светофильтре указана длина волны монохроматического света, пропускаемого этим фильтром. Так, для зеленого фильтра  $\lambda = 0,550$  мкм. Следовательно, диапазон шкалы равен 44 делениям.

Градуировка прибора считается удовлетворительной, если при многократном арретировании погрешность совмещения принятого числа интервалов между интерференционными полосами с расчетным диапазоном шкалы (в нашем случае 44 деления) не превышает 0,1 значения требуемой цены деления.

После настройки убирают светофильтр и черную полосу устанавливают в исходное положение для измерения. Полосу устанавливают сначала грубо с помощью винта 3 (рис. 43, а), а потом точно винтом 6.

Трубка 7 крепится в кронштейне 8 салазок, которые могут перемещаться по вертикальному направляющим колонны 10 с помощью реечного механизма с маховиком 9. Измерительный рифленый стол 4 можно перемещать в вертикальном направлении с помощью винта 3 и фиксировать в требуемом положении винтом 2. Для теплоизоляции предметного стола 4 прибор снабжен прозрачным экраном 5. Массивное основание 1 обеспечивает устойчивое положение прибора. С помощью винта 6, расположенного на трубке, можно перемещать шкалу в пределах  $\pm 10$  делений.

Вертикальный интерферометр имеет пределы измерений от 0 до 150 мм. Измерительное усилие регулируется и может быть 75–275 мН. Разность показаний при измерениях одной и той же величины на положительной и отрицательной частях шкалы не превышает 0,02 мкм.

Вертикальный контактный интерферометр с экраным отсчетом мод. 272 имеет переменную цену деления

0,02; 0,05 и 0,1 мкм, диапазон измерений 0,1–100 мм и предельную допускаемую погрешность  $\pm (0,02 - 0,05)$  мкм.

Вертикальные интерферометры настраиваются на размер точно так же, как вертикальные оптиметры. Пользуясь черной полосой как указателем, прибор настраивают на нуль по концевой мере соответствующего размера. Заменяют концевую меру изделием и, зная цену деления шкалы, определяют отклонения (со знаком) действительного размера изделия от размера меры.

В комплекте с прибором поставляются плоский и сферический наконечники, плоский стол (основной) для измерения цилиндрических и сферических изделий высотой до 150 мм, ребристый стол с выступающей сферической вставкой для концевых мер размером до 20 мм и ребристый стол для призматических изделий высотой 150 мм. Кроме этого, к прибору могут быть приложены различные приспособления (для измерения диаметра шариков, роликов, тонкой ленты и т. д.).

Горизонтальный контактный интерферометр с переменной ценой деления типа ИКПГ (рис. 44) имеет станину 8, выставляемую по уровню опорными регулируемыми винтами. По направляющим станины с помощью маховиков 1 и 7 можно перемещать пинольную бабку 2 и измерительную бабку 5 с закрепленной на ней в горизонтальном положении трубкой 6 интерферометра. На станине смонтирован предметный стол 4. Предметный стол и пиноль 3 той же конструкции, что и в горизонтальном оптиметре.

Регулировку соосности наконечников, настройку на

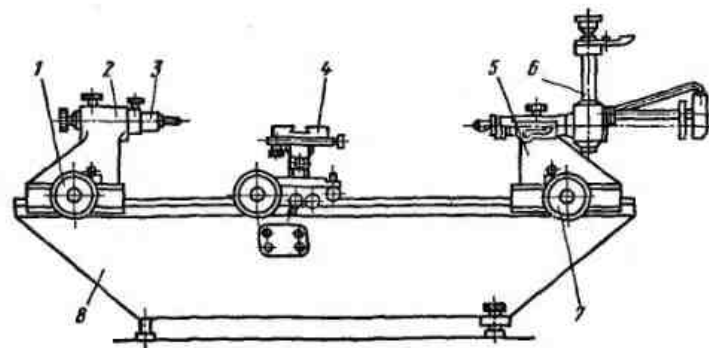


Рис. 44. Горизонтальный контактный интерферометр типа ИКПГ

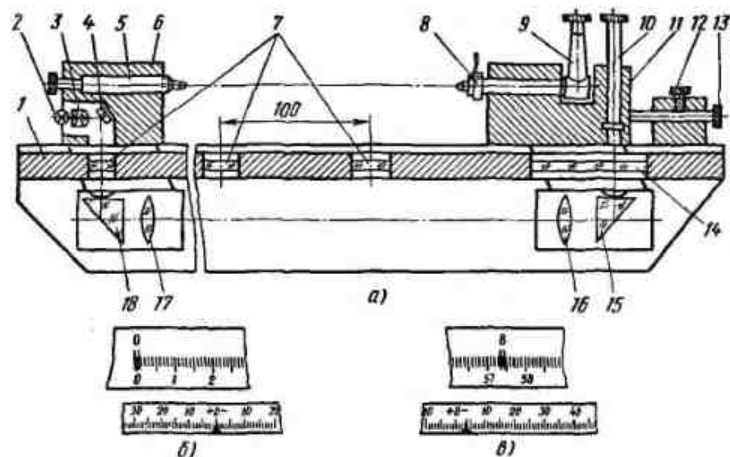


Рис. 45. Измерительная машина типа ИЗМ

нуль и измерения на горизонтальном интерферометре выполняют так же, как на горизонтальном оптиметре.

Пределы измерений горизонтального интерферометра от 0 до 500 мм, предпочтительная цена деления 0,05 и 0,10 мкм. Измерительное усилие горизонтального интерферометра регулируется в пределах от 10 до 210 сН.

Для измерения деталей больших размеров используют измерительные машины (рис. 45, а). Они предназначены для измерения линейных размеров методом непосредственной оценки (абсолютным) по шкалам машины или методом сравнения с образцовыми мерами (относительным методом).

В соответствии с ГОСТ 10875-76 выпускают машины типа ИЗМ с наибольшими пределами измерений 1000 мм (ИЗМ-1), 2000 мм (ИЗМ-2) и 4000 мм (ИЗМ-4).

На станине 1 измерительной машины типа ИЗМ по направляющим могут перемещаться бабки — пинольная 6 и измерительная 11. В пинольной бабке крепится пиноль 5 с микровинтом, известная из конструкции оптиметра. В ней же размещена часть оптической схемы прибора: источник света 2 с конденсором 3, зеркало 4, призма 18 и объектив 17. Вся эта система может перемещаться вместе с бабкой 6.

В измерительной бабке закреплены трубка оптиметра 9, микроскоп 10 и коллимационный объектив 16 с призмой 15. Кроме этого, на станине могут быть устано-

влены предметный стол и люнеты для поддержания длинных и нежестких деталей (стол и люнеты на рисунке не показаны).

Действие измерительной машины состоит в следующем. На станине закреплена дециметровая шкала, состоящая из отдельных стеклянных пластин 7, на каждой из которых нанесен двойной штрих и цифра над ним. Эти пластины укреплены вдоль направляющих с интервалом между серединами двух соседних двойных штрихов, равным 100 мм. Если предел измерения машины 1000 мм, то таких интервалов — 9, если 2000 мм — 19, и т. д. Недостающий интервал заменяет шкала на пластине 14, с диапазоном показаний 100 мм и ценой деления 0,1 мм. Над дециметровой шкалой по направляющим может перемещаться пинольная бабка, а над шкалой десятых долей миллиметра — измерительная бабка. Грубое перемещение измерительной бабки осуществляется с помощью реечной передачи, а тонкое — микровинтом 13, фиксируемым стопором 12. Свет от лампы 2 через конденсор 3 направляется на зеркало 4 и проходит через соответствующую пластину 7 дециметровой шкалы с нанесенным на ней двойным штрихом и цифрой. Пластина 7 находится в фокальной плоскости объектива 17. Изображение двойного штриха с цифрой поворачивается призмой 18 и направляется в объектив 17. Затем в виде параллельных лучей изображение передается на объектив 16, в фокальной плоскости которого находится шкала десятых долей миллиметра. Повернутое призмой 15 на 90° изображение штрихов дециметровой шкалы проецируется на шкалу десятых долей. Совмещенное изображение двух шкал можно рассмотреть с помощью микроскопа 10. В окуляре микроскопа наблюдаются показания с точностью до 0,1 мм. Отсчет десятых долей миллиметра ведут по штриху шкалы пластины 14, расположенному между двойным штрихом. Благодаря постоянному параллельному направлению лучей между объективами 17 и 16 можно перемещать пинольную бабку, устанавливая требуемый размер. Сотые и тысячные доли миллиметра отсчитывают по шкале трубки оптиметра 9. Трубка оснащена арретирующим устройством 8.

Перед измерениями абсолютным методом устанавливают нуль прибора (рис. 45, б). Для этого пинольную бабку 6 перемещают маховиком вправо до тех пор, пока она не займет положение над пластиной 7 с нулевым

двойным штрихом. После этого измерительную бабку сначала грубо маховиком, а затем тонко микровинтом 13 устанавливают в положение, при котором середина двойного нулевого штриха совпадает с нулем шкалы на пластине 14. Наконечники пиноли и трубки оптиметра, предварительно установленные соосно (как это делалось на горизонтальном оптиметре), касаются друг друга. Затем, вращая микровинт подачи пиноли 5, выставляют шкалу оптиметра на нуль, пинольную бабку устанавливают приблизительно на измеряемый размер, пользуясь вспомогательной металлической линейкой с ценой деления 1 мм. Линейка укреплена на станине машины. Измерительную бабку отводят вправо и устанавливают деталь на предметном столе или в люнетах. Затем, пользуясь второй металлической линейкой, установленной на другом конце станины, маховиком перемещают измерительную бабку до касания наконечником измеряемой поверхности. Шкала трубки оптиметра должна быть обязательно в поле зрения ее окуляра. Так же как на оптиметре, изделие, установленное на столе, выставляют перпендикулярно линии измерения. После этого микровинтом 13 измерительную бабку перемещают до совмещения двойного штриха с ближайшим штрихом десятичной шкалы. По окуляру микроскопа считают целые и десятые доли миллиметра, а по шкале оптиметра — сотые и тысячные. Абсолютное значение действительного размера измеряемой детали определяют суммированием этих показаний (с учетом знака на шкале оптиметра). На рис. 45, в отсчет равен 857,397.

При измерениях на машине методом сравнения с мерой оптическую систему машины не используют, а измерения выполняют точно так же, как на горизонтальном оптиметре. Измерительные машины комплектуют различными приспособлениями, которые позволяют значительно расширить номенклатуру измеряемых деталей.

На измерительных машинах проводят аттестацию больших концевых мер длины и микрометрических нутромеров.

Для уменьшения температурной погрешности рекомендуется включать осветитель за 20–30 мин до начала работы на приборе. После установки детали на столе или в люнетах необходимо сделать паузу для выравнивания температур детали и машины. В настоящее время изготовлены опытные образцы измерительных машин с верхним пределом измерений до 12 м.

Измерительные микроскопы являются наиболее распространенными оптико-механическими приборами. Их широко применяют в измерительных лабораториях машиностроительных заводов и научно-исследовательских институтов. На них можно проводить измерения линейных и угловых размеров в прямоугольной и полярной системах координат.

Измерительные инструментальные микроскопы изготовляют трех типов: ММИ — малый инструментальный микроскоп, БМИ — большой инструментальный микроскоп и БИМ — бинокулярный инструментальный микроскоп.

Малый инструментальный микроскоп ММИ (рис. 46) имеет основание 1, внутри которого размещена оптическая система, а снаружи — источник света 16. Для изменения интенсивности светового потока оптическая схема имеет диафрагменную регулировку. По направляющим основания могут перемещаться салазки 3 с предметным столиком 4, который в середине имеет сквозное отверстие

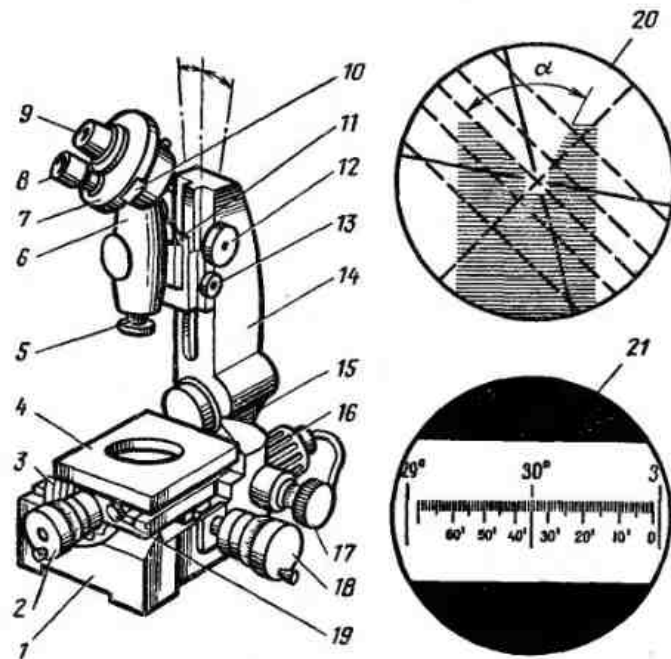


Рис. 46. Инструментальный микроскоп типа ММИ

стие, закрытое стеклом. Столик может перемещаться с помощью двух микровинтов 2 и 18 во взаимно перпендикулярных направлениях. Цена делений шкалы на барабане микровинтов 0,005 мм; диапазон перемещений 0—25 мм. Для расширения диапазона измерений между торцами микрометрического винта 18 и салазками можно помещать концевые меры. Наличие у стола возвратных пружин позволяет отводить стол от торца винта легким нажатием, а в образовавшееся пространство вставлять меру нужного размера. Микровинтом 19 стол можно поворачивать вокруг вертикальной оси на угол  $\pm 5^\circ$ . На основании смонтирована вертикальная колонка 14, которая на опоре 15 может отклоняться от вертикали на угол  $\pm 12^\circ 30'$  с помощью маховика 17 со шкалой, имеющей цену деления  $30'$ . По вертикальным направляющим колонки можно перемещать с помощью реечной передачи и маховика 12 кронштейн 11 с тубусом 6 визирного микроскопа. Фиксировать кронштейн в нужном положении на колонне можно винтом 13. На тубусе установлена штриховая окулярная головка 7. Через окуляр 9 наблюдают изделие, установленное на столе, а через окуляр 8 — шкалу отсчета угла поворота окулярной сетки, которую поворачивают диском 10. Резкость изображения изделия регулируют поворотом объектива 5.

Большой инструментальный микроскоп типа БМИ, в отличие от рассмотренной модели, имеет круглый предметный стол, который может поворачиваться маховиком на угол  $360^\circ$  вокруг вертикальной оси. Угол поворота стола можно оценить по круговой шкале и нониусу с ценой деления  $3'$ .

Микроскоп типа БМИ отличается от малого инструментального микроскопа тем, что у малого продольный ход стола 75 мм, а типа БМИ 150 мм. Других существенных различий между этими моделями нет.

В качестве головки 7 в инструментальных микроскопах чаще используют угломерную окулярную головку ОГУ-21. Она имеет довольно простую и оригинальную конструкцию. В корпусе головки установлено прозрачное стеклянное плоское кольцо. Его диаметр и определяет размеры головки. По краю кольца в радиальном направлении нанесены штрихи шкалы через  $1^\circ$ . На одной оси с этим кольцом расположена стеклянная пластина 20 с нанесенными на ней перекрещивающимися визирными линиями. Пересекающиеся штриховые и сплошные визирные линии образуют углы в 90, 60 и  $30^\circ$ . Диск 10 с по-

мощью зубчатой передачи поворачивает сидящие на одной оси пластину с визирными линиями и градусную шкалу. Наблюдая в окуляр 8 шкалу 21 и пользуясь нониусом с ценой деления  $1'$ , можно точно определить угол поворота штриховых линий, видимых в окуляр 9.

Измерение длин на инструментальном микроскопе осуществляют оптическим визирным методом, который заключается в следующем. Для определения длины одну из визирных линий окулярной головки ОГУ-21 устанавливают по краю изделия и снимают отсчет с микровинта. Затем микровинтом перемещают стол до тех пор, пока эта же линия не совпадет с другим краем детали, и опять снимают отсчет. Разность отсчетов и будет являться действительным размером детали.

При угловых измерениях используют нониус угловой окулярной головки. Для этого одну из линий окулярной головки совмещают с одной стороной изделия, а потом эту же линию с другой стороной. Измеряемый угол  $\alpha$  определяют как разность отсчетов по градусной и минутной шкалам 21.

Кроме головки типа ОГУ-21 в инструментальных микроскопах используется окулярная головка двойного изображения ОГУ-22. Она применяется для измерения расстояний между центрами отверстий, интервалов между штрихами шкал и сеток, диаметров отверстий. Принцип ее работы заключается в том, что в окуляре наблюдают двойное изображение отверстия, штриха или любой линии. При совмещении оптической оси головки с центром отверстия или штрихом два изображения отверстия или штриха стягиваются в одно. По микровинту берется соответствующий отсчет. Благодаря повышенной чувствительности визирования точность головки ОГУ-22 вдвое выше, чем головки ОГУ-21.

Револьверная профилирная окулярная головка ОГР-23 имеет поворачивающуюся пластину с нанесенными на ней профилями метрической резьбы разных шагов дугами окружностей разных радиусов. Совмещая вращением пластины нанесенные на ней профили с видимыми контурами детали, определяют шаг резьбы или радиус дугового профиля. В окуляре сбоку имеется неподвижная градусная шкала, по которой определяют угловое положение профилей на пластине относительно оси измеряемого изделия.

Кроме сменных головок в комплект микроскопа могут входить сменные объективы, призматические стойки,



центровые бабки, V-образные подставки, призмы, струбины, прижимы для крепления деталей на столе, приспособление типа ИЗО-1, закрепляемое на объективе. Приспособление ИЗО-1 служит для измерения контактным методом внутренних размеров от 5 до 195 мм при максимальной глубине 13 мм. Малые отверстия бесконтактным методом измеряют с помощью приспособления ИЗО-2 с пределами измерений 0,2—40 мм.

Для установки оси центров параллельно продольному перемещению столика применяют контрольный валик. Его помещают в центры, установленные на предметном столе. С образующей валика совмещают визирную линию на пластине 20 и перемещают столик вместе с валиком вращением микровинта либо вручную. При расхождении визирной линии с образующей валика винтом поворота стола выставляют валик параллельно этой линии, устраняя перекосяк.

Детали размером более 25 мм измеряют с помощью концевых мер длиной 25, 50, 75, 100 и 125 мм. Изображение детали на экране с увеличением 10, 15, 30 и 50<sup>x</sup> получают с помощью проекционной насадки ПН-7.

Универсальный измерительный микроскоп УИМ-21 (рис. 47) в качестве основания имеет массивную литую станину 1, по направляющим качения которой могут

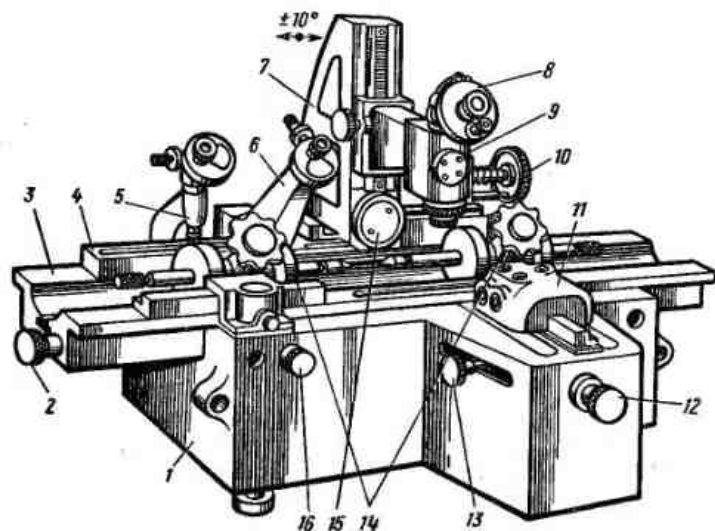


Рис. 47. Универсальный измерительный микроскоп типа УИМ-21

перемещаться две каретки — продольная 3 и поперечная 11. На верхней части каретки 3 имеется цилиндрический желоб, в котором, как в направляющих, размещают центровые бабки 14 с центрами. Бабки фиксируют с помощью расположенных на них фигурных маховиков. На верхние опорные поверхности продольной каретки могут устанавливаться предметный стол и различные измерительные приспособления. Внутри поперечной каретки смонтирована осветительная система, а сверху — установлена вертикальная колонка 7 с направляющими, по которым с помощью реечного механизма может грубо перемещаться тубус 9 микроскопа 8. Так же как у инструментального микроскопа, колонка может поворачиваться в вертикальной плоскости с помощью маховичка 10 на угол  $\pm 10^\circ$ . Ось поворота колонки перпендикулярна оси центров и лежит с ней в одной плоскости. На продольной и поперечной каретках установлены высокоточные стеклянные шкалы 4 с ценой деления 1 мм, точно такие же, как на шпинделе оптического длиномера. Шкалы имеют автономную подсветку. Над шкалами установлены отсчетные микроскопы 5 и 6 со спиральными нониусами, с помощью которых измеряют перемещение кареток. Цена деления спирального нониуса 0,001 мм. Пределы измерений по продольному микроскопу 200 мм, а по поперечному — 100 мм. При отпущенных стопорных винтах 13 и 16 поперечная и продольная каретки вручную быстро и легко могут быть установлены в нужном положении. Точные перемещения кареток осуществляются микровинтами 2 и 12. На передней стороне стойки микроскопа имеется кольцо 15 с делениями для регулировки диаметра отверстия диафрагмы. При измерении плоских изделий диаметр диафрагмы 20—25 мм.

Неправильная установка диафрагмы влияет на точность измерения. Так, при установке диафрагмы больше наивыгоднейшего диаметра результат измерения получается меньше действительного и наоборот. Для гладких цилиндрических изделий наивыгоднейший диаметр диафрагмы выбирают по таблице, прилагаемой к микроскопу, в зависимости от диаметра детали или среднего диаметра резьбы.

В соответствии с ГОСТ 14968—69 кроме модели УИМ-200 (УИМ-21) выпускают универсальные измерительные микроскопы УИМ-200Э (УИМ-23) и УИМ-500Э (УИМ-24).

Микроскоп УИМ-200Э (УИМ-23) отличается от моде-

ли УИМ-21 более совершенной конструкцией. Отсчет продольных и поперечных перемещений кареток, а также углов выполняют на экранах. Вместо микроскопов со спиральным нониусом применяют оптические микрометры, дающие большую точность отсчета. Для измерения бесконтактным методом диаметров отверстий размерами от 0,2 до 40 мм микроскоп снабжен приспособлением ИЗО-2. Используя вертикальный длиномер ИЗВ-23, можно получить из универсального микроскопа трехкоординатное измерительное средство. Точное измерение углов поворота изделия в центрах осуществляют с помощью измерительной бабки ИБ-21, устанавливаемой вместо обычной центровой бабки. Цена деления шкалы отсчетного микроскопа составляет 1'. Детали с поперечными размерами до 250 мм и длиной до 180 мм могут устанавливаться в центрах стола типа СТ-2. Все перечисленные приспособления могут применяться в микроскопах различных моделей, так как присоединительные размеры у них унифицированы.

На универсальном измерительном микроскопе УИМ-500Э (УИМ-24) можно измерять изделия весом до 1000 Н. В процессе измерений тяжелое изделие остается неподвижным, а отсчетная система перемещается относительно детали в двух взаимно перпендикулярных направлениях (в продольном — на 500 мм, а в поперечном — на 200 мм).

Измерения на универсальных микроскопах проводят так же, как и на инструментальных. Исключением является измерение с помощью ножей, которые позволяют существенно повысить точность наведения визирных линий окулярной головки на контурные линии детали.

Проекторами называют оптические приборы, дающие на экране увеличенное изображение проверяемого изделия. Разновидностью проекторов являются киноаппараты; аппараты для демонстрации диапозитивов, слайдов, открыток и т. п., формирующие на экране их изображения. Проекторы отличаются от микроскопов с экранами значительно большими размерами экранов. На проекторах обычно проверяют изделия, имеющие сложную конфигурацию: профилльные шаблоны, мелко-модульные зубчатые колеса, модульные и фасонные фрезы, резьбы и т. п. В зависимости от способа освещения проверяемого изделия различают проекторы, работающие в отраженном или в проходящем свете. В пер-

вом случае деталь освещается сверху и отраженные лучи несут ее изображение на экран. Во втором случае часть лучей задерживается измеряемой деталью, а проходящие вне контура детали лучи создают на экране его изображение. На машиностроительных заводах большее распространение получили проекторы второго типа. Принцип получения изображения в отраженном свете используется, когда нет возможности получить изображение элемента изделия в проходящем свете.

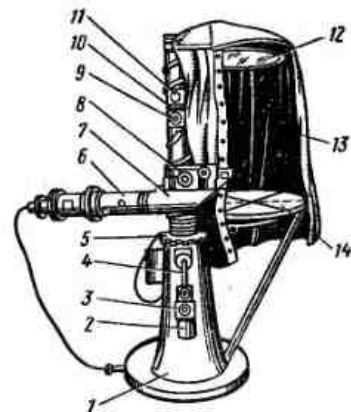


Рис. 48. Большой проектор типа БП

На рис. 48 показан большой проектор типа БП. На станине 1 смонтирована стойка 3. Внутри стойки с помощью маховика 5 может перемещаться вертикальная колонка 2. В требуемом положении она фиксируется стопорным винтом 4. На колонке смонтировано основание 7 предметного стола 8. Предметный стол имеет такую же конструкцию, как и у микроскопа БМИ. Сбоку от стола на стойке смонтирована осветительная система 6. В средней части станины имеется патрубок, куда закрепляются объектив 9 и револьверное устройство 10 со сменными зеркалами 11. В верхней части станины на кронштейне закреплено большое зеркало 12. Экран 14 для затемнения драпируется занавеской 13 из плотной ткани. Экран проектора имеет диаметр 600 мм. Для изменения направления светового потока осветитель 6 может занимать различные положения. Он может освещать цилиндрическую деталь, установленную на столике в центрах или лежащую на призме, сбоку. Горизонтальные лучи с помощью проекционной призмы направляются в открытый объектив 9. При измерениях в отраженном свете осветитель крепится вертикально над револьверным устройством, в котором обычное зеркало 11 заменяют полупрозрачным. Сквозь это зеркало лучи проходят на поверхность изделия, а отраженные лучи направляются в объектив 9. Резкость изображения на экране регулируется маховиком 5.

Тонкая подстройка резкости осуществляется регули-

ровкой диафрагмы сменного конденсора. Однако это уменьшает освещенность экрана. Отсчет линейных и угловых размеров проекций на поверхности экрана *14* упрощается благодаря наличию на экране двух взаимно перпендикулярных штриховых линий и двух сплошных линий, проходящих через центр под углом  $60^\circ$  друг к другу.

В массовом и крупносерийном производстве, когда требуется обеспечить высокую производительность, на предметном столе проектора могут устанавливаться различные приспособления для быстрой установки детали в требуемое положение и обеспечивающие быстрое совмещение изображения с вычерченным на кальке контуром изделия, которая закрепляется на экране. Увеличение следует выбирать, исходя из допусков на измеряемые размеры или из значений самих размеров. При выборе увеличения необходимо стремиться использовать всю площадь экрана.

На рис. 49 показан часовой проектор типа ЧП. На корпусе *1* проектора, выполненного в виде тумбы, разме-

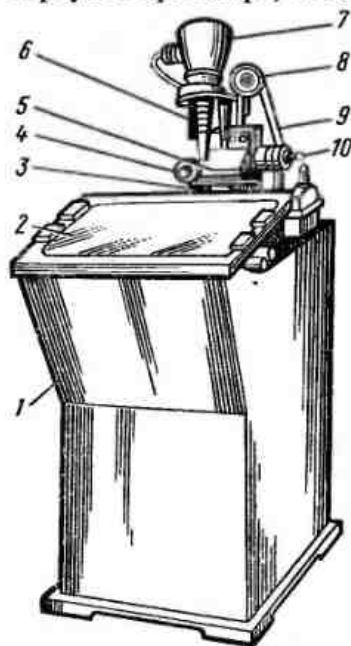


Рис. 49. Проектор часовой типа ЧП

щен экран *2* размером  $560 \times 460$  мм и установлен сменный объектив *3*. На стойке *9*, прикрепленной к корпусу проектора, размещен измерительный стол *5* с отверстием в центре, закрытым предметным стеклом. Перемещение стола в двух взаимно перпендикулярных направлениях осуществляется маховиками *4* и *10*. Кроме этого, стол может перемещаться в вертикальном направлении с помощью маховика *8* для получения резкого изображения на экране.

Сменные конденсоры *6* установлены в поворотном устройстве, которое обеспечивает подвод требуемого конденсора под источник света *7*. Фиксация поворотного устройства в рабочем положении осуществляется пружинным фиксатором.

Сменные объективы, используемые в проекторе, могут давать увеличение 10, 20, 50, 100 и  $200\times$ .

Проектор типа ЧП предназначен для контроля мелких деталей сложной формы, характерных для часовой промышленности.

Контроль и измерение на проекторах осуществляют несколькими методами:

комплексным методом, при котором сличают контуры изображения детали с контуром, вычерченным на кальке в масштабе, соответствующем увеличению проектора. Отклонения оценивают по отсчетным устройствам стола;

комплексным методом, при котором сличают контур изображения детали с двойным контуром детали, вычерченным в соответствующем масштабе с учетом допуска на размеры детали. По отсчетным устройствам оценивают отклонения только тех размеров, которые вышли за пределы допуска;

дифференцированный метод измерения размеров детали с помощью отсчетных устройств стола. Измерения проводят аналогично измерениям на инструментальных микроскопах.

Существует еще один метод измерений на проекторе, отличающийся от всех рассмотренных и требующий специальной оптической схемы. Эта схема основана на принципе совмещения проекций. Проектор массового контроля типа ПМК (рис. 50, *a*) работает по этому методу. Проектор предназначен для контроля деталей в условиях массового и крупносерийного производства. Он состоит из корпуса *1* с кронштейном *6*, на котором установлены осветитель *5* и предметный стол *4*. В передней части корпуса расположен объектив *3*, с помощью которого изображение контролируемой детали проецируется на экран *2*, находящийся в верхней части корпуса и защищенный козырьком.

Проверка изделий на проекторах совмещенного изображения осуществляется на экране с различно освещенными участками.

Принцип измерения поясняется по схемам. На рис. 50, *б* показана схема обычного проектора с объективом *2* и проекционным зеркалом *1*. В этой оптической системе изделие *3* проецируется на экран в виде изображения *4*. Если разделить зеркало *1* на две половины и повернуть их в сторону оптической оси проекционной си-

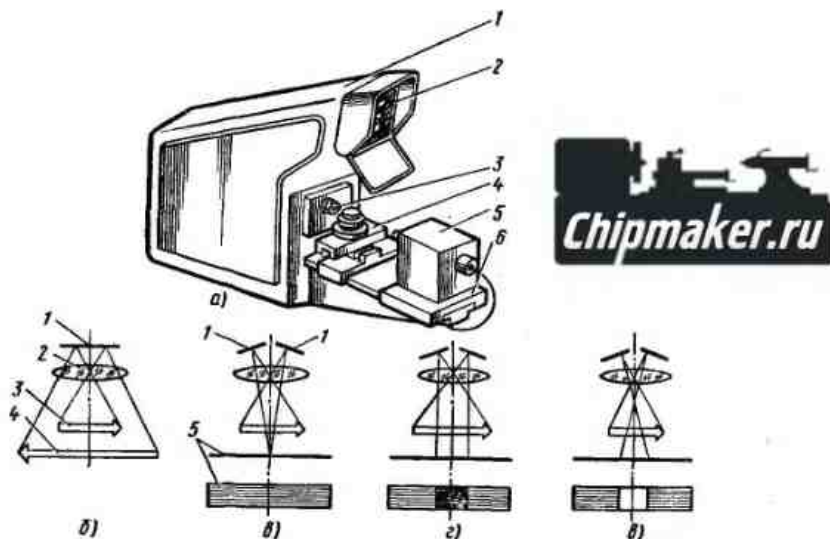


Рис. 50. Проектор типа ПМК

стемы, то можно уменьшить длину изображения изделия на экране 5 до нуля. Поверхность экрана будет равномерно освещенной (рис. 50, б). Если поставить теперь для измерения изделие большей длины, то на экране появится затемненный участок (рис. 50, в). Если размер изделия будет меньше (рис. 50, д), то на экране появится яркий участок.

В плоскости экрана проектора типа ПМК помещены зеркальные полоски, которые, так же как зеркала 1, могут поворачиваться вокруг горизонтальной и вертикальной осей и создавать на экране изображения только отдельных участков контура изделия. На экране наблюдаются изображения только краев объекта.

Если зеркальные полоски настроить по детали, имеющей наименьший предельный размер, а при контроле на экране возникнет темная зона, то это означает, что размер больше наименьшего предельного размера. Появление светлой полосы свидетельствует о том, что контролируемый размер меньше наименьшего предельного размера (брак неисправимый).

Если зеркальные полоски настроить по детали с наибольшим предельным размером, то наличие черной полосы будет свидетельствовать о браке исправимом.

В массовом производстве проектор настраивают с помощью двух пар зеркальных полосок. Одну пару настраивают по наибольшему предельному размеру детали, а другую — по наименьшему.

Одновременный контроль нескольких размеров детали обеспечивается увеличением числа зеркальных полосок в проекторе. Проектор позволяет определить годность пяти размеров детали одновременно. Производительность контроля деталей на проекторе ПМК в 4–6 раз выше, чем с помощью предельных калибров.

Проекторы совмещенного изображения выпускаются трех типов: ПМК-I, ПМК-II и ПМК-III с кратностью увеличения 10, 20, 30, 50 и 100<sup>x</sup>. На них контролируют размеры деталей 8–12-го квалитетов в диапазоне от 1 до 60 мм.

#### Контрольные вопросы

1. Что такое штриховые меры длины и какова область их применения?
2. Что такое плоскопараллельные концевые меры длины и как с помощью их осуществляют измерения?
3. В чем разница между нормальными и предельными калибрами?
4. Какими калибрами и как проконтролировать годность валов и отверстий?
5. Какой штангенциркуль вы знаете и каким образом осуществляется отсчет значений по нониусу этих приборов?
6. Какие типы микрометров и других микрометрических инструментов вы знаете?
7. В чем отличие конструкции рычажного микрометра от гладкого?
8. Каким образом осуществляется настройка на нуль индикаторных нутромеров и глубиномеров?
9. Какие разновидности измерительных головок вы знаете?
10. Как осуществляются измерения размеров индикатором часового типа?
11. В чем особенности конструкции рычажно-зубчатых измерительных головок и где их целесообразно применять?
12. На чем основан принцип действия пружинных и рычажно-пружинных измерительных головок?
13. На чем основан принцип действия отсчетного устройства оптиметра?
14. В чем состоит принцип автоколлимации?
15. На чем основан принцип действия трубки оптиметра и какие детали можно измерять на горизонтальном и вертикальном оптиметрах?
16. Каким образом осуществляется отсчет по окуляру вертикального оптического дальномера?
17. Как устроен горизонтальный дальномер и каким образом снимается отсчет с экрана прибора?
18. На чем основан принцип действия интерферометра?

19. Как установить требуемую цену деления интерферометра?
20. Как устроена измерительная машина и каким образом осуществляется отчет по шкалам прибора?
21. Какие типы измерительных инструментальных микроскопов вы знаете?
22. В чем отличие конструкции большого инструментального микроскопа от малого?
23. Какие элементы деталей могут быть измерены на инструментальных микроскопах?
24. В чем состоит принцип действия окулярной головки двойного изображения?
25. Что такое проекторы и для каких целей они применяются?
26. Какие методы измерения и контроля на проекторах вы знаете?
27. В чем состоит принцип действия проекторов совмещенного изображения?

#### 4. КОНТРОЛЬ УГЛОВ И КОНУСОВ

За единицу измерения плоского угла в Международной системе единиц принят радиан — угол между двумя радиусами, образующими сектор с дугой, равной по длине радиусу. Однако в машиностроении пользуются обычно другими, более удобными и привычными единицами: градусом, минутой и секундой. За градус принимают плоский угол, равный  $1/360$  центрального угла, опирающегося на полную окружность. Эта система использует шестидесятичную систему счисления, т. е. градус равен 60 мин, а минута — 60 с. Единицы измерений плоского угла находятся в следующем соотношении: 1 радиан =  $360^\circ/\pi = 57^\circ 17' 45'' = 3437' 45'' = 206 265''$ .

Иногда малые углы определяют с помощью тригонометрических зависимостей, например синуса или тангенса. Можно принимать значения синуса и тангенса малого угла равными значению угла в радианах. Такое допущение оправдано, так как возникающая при этом погрешность составляет не более 10% для углов до  $25^\circ$ .

Особенность угловых размеров состоит в том, что точность изготовления и контроля их зависит от длины сторон, образующих этот угол. Чем меньше сторона, тем труднее изготовить и измерить угол. Поэтому допуски на угловые размеры задаются в зависимости от длины меньшей стороны, а не от его номинального значения.

Размеры конусов могут задавать различными способами, из которых наиболее часто в машиностроении используют два. Задают значение угла конуса или его конусность. За угол конуса принимают угол между образую-

щими конуса в плоскости, проходящей через ось конуса. Иногда вместо угла конуса используют угол уклона, т. е. угол между образующей и осью конуса. Угол уклона равен половине угла конуса. Эти углы измеряют в градусах.

Конусность — это отношение разности диаметров двух любых поперечных сечений к расстоянию между ними по оси конуса. Часто на чертежах конусность указывают в виде соотношения  $1:L$ , где  $L$  — расстояние между двумя сечениями, разность диаметров которых составляет 1 мм. Это позволяет выражать конусность в виде целых чисел и создает удобства при их измерении. Исключения составляют конусы, использующиеся в станках с ЧПУ. Здесь конусность обозначают соотношением  $7:24$ . Суть этого соотношения та же, что указывалась выше, т. е. на длине 24 мм разность диаметров поперечных сечений составляет 7 мм.

В машиностроении часто используют конусы Морзе. Конусы Морзе имеют одинаковый угол, номинальное значение которого равно  $2^\circ 51' 51''$ . Отклонения этого угла зависят от степени точности конуса. Конусы Морзе различают по номерам от 0 до 6. Номер конуса зависит от наибольшего диаметра, значение которого для конуса номера 0 составляет 9 мм, а для номера 6 — 60 мм.

Методы измерения углов можно разделить на три основных вида.

1. Метод сравнения с жесткими угловыми мерами. В качестве образцовой принимают жесткую угловую меру и в процессе измерения проверяют отклонение проверяемого угла от угла образцовой меры. Отклонения оценивают по световой щели, путем измерения с помощью рычажно-механических, рычажно-оптических и пневматических приборов, а также по краске.

2. Абсолютный метод, основанный на использовании приборов с угломерной шкалой. Угол изделия отсчитывают непосредственно в угловых единицах по шкале прибора. Этот вид измерений реализуют с помощью автоколлимационных труб, оптических делительных головок, оптического делительного стола, инструментального и универсального микроскопов, гониометров, уровней и других приборов.

3. Косвенный (тригонометрический) метод, состоящий в измерении линейных размеров, связанных с углом тригонометрическими зависимостями. К таким измерениям относят: координатный метод измерения углов на уни-

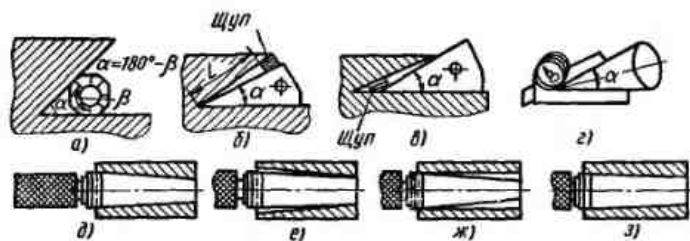


Рис. 51. Схемы отдельных методов измерения углов

версальном микроскопе, координатный метод с применением рычажных приборов, измерения с помощью синусных и тангенсных линеек, с помощью шариков, роликов и концевых мер длины.

Схемы некоторых из перечисленных методов измерения приведены на рис. 51. Внутренний угол изделия может быть оценен с помощью восьмигранной мерной призмы (рис. 51, а). О правильности изготовления угла можно судить по зазору между рабочей гранью призмы и образующей угла. При нулевом зазоре значение изменяемого угла можно определить из соотношения  $\alpha = 180^\circ - \beta$ . На рис. 51, б, в показан метод измерения угла с помощью образцовой угловой меры и оценки просвета с помощью наборов щупов. На рис. 51, з показана схема абсолютных измерений угла конуса оптическим угломером.

На рис. 51, д, е, ж, з показана схема контроля конуса по базорасстоянию конусным калибром, при этом годен только конус, изображенный на рис. 51, з

#### 4.1. Угловые меры и угольники

Угловые меры предназначены для хранения и передачи единицы плоского угла. Их изготавливают в виде прямых призм (рис. 52) и применяют для контроля углов изделий, проверки и градуировки угломерных приборов и угловых шаблонов.

Угловые меры выпускают пяти типов: I — угловые плитки с одним рабочим углом со срезанной вершиной; II — угловые плитки с одним рабочим остроугольным углом; III — угловые плитки с четырьмя рабочими углами. У этих плиток углы подбирают в таком сочетании, чтобы две стороны плитки были параллельными; IV — шестигранная призма с неравномерным шагом; V — мно-

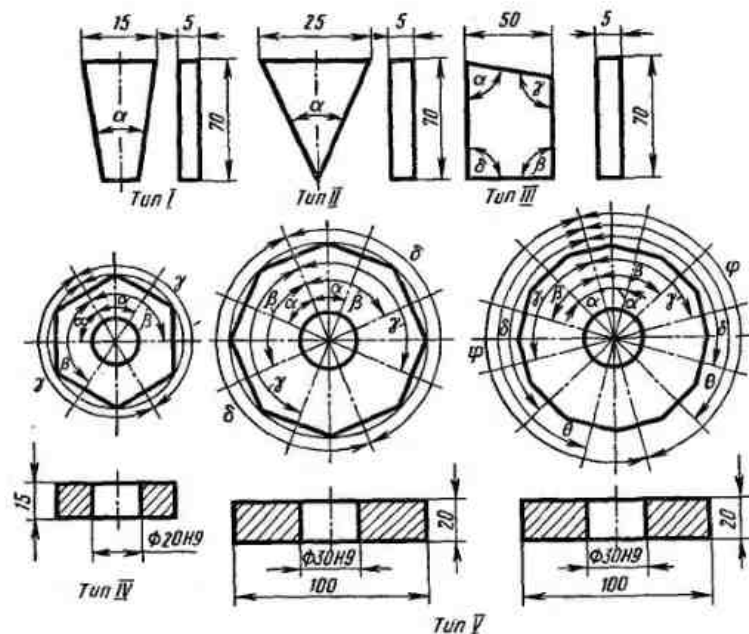


Рис. 52. Угловые меры

гогранные прямые призмы с равномерным шагом. В соответствии со стандартом эти призмы изготавливают восьми- или двенадцатигранными.

Рабочие углы плиток образуются соседними измерительными поверхностями меры. У многогранных призм рабочими углами являются центральные углы, образованные перпендикулярами, опущенными из центра на измерительные поверхности. Многогранная призма позволяет использовать суммарные центральные углы, т. е. ею или ее частью можно пользоваться, как блоком угловых мер. Прямые призмы применяют для проверки оптических делительных головок и гониометров. В блоки с другими угловыми мерами они не собираются.

Угловые меры аналогичны рассмотренным выше плоскопараллельным концевым мерам длины, которые можно рассматривать, как угловые меры с углом в  $180^\circ$ . Их также выпускают в виде наборов с градацией углов через  $2^\circ$ ;  $1^\circ$ ;  $1'$ ;  $15''$  и различными номинальными значениями углов. Угловые меры изготавливают четырех классов точности: 00; 0; 1 и 2 и аттестуют на разряды. Рабочие по-

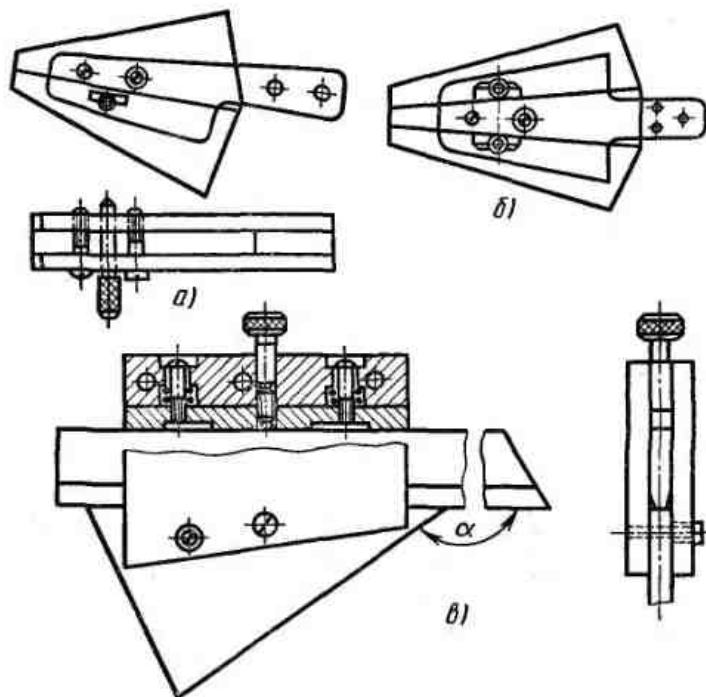


Рис. 53. Приспособления к угловым мерам

верхности угловых мер могут притираться друг к другу, однако сцепление у них менее надежно из-за небольшой ширины рабочих поверхностей. Поэтому для большей надежности блоки угловых мер-плиток крепят с помощью специальных приспособлений-державок (рис. 53). Плитки в блоки собирают с помощью винтов и конических штифтов, вставляя их в отверстия плиток и державки. Державки, показанные на рис. 53, а, позволяют собирать блоки из двух угловых мер, а на рис. 53, б — из трех.

Для получения дополнительных углов используют державки со специальными лекальными линейками (рис. 53, в).

Проверку углов с помощью угловых мер обычно осуществляют на просвет. При просвете между угловой мерой и изделием об отклонении контролируемого угла судят по образцам просвета. Такой образец просвета создается следующим образом (рис. 54). Берут две одинаковые по размеру концевые меры 2 и притирают их

к доведенной поверхности бруска 3, имеющего достаточно широкую рабочую поверхность. Затем между полученными равновысокими мерами 2 притирают концевые меры, размеры которых в сочетании с лезвием лекальной линейки 1 создают необходимые образцы просвета. На рис. 54 это образцы просвета шириной 1, 2 и 3 мкм. Эти просветы «на глаз» сравнивают с просветом между изделием и угловой мерой. Если контакт между мерой и деталью отличается от лезвийного контакта лекальной линейки, то ее на образце просветов рекомендуется заменить линейкой с более широкой рабочей гранью.

В процессе слесарной и механической обработки угол изделия пригоняют к угловой мере до ликвидации просвета или до получения одинакового просвета по всей длине образующей угла.

В случае отсутствия угловой меры с необходимым значением угла или когда конструкция изделия не позволяет применить угловую меру, изготавливают специальный угловой шаблон, который рассматривают, как нормальный калибр.

Оценка просвета «на глаз» зависит, в первую очередь, от навыка рабочего и значения просвета. Так, просветы свыше 10 мкм оценить практически невозможно. Просветы до 5 мкм можно оценивать при определенном навыке с погрешностью 1–1,5 мкм, свыше 5 до 10 мкм — 2–3 мкм.

Проверочные угольники 90° (рис. 55) предназначены для проверки и разметки прямых углов, для контроля взаимной перпендикулярности расположения поверхно-

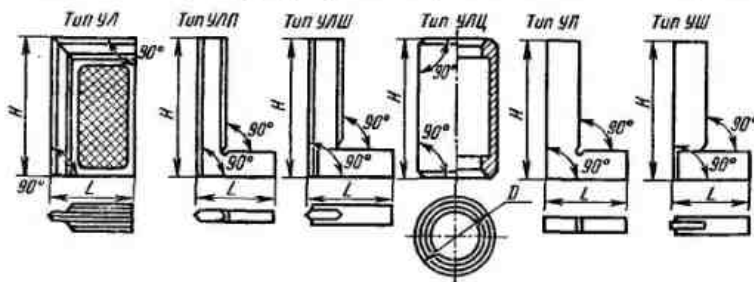


Рис. 55. Проверочные угольники

стей при сборке и ремонте различных видов оборудования, машин и приборов, в том числе для проверки точности станков.

В соответствии с ГОСТ 3749–77 выпускают угольники типов УЛ, УЛП, УЛШ, УЛЦ, УП и УШ. Угольники типов УЛ, УЛП и УЛШ предназначены для лекальных работ. Они имеют две острые рабочие грани, образующие прямолинейное лезвие, радиус которого колеблется в пределах 0,1–0,2 мм. Это оказывает существенное влияние на точность определения просвета, так как чем больше радиус, тем хуже виден просвет.

Угольниками типов УП и УШ пользуются при слесарной обработке изделий либо в процессе сборочных и ремонтных работ.

Угольники типа УЛЦ представляют собой отрезок вала с торцами, перпендикулярными образующим цилиндрической поверхности. Эти угольники используют для проверки на плите других угольников, так как позволяют получить очень точное значение угла  $90^\circ$ .

Использование угольников аналогично использованию угловых мер.

Размеры выпускаемых угольников типов УЛ, УЛП, УЛШ, УП и УШ различны и колеблются в пределах от  $60 \times 40$  до  $1600 \times 1000$  ( $H \times L$ ). Угольники типа УЛЦ имеют размеры  $H$  и  $L$  в пределах 80–630 мм.

#### 4.2. Калибры для контроля конусов

Конусные калибры могут использоваться как предельные и как нормальные. Применяют их для контроля конусов инструментов.

При контроле конусов по базорасстоянию они являются предельными калибрами. Контроль этим методом сводится к определению предельного осевого положения калибра относительно торца контролируемой детали. Например, в случае контроля конусов хвостовиков инструментов определяют положение калибра относительно плоской поверхности хвостовика.

Конусные калибры-пробки и калибры-втулки бывают без хвостовиков (рис. 56, а, б) и с хвостовиками (рис. 56, в, г).

Для контроля базорасстояния на калибрах-пробках делают две риски, расстояние  $h$  между которыми соответствует допуску. На втулках для этого вырезают уступ высотой  $h$ . Изделие считается годным, если торец

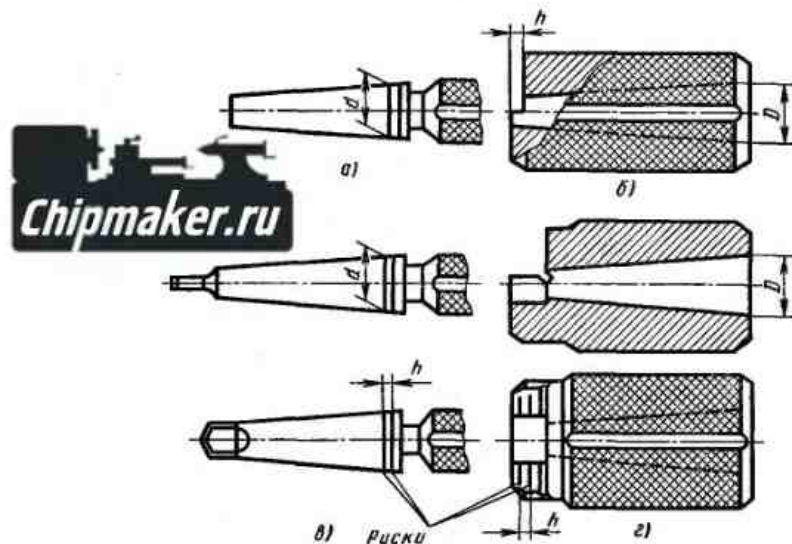


Рис. 56. Калибры для контроля конусов

изделия не выходит за пределы рисок или уступа. Контроль инструментальных конусов с хвостовиками или внутренних конусов с пазами для хвостовика осуществляют с помощью калибров, у которых имеются риски, соответствующие допуску базорасстояния (рис. 56, в, г).

Плоские поверхности хвостовиков наружных конусов годных инструментов должны выступать за измерительную поверхность выреза в пределах от торца до второй риски.

Контроль по базорасстоянию оценивает диаметральные размеры соединения. У точных конических соединений эти размеры проконтролировать очень трудно, так как допуск на диаметр основного сечения у них составляет 0,1 мкм. В этом случае конусные калибры используют как нормальные и проводят контроль конусов по краске.

Контроль калибрами по краске заключается в том, что на коническую поверхность наносят тонкий слой краски. Калибр сопрягают с изделием и поворачивают на  $3/4$  оборота. После извлечения калибра по отпечатку судят о степени прилегания калибра к изделию. Наилучший отпечаток получается при использовании типографской



краски № 219 или берлинской лазури. Типографская краска вследствие своей однородности дает лучший и более контрастный отпечаток. Краску на контролируемую поверхность наносят следующим образом. Поролоновую губку пропитывают краской и кладут в тампон, свернутый из 3—4 слоев марли и обернутый плотной тканью без ворса. В тампон можно поместить краску без губки. Затем на тампон капают несколько капель машинного масла, проводят им несколько раз по контролируемой поверхности, дополнительно растирают краску фланелью. Толщина слоя краски должна быть минимальной, но достаточной для получения четкого отпечатка. Обычно она составляет 2—5 мкм и оговаривается в технической документации. Оценка толщины нанесенного слоя краски осуществляют с помощью образца интенсивности окраски. С этой целью к бруску с доведенной рабочей поверхностью притирают две одинаковые концевые меры размером по 2,01 мм. Между ними плотно друг к другу притирают десять концевых мер размером от 2 до 2,009 мм через 0,001 мм. На поверхность всех мер наносят толстый слой краски, который потом осторожно счищают лекальной линейкой, опирающейся на две боковые равновысокие меры. В результате получаем на каждой мере слой краски, равный по толщине разности размеров этой меры и крайних. На глаз хорошо заметно изменение интенсивности окраски концевых мер в зависимости от толщины слоя краски. Погрешность визуального метода оценки толщины краски на изделии с помощью образца интенсивности окраски не превышает 1 мкм.

По точности изготовления конусные калибры-пробки разделяют на три степени — 08; 09 и 1. Калибры-втулки (как менее технологичные в изготовлении) имеют две степени точности — 09 и 1.

Пробки степени точности 08 рекомендуют для контроля внутренних конусов инструментов 3-й степени точности. Пробки и втулки степени 09 — для конусов инструментов 4-й степени точности. Пробки и втулки 1-й степени точности предназначены для контроля инструментальных конусов 5-й степени точности. Данные рекомендации исходят из того, что в этих случаях допуск калибра не превышает одной трети допуска на изготовление контролируемых деталей.

Комплект калибров для контроля конусов включает калибр-пробку и калибр-втулку. По требованию заказчи-

ка в комплект может быть включен контрольный калибр-пробка. Контркалибр используют для проверки износа калибра-втулки.

Торец неизношенной втулки должен совпадать с краем передней риски на контркалибре. Допускается недоход торца втулки до риски на величину, не превышающую 0,1 мм. Если торец втулки перекрывает риску и заходит в область, ограниченную рисками более 20% расстояния  $H$ , то калибр-втулка считается предельно изношенной.

В мелкосерийном и единичном производстве при изготовлении конических соединений методом подгонки обычно в качестве исходной используют деталь с внутренним конусом. По этой детали по краске проверяют наружный конус, который и подгоняют до прилегания не менее 80% площади различными приемами (точат, шлифуют, шабруют, притирают и т. п.).

#### 4.3. Угломеры

Для измерения углов методом непосредственной оценки в машиностроении широко применяют угломеры с нониусом и оптические угломеры.

Угломеры с нониусом выпускаются в соответствии с ГОСТ 5378—66 двух типов: УН — для измерения наружных и внутренних углов (рис. 57, а) и УМ — для измерения наружных углов (рис. 57, б). Действие угломеров основано на том, что одна измерительная поверхность прибора связана со шкалой, а другая — с нониусом.

Угломер типа УН состоит из основания 2 с нанесенной по окружности градусной шкалой. Основание жестко соединено с линейкой 4, имеющей снаружи доведенную измерительную поверхность. По основанию перемещается сектор 5 с нониусом 1 и стопором 3. К сектору с помощью державки 7 крепится Г-образный угольник 8, к которому с помощью второй державки 9 крепится съемная линейка 6. Таким угломером можно измерять наружные углы в диапазоне от 0 до 50°. Для измерения углов свыше 50 до 140° Г-образный угольник снимают с сектора 5 и вместо него крепят линейку 6. Измерение углов от 140 до 230° обеспечивают с помощью угольника 8. Измерение углов от 230 до 320° производится угломером со снятыми линейкой, угольником и державками.

Таким образом, общий диапазон измерений угломером типа УН составляет 0—320°: диапазон измерений

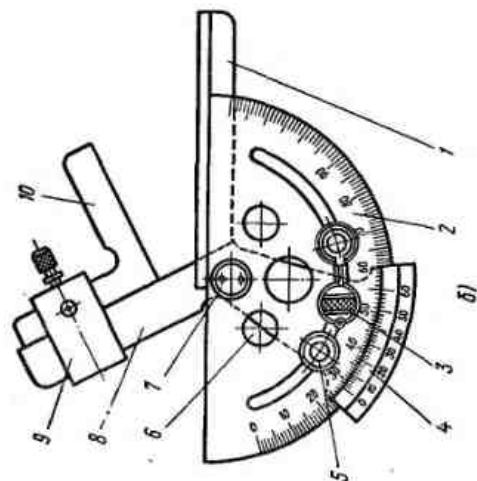
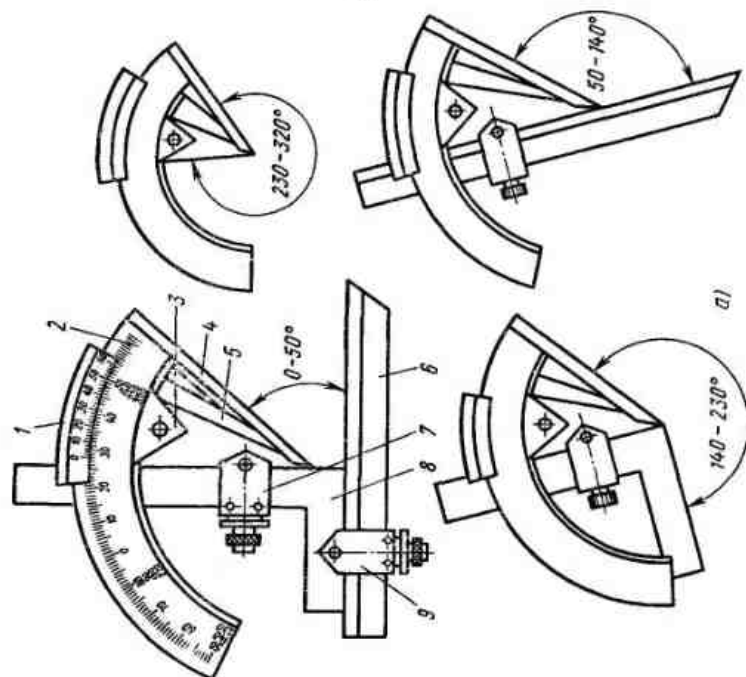


Рис. 57. Угломеры с нониусом



наружных углов  $0-180^\circ$ , а диапазон измерений внутренних углов  $40-180^\circ$ .

Цена деления нониуса этого угломера составляет  $2'$ . Предельная погрешность измерения не превышает  $\pm 2'$ .

Угломер типа УМ состоит также из основания 2 со шкалой и закрепленной на нем линейкой 1. Подвижная линейка 8 вместе с сектором 6 и нониусом 4 может поворачиваться на оси 7. Стопорение линейки осуществляется винтом 5. Угломер снабжен винтом 3 микроподдачи. На подвижной линейке с помощью сменной державки 9 может крепиться угольник 10. Угломер типа УМ обеспечивает измерение наружных углов в диапазоне от  $0$  до  $180^\circ$ , причем измерение углов свыше  $90^\circ$  ведется при снятом угольнике. В этом случае для получения значения угла к показаниям по шкале прибавляют  $90^\circ$ .

Угломеры выпускают с нониусом  $2'$ ,  $5'$  и  $15'$  и погрешностью соответственно  $\pm 2'$ ,  $\pm 5'$  и  $\pm 15'$ .

Оптический угломер применяют в машиностроении значительно реже, чем УМ и УН. Его внешний вид показан на рис. 51, 2. Предназначен угломер для измерения углов от  $0$  до  $180^\circ$  между двумя плоскостями или между плоскостью и образующей цилиндра или конуса. Конструкция оптического угломера напоминает конструкцию перочинного ножа. Две линейки, из которых одна с прорезью, а вторая плоская, могут складываться. В месте соединения линеек расположена оптическая угломерная головка с лупой. Основной деталью является полная круговая градусная шкала, состоящая из четырех секторов по  $90^\circ$  каждый. В поле зрения лупы видны две шкалы, прямая и обратная, с ценой деления  $5'$  и часть градусной шкалы. Отсчет целого числа градусов производится по штриху градусной шкалы, находящемуся в пределах минутной шкалы, а отсчет минут — по положению этого штриха относительно делений минутной шкалы.

В инструментальном производстве для контроля углов заточки режущего инструмента применяются различные угломеры, но наибольшее распространение сегодня получили угломеры типа 2УРИ и угломер маятниковый типа 3УРИ.

Угломер типа 2УРИ (рис. 58) используется для контроля передних и задних углов многолезвийного инструмента (фрез, протяжек, зенкеров и др.) с равномерным шагом и диаметром от  $5$  до  $75$  мм. Угломер состоит из основания 2 с неравномерной шкалой Z. Каждый штрих

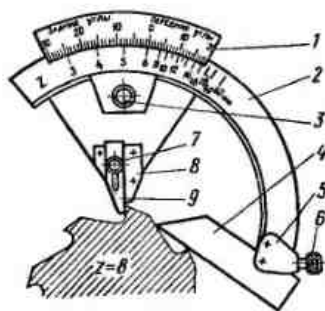


Рис. 58. Угломер типа 2УРИ

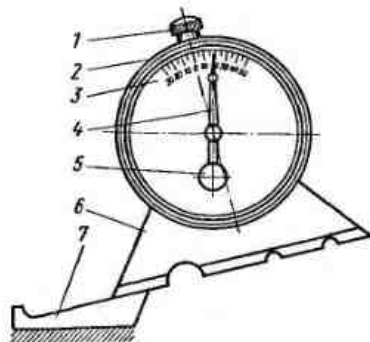


Рис. 59. Маятниковый угломер типа 3УРИ

этой шкалы может явиться указателем для отсчета по градусной шкале 1 значений углов. Цифры у штрихов на неравномерной шкале обозначают количество зубьев (лезвий) у контролируемого инструмента. Например, инструмент имеет восемь зубьев. Следовательно, отсчет по градусной шкале производят, пользуясь штрихом Z — 8, как указателем. Градусная шкала 1 имеет две зоны для отсчета передних от 0 до 25° и задних от 0 до 35° углов. Над шкалой имеются соответствующие надписи. К сектору, составляющему одно целое со шкалой 1, внизу прикреплена планка 8, в пазах которой может перемещаться измерительная линейка 9, фиксируемая в требуемом положении винтом 7. На правом конце основания 2 с помощью державки 5 винтом 6 можно зажимать опорную линейку 4.

При измерении переднего угла инструмент устанавливают рабочими гранями планки 8 и опорной линейки 4 на вершины двух соседних зубьев режущего инструмента. Затем сектор поворачивают до совпадения грани линейки 9 с передней поверхностью зуба и по штриху, соответствующему количеству зубьев измеряемого инструмента, берется отсчет по правой части шкалы. На рис. 58 передний угол инструмента равен 4°.

Для измерения заднего угла инструмент устанавливают точно так же, но с помощью сектора совмещают торцовое лезвие планки 8 с задней поверхностью зуба и по тому же штриху отсчитывают значение заднего угла. На протяжках углы отсчитывают по положению штриха «0» шкалы Z относительно градусной шкалы.

В требуемом положении сектор может быть зафиксирован стоперным устройством с винтом 3.

Погрешность измерения угломером 2УРИ не превышает 1°.

Маятниковый угломер типа 3УРИ (рис. 59) применяют для контроля углов заточки резцов. Он состоит из ножеобразного основания — линейки 6, на котором закреплен корпус 2 угломера. Внутри корпуса расположены свободно вращающаяся ось стрелки 4 и тормозное устройство. На передней стенке корпуса под защитным стеклом расположен циферблат 3 с нанесенной круговой шкалой, состоящей из четырех секторов. Каждый сектор имеет деление от 0 до 90°. Смежные сектора имеют встречные шкалы. На конце стрелки 4 укреплен груз-отвес 5, удерживающий постоянно стрелку в вертикальном положении.

Резец 7 устанавливают на плиту, выверенную по уровню. Для измерения задних углов резец кладется на боковые поверхности, а для измерения переднего угла — на основание. Угломер накладывают основанием-линейкой на проверяемую поверхность и нажимают на кнопку 1, растормаживающую ось стрелки. Под действием противовеса стрелка занимает вертикальное положение, указывая угол наклона поверхности. После успокоения стрелки отпускают кнопку и снимают угломер с зафиксированной стрелкой.

Цена деления шкалы угломера 2°. Основная погрешность показаний  $\pm 1^\circ$ .

Для угловых измерений и делительных работ на станках широко применяют оптическую делительную головку (рис. 60, а). Она представляет собой червячный редуктор 3, выполненный с повышенными требованиями к кинематической точности. Червячная передача редуктора связана с оптической схемой, расположенной в корпусе этого же редуктора.

С помощью маховика 1, сидящего на валу червяка, поворачивают червячное колесо 12, сидящее на шпинделе 7. На шпинделе смонтирован лимб 11 со шкалой, имеющей цену деления 1°. Значение угла поворота шпинделя считывают с лимба окуляра 4. После поворота положение шпинделя может быть зафиксировано рукояткой 2 зажимного механизма. В передней части шпинделя имеется отверстие с конусом Морзе № 4, в которое вставляют центры либо изделия с конусным хвостовиком. Для закрепления измеряемой детали в центрах делитель-

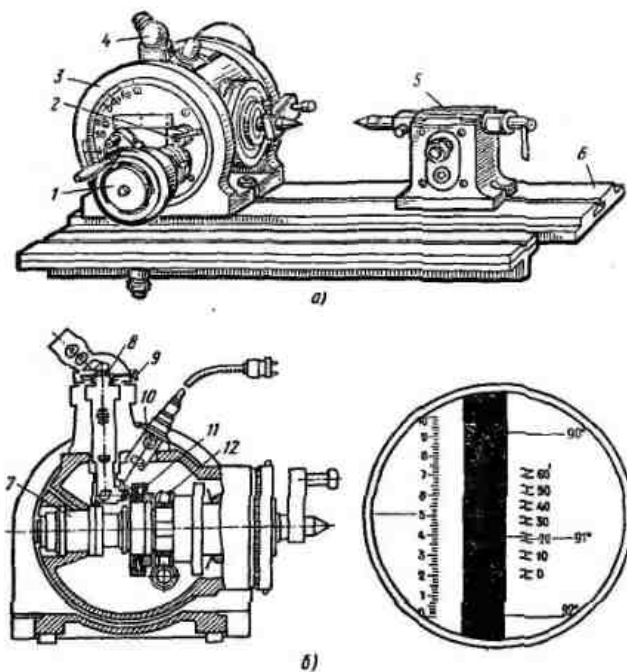


Рис. 60. Оптическая делительная головка

ная головка имеет заднюю бабку 5 с пинолью и центром. Бабка вместе с головкой устанавливается на станине 6 с Т-образным продольным пазом. Оси центров делительной головки и задней бабки должны совпадать.

Оптические головки отличаются друг от друга конструкцией отсчетного микроскопа.

В рассматриваемой конструкции с односторонним отсчетом поток света от лампы 10, собранный в параллельный пучок конденсором, отразившись от зеркал, освещает участок лимба. Изображение этого участка проецируется оптической системой на пластину отсчетного микроскопа со шкалой 8, расположенной между объективом и окуляром. Установка шкалы на нуль осуществляется винтом 9. Цена деления шкалы 1'. Отсчет снимается точно так же, как с угломерной головки микроскопа. Имеющиеся на выходе оптической системы две призмы полного отражения позволяют поворачивать окуляр в положение, удобное для оператора.

Другая схема отсчетного микроскопа содержит две прозрачные шкалы: неподвижную с шестью двойными штрихами и ценой деления 10' и подвижную с 60 делениями и ценой 10". С помощью окуляра микроскопа делают отсчет по шкале (рис. 60, б). В правой части видны крупные штрихи градусной шкалы лимба, которые занимают на минутной шкале место, соответствующее измеряемому углу. Перемещением секундной шкалы устанавливают изображение штриха градусной шкалы в середине ближайшего двойного штриха минутной шкалы и отсчитывают значение измеряемого угла. Отсчет будет соответствовать углу 91°25'00".

Отечественная промышленность выпускает следующие типы оптических делительных головок: ОДГ-2 с ценой деления 2" и с двусторонним, совмещенным в поле зрения отсчетом; ОДГ-5 с ценой деления 5" и с двусторонним отсчетом; ОДГ-10 с ценой деления 10" и с двусторонним или односторонним отсчетом; ОДГ-60 с ценой деления 60" и с односторонним отсчетом. Головки могут иметь две шкалы: для отсчета по часовой стрелке и в обратном направлении.

Предельная допустимая погрешность оптических делительных головок на любом участке лимба составляет: у головок ОДГ-2—2", ОДГ-5—5", ОДГ-10—10", ОДГ-60—20".

Для проверки угловых мер, измерения углов между плоскими полированными гранями деталей и кристаллов применяют приборы, называемые гониометрами. Сущность измерения на гониометрах угловых мер сводится к сравнению измеряемого угла со шкалой лимба, проградуированной с большой точностью (рис. 61).

Две одинаковые трубы 3 и 5 с телеобъективами, имеющими фокусное расстояние  $F$ , установлены под углом  $\varphi$  друг к другу. Лимб 7 с нанесенной на нем шка-

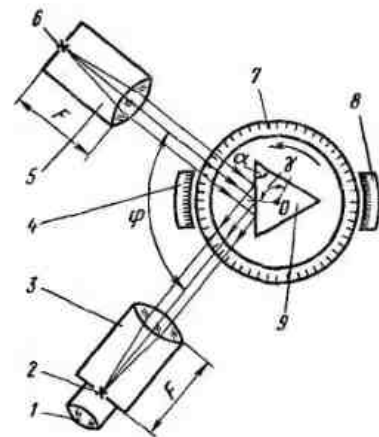


Рис. 61. Схема измерений на гониометре

лой может поворачиваться вокруг оси  $O$ . По диаметру лимба расположены два отсчетных устройства 4 и 8. В качестве отсчетного устройства используют нониусы или микроскопы с окулярным винтовым микрометром. Проверяемую угловую меру 9 устанавливают на плоскости лимба таким образом, чтобы грани измеряемой меры были перпендикулярны плоскости лимба. В фокальной плоскости объектива трубы 5 помещена крестообразная щель 6, через которую проходят лучи света от лампочки (на схеме не показана). Расходящийся из крестообразной щели пучок лучей собирается объективом в параллельный пучок, который, отразившись от доведенной поверхности угловой меры, проходит через объектив трубы 3 и дает на ее экране резкое изображение крестообразной щели 6. В фокальной плоскости объектива 1 трубы 3 помещена пластина с нанесенным на поверхности крестом 2. Эта пластина одновременно является экраном, на который проецируется изображение крестообразной щели. Поворотом трубы 3 и перемещением столика (на схеме не показан) с угловой мерой находят такое положение, при котором крест 2 совмещится с изображением крестообразной щели. В этом положении делают первый отсчет по отсчетным устройствам 4 и 8. Затем лимб вместе с угловой мерой 9 поворотом против часовой стрелки устанавливают в положение, при котором изображение крестовой щели 6 опять совмещится с крестом 2, и снимают второй отсчет. Разность между отсчетами по устройству 4 даст значение  $\gamma_1$  угла поворота лимба, а разность между отсчетами по устройству 8 — угол  $\gamma_2$ . Действительный угол поворота лимба  $\gamma$  (для уменьшения погрешности отсчета) находят как среднее арифметическое  $\gamma_1$  и  $\gamma_2$  углов  $\gamma = (\gamma_1 + \gamma_2)/2$ . Измеренный угол  $\alpha = 180^\circ - \gamma$ .

В соответствии с ГОСТ 10021—74 гониометры типов ГС1, ГС2, ГС3 и ГС5 имеют допустимую погрешность измерения соответственно 1, 2, 3 и 5". При измерении углов на гониометрах в целях снижения погрешности и доведения ее до значения, регламентированного ГОСТ 10021—74, наведение на одну грань повторяют трижды и в качестве результата отсчета берут среднее арифметическое трех показаний.

#### 4.4. Косвенные методы измерения углов и конусов

Косвенные методы измерения углов и конусов сводятся к измерению линейных размеров и расчету искомого угла с использованием тригонометрических функций. В зависимости от измеряемых линейных параметров углов и конусов и используемой впоследствии тригонометрической функции измерения могут быть синусными и тангенсными.

Примером тангенсного измерения является измерение угла конуса на универсальном микроскопе. Измеряют диаметр конуса в двух сечениях и расстояние между сечениями. Пользуясь этими данными, находят тангенс угла уклона  $\alpha$  конуса, а по нему и угол  $\alpha$  (угол уклона  $\alpha$  равен половине угла конуса при вершине):  $\operatorname{tg} \alpha = (d_1 - d_2)/l$ .

Пример синусного измерения рассмотрим ниже, а пока ознакомимся со средствами для косвенных измерений.

Основными средствами для измерения углов этим методом являются синусные и тангенсные линейки. Однако на практике применяются только синусные линейки.

Синусная линейка представляет собой шлифованный брусок прямоугольного сечения с двумя цилиндрическими роликами или шариками на концах. Линейку располагают на плите и под один из роликов (шариков) вставляют блок концевых мер размером  $h$ . Высоту блока рассчитывают по формуле  $h = L \sin \alpha$ , где  $L$  — расстояние между осями роликов (шариков), установленных по концам линейки;  $\alpha$  — угол, на который требуется установить линейку. Обычно с помощью синусной линейки устанавливают углы не более  $45^\circ$ . Синусную линейку применяют как при измерении угловых величин, так и при изготовлении углов требуемых значений. Угол наклона рабочей поверхности линейки с плитой при установленном расчетном размере  $h$  составляет требуемый угол  $\alpha$ .

Базовые длины выпускаемых синусных линейек составляют 100—500 мм. На верхней рабочей плоской поверхности синусной линейки имеются резьбовые отверстия для крепления зажимов. Ряд конструкций линейек имеет на этой поверхности центра для установки деталей. При измерении угла конуса с помощью синусной линейки (рис. 62, а) конус укладывают на рабочую поверхность линейки обычно вершиной к концу, под которой помещают набор концевых мер. В случае, если угол наклона линейки равен углу при вершине конуса, то верхняя

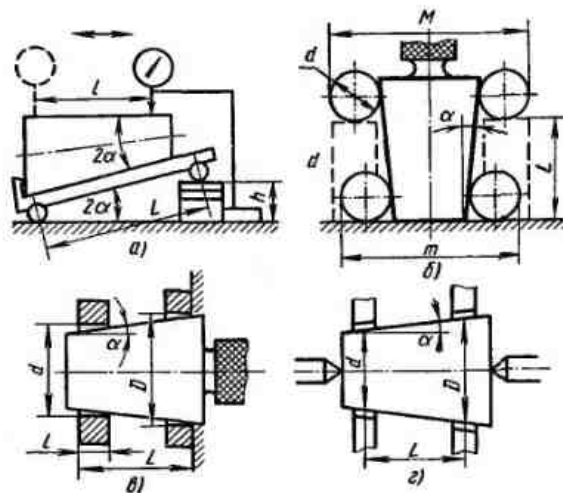


Рис. 62. Измерение угла наружного конуса

образующая конуса расположена параллельно плите. С помощью измерительной головки, закрепленной в стойке или штативе, определяют разность высот положения образующей конуса относительно плиты и, пользуясь этими данными, находят, на сколько угол конуса отличается от угла синусной линейки. Рассмотренный пример является одним из вариантов синусной схемы измерения.

На рис. 62 приведены примеры тангенсных схем измерения угла наружного конуса с помощью аттестованных роликов и двух концевых мер размером  $L$  (рис. 62, б). Измерение угла можно производить с помощью двух калиброванных колец (рис. 62, в) или на универсальном микроскопе с помощью плоских ножей (рис. 62, г). Эти схемы сводятся к определению диаметра конуса в двух нормальных сечениях и расстояния между этими сечениями.

Используя обозначения на схемах, формулы для расчета значения угла или половины угла конуса будут иметь вид:  $\sin 2\alpha = h/L$  (рис. 62, а);  $\operatorname{tg} \alpha = (M - m)/(2L)$  (рис. 62, б);  $\operatorname{tg} \alpha = (D - d)/[2(L - l)]$  (рис. 62, в);  $\operatorname{tg} \alpha = (D - d)/(2L)$  (рис. 62, г).

На рис. 63, а, б показаны два варианта измерения внутреннего конуса: угла  $\beta$  (рис. 63, а), угла между образу-

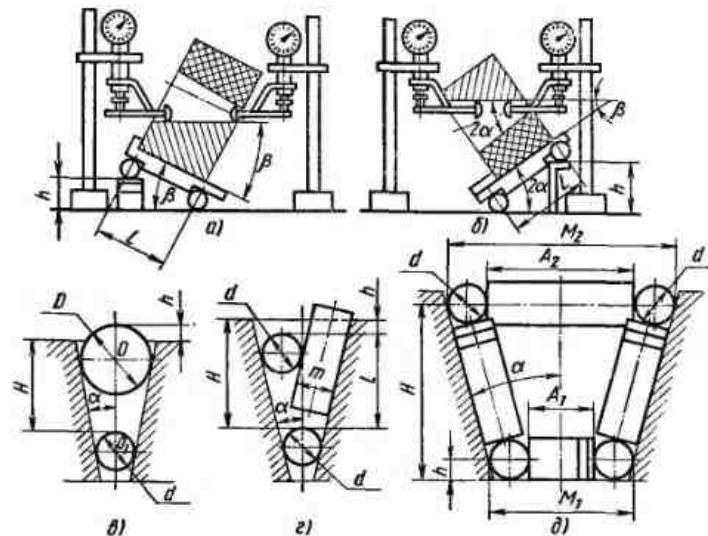


Рис. 63. Измерение угла внутреннего конуса

ющими конуса  $2\alpha$  (рис. 63, б). Расчет угла аналогичен рассмотренному выше примеру для наружного конуса.

Измерение внутренних конусов часто проводят косвенным методом с применением аттестованных шариков и проволочек. На рис. 63, в показана синусная схема измерения внутреннего конуса с помощью аттестованных шариков с диаметрами  $D$  и  $d$ . Измеряя расстояние между поверхностями шариков и торцом конуса, определяют расстояние между центрами шариков, а диаметры сечения конуса принимают равными диаметрам шариков. В синусной схеме (рис. 63, г) использованы шарики с равными диаметрами и аттестованная проволочка. посредством измерения линейных размеров  $H$ ,  $h$  и  $l$ , зная диаметр  $d$  шариков и  $m$  проволочки, определяют расстояние между сечениями и диаметры в этих сечениях. В схеме (рис. 63, д) используется четыре аттестованных шарика и проволочки. Измерение сводится к определению размеров  $M_1$  и  $M_2$  сечений и расстояния между ними. Расчетные формулы для определения угла внутреннего конуса в зависимости от схемы измерения:  $\sin \alpha = (D - d)/[2(H + h) - (D - d)]$  (рис. 63, в);  $\sin \alpha = m/[2(H - h)]$  (рис. 63, г);  $\operatorname{tg} \alpha = (M_2 - M_1)/[2(H - h)]$  (рис. 63, д).

### 4.5. Уровни

Для контроля малых углов наклона, а также положения поверхности относительно линии горизонта применяют измерительные средства, называемые уровнями. В машиностроении используют различные конструкции ампульных уровней (рис. 64).

Основным элементом уровня является ампула (рис. 64, в), закрепляемая в корпусе прибора. Она представляет собой стеклянную трубку, внутренняя поверхность которой изогнута по дуге большого радиуса. Трубка заполняется жидкостью (этиловым спиртом, эфиром и др.) и оба конца ее запаиваются. Внутри ампулы оставляют небольшое количество воздуха, которое образует вытянутый в длину пузырек, стремящийся занять наивысшее положение. Поверхность жидкости, находящейся в ампуле, всегда будет занимать строго горизонтальное положение. При наклоне ампулы нанесенная на ее поверхности шкала будет перемещаться относительно пузырька, находящегося всегда в наивысшей точке.

Штрих в центре шкалы, относительно которого пузырек устанавливается симметрично при горизонтальном положении основания, называется нуль-пунктом.

Цена деления шкалы уровня выражается в секундах, минутах или же в миллиметрах перепада высоты на длине одного метра. Ампулы ( в зависимости от цены деле-

ния) разделяются: малой точности — цена деления свыше 1', средней точности — 1'–2" и высокой точности — до 2". Интервал деления шкал, наносимых на наружную поверхность ампулы, составляет 2 мм. Радиус внутренней поверхности ампулы зависит от цены деления. Так, при цене деления ампулы 1" радиус равен 412 530 мм.

По конструкции ампулы делят на следующие типы: АК — круглые сферические ампулы малой точности. Шкала выполнена в виде концентрических окружностей. Указателем служит край пузырька;

АЦП — цилиндрические простые ампулы малой и средней точности со штриховой шкалой или перекрестьем в середине вместо шкалы. Отсчет берется по одному из краев пузырька;

АЦК — цилиндрические компенсированные ампулы. Внутри ампулы помещена стеклянная запаянная трубка, которая уменьшает количество жидкости в ампуле и уменьшает изменение длины пузырька при изменении температуры. Отсчет берут по одному из концов пузырька;

АЦР — цилиндрические камерные ампулы с регулируемой длиной пузырька. Отсчет ведется также по одному из концов пузырька. В процессе сборочных или ремонтных работ пользуются отдельными типами технических уровней, к которым относятся установочные, брусковые и рамные уровни. Установочные уровни, использующие в основном ампулы типа АК и реже АЦП, предназначены для контроля правильности установки станин и оснований приборов в горизонтальное положение. Эти уровни крепятся стационарно на приборах.

На рис. 64, а, б показаны брусковый и рамный уровни, основными элементами которых является корпус 1, основная (продольная) шкала 2 и поперечная (установочная) шкала 3.

Брусковые уровни (рис. 64, а) предназначены для контроля горизонтального положения поверхностей при сборке, ремонте или проверке точности станков, приборов и другого оборудования. По конструкции уровни делятся на регулируемые (мод. 110 и 117) и на нерегулируемые (мод. 112).

У нерегулируемых брусковых уровней ампулы устанавливают в углублении корпуса с помощью клиньев и заливают специальным твердеющим составом. В регулируемых рамных уровнях предусмотрен механизм, позволяющий регулировать положение ампулы.

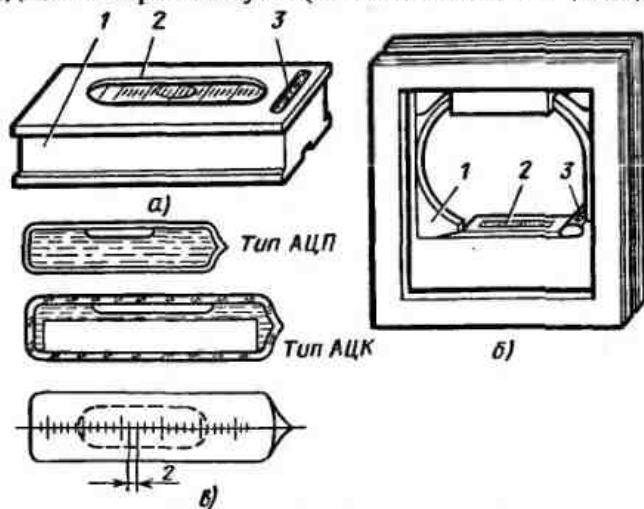


Рис. 64. Уровни брусковые и рамные

Рамные уровни (рис. 64, б) используют для контроля как горизонтального, так и вертикального расположения поверхностей при монтаже и проверке точности станков и другого оборудования.

В соответствии с ГОСТ 9392–75 рамные и брусковые уровни выпускают с рабочей длиной основания 100, 150 и 200 мм. По требованию заказчика длина основания может быть увеличена до 250 мм.

Уровни с микрометрической подачей ампулы согласно ГОСТ 11196–74 выпускают двух типов: с ценой деления 2'' (0,01 мм/м), пределами измерений не менее  $\pm 1^{\circ}43'$  ( $\pm 30$  мм/м).

На рис. 65 приведена схема микрометрического уровня мод. 107. Регулируемая ампула 1 подвешена на плоских пружинах 6. Одним концом она опирается на рычаг 8, который микровинтом 5 может поворачиваться вокруг оси 7 и менять положение корпуса с ампулой 1 по отношению к основанию прибора. Над ампулой расположена оптическая система, состоящая из линзы 2 и двух призм 3, сводящих изображения концов пузырька уровня в одно поле зрения. Результат измерения отсчитывают по лимбу 4 микровинта. Рядом с лимбом установлен счетчик числа оборотов микровинта (на схеме не показан). При горизонтальном положении основания уровня изображения концов пузырька ампулы должны совпадать, лимб и счетчик оборотов — занимать нулевые положения. При измерении микровинтом 5 совмещают изображения и по лимбу отсчитывают угол отклонения проверяемой плоскости от горизонтали.

Механизм уровня собран на основании и закрыт защитным кожухом с верхней крышкой. В боковых стенках кожуха имеются окна для освещения пузырька. Окна закрыты защитным стеклом.

Цена деления шкалы лимба 0,01 мм/м, цена деления счетчика оборотов 1 мм/м, пределы измерения  $\pm 10$  мм/м.

Ампулы могут применяться в угломерных приборах в качестве отчетного устройства.

На рис. 66 показан

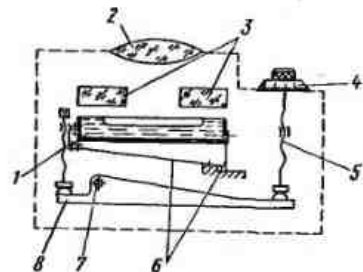


Рис. 65. Схема микрометрического уровня

квадрант, предназначенный для измерений угла наклона плоских и цилиндрических поверхностей или для установки их под требуемым углом к линии горизонта. Прибор имеет основание 9 с продольным призматическим пазом для установки на цилиндрическую поверхность. На основании закреплен корпус 4, в котором смонтирован стеклянный лимб со шкалой, имеющей цену деления  $1^{\circ}$ . Показания с лимба можно снимать с помощью отчетного микроскопа 1. Микроскоп и лимб по построению не отличаются от известной окулярной угломерной головки. Снаружи корпуса установлен диск 5 со шкалой 6, позволяющий осуществлять примерный отсчет угла поворота микроскопа относительно лимба. Отсчет со шкалы 6 снимают относительно неподвижного указателя 10. Диск 5 фиксируют в нужном положении стопором 2. На наружном диске со шкалой укреплены основной продольный уровень 7 и поперечный установочный уровень 11. Цена деления продольного уровня 30'', а поперечного 2'.

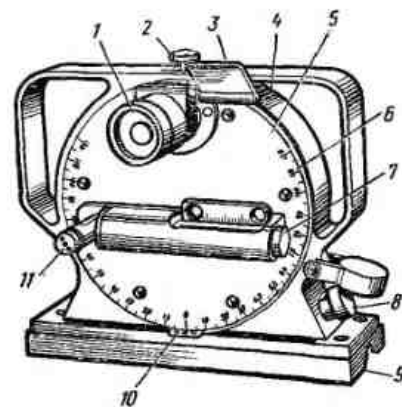


Рис. 66. Квадрант

Измерение проводят следующим образом. Квадрант устанавливают основанием на измеряемую поверхность. Отпустив стопорный винт, поворачивают диск 5 до тех пор, пока пузырек продольного уровня не займет ориентировочно среднего положения. После этого, зафиксировав диск стопором 2, микровинтом 8 окончательно выставляют пузырек продольного уровня в положение нуль-пункт. После этого по отчетному устройству микроскопа 1 снимают отсчет угла наклона измеряемой поверхности.

Установку поверхности на требуемый угол к горизонтали производят в обратном порядке. Сначала квадрант выставляют на заданный угол описанным выше способом. Затем ставят его основанием на устанавливаемую поверхность и поворачивают ее до тех пор, пока пузырек продольного уровня не займет положения нуль-пункта.



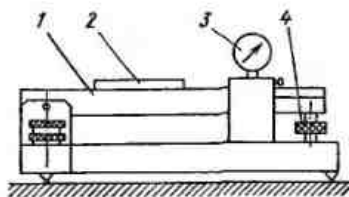


Рис. 67. Экзаменатор

Для удобства отсчета с продольного уровня 7 прибор оснащен зеркалом 3.

В соответствии с ГОСТ 14967—80 изготавливают четыре типа квадрантов: КО-2, КО-10 и КО-30, имеющие соответственно цену делений отсчетного микроскопа 2, 5, 10 и 30". Пределы до-

пускаемой погрешности квадрантов, как правило, не превышают цены деления.

Поверку всех рассмотренных уровней проводят с целью определения правильности установки в нулевое положение и цены деления.

Правильность установки уровня в нулевое положение проверяют на плите с упором, занимающей примерно горизонтальное положение. Уровень устанавливают на плиту до упора и снимают по шкале первый отсчет. Затем уровень поворачивают на 180° вокруг вертикальной оси, ставят в то же положение до упора и снимают второй отсчет. За погрешность установки уровня в нулевое положение принимают полуразность первого и второго отсчетов. Допускаемым считается отклонение, составляющее 0,25 интервала шкалы (0,5 мм) ампулы.

Цену деления уровня проверяют на экзаменаторах (рис. 67). Уровень или отдельно ампулу 2 устанавливают на рабочую поверхность планки 1 экзаменатора. Затем дифференциальным винтом 4 осуществляют наклон планки таким образом, чтобы край пузырька последовательно совмещался со штрихами шкалы. Отсчеты при этом снимают с измерительной головки 3. Измерения проводят при прямом и обратном перемещениях пузырька и за результат принимают среднее арифметическое. Затем проделявают те же операции, перемещая другой конец пузырька.

Результатом проверки цены деления является среднее значение цены деления, определенное по обоим концам пузырька при прямом и обратном перемещениях.

#### Контрольные вопросы

1. В каких единицах измеряются плоские углы и какими параметрами характеризуется размер конусов?
2. Какие существуют методы измерения углов?
3. Что такое образцы просвета и образцы интенсивности окраски?

4. Какие вы знаете универсальные приборы для измерения углов?
5. Каким образом можно измерить углы, пользуясь угломерами типов УН и УМ?
6. Какими инструментами и как измерить углы заточки режущего инструмента?
7. Как устроена оптическая делительная головка и каким образом на ней можно осуществлять измерение углов?
8. Что такое гониометр?
9. Что такое синусная линейка и где она применяется?
10. Как измерить косвенным методом наружные и внутренние конусы?
11. Как, пользуясь тригонометрическими функциями, определить угол при различных схемах измерения конусов?
12. Какие конструкции уровней вы знаете и в чем состоит принцип их работы?
13. Что такое квадрант, где и как его применяют?
14. Как проверяют нуль-пункт уровня?
15. Как проверяют цену деления уровня?

## 5. КОНТРОЛЬ ОТКЛОНЕНИЙ ФОРМЫ И РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Любую деталь можно представить как совокупность геометрических тел или их элементов, ограниченных плоскими, цилиндрическими, коническими, сферическими, эвольвентными или другими поверхностями. Например, ступенчатый валик мы можем рассматривать, как сочетание ряда цилиндров с различными диаметрами и общей осью. Известно, что получить идеальную геометрическую форму поверхностей детали в процессе изготовления невозможно. Разнообразные факторы, оказывая воздействие на систему СПИД, вызывают погрешности формы и расположения поверхностей. При работе или сборке эти отклонения приводят к повышенному износу, нарушению плавности хода, шумообразованию, неравномерному натягу или зазору и т. д.

Отклонения формы и расположения поверхностей существенно влияют на трудоемкость сборки, снижают точность измерения размеров, влияют на точность базирования, повышают объем пригоночных операций.

Таким образом, для повышения эксплуатационных и технологических показателей необходимо ограничивать на чертежах не только предельные отклонения линейных и угловых размеров, но и отклонения формы и расположения поверхностей от номинальных. Повышение точности геометрии деталей при их изготовлении и контроле способствует повышению качества машин и приборов.

## 5.1. Контроль отклонения формы плоских поверхностей

В соответствии с ГОСТ 24642—81 отклонение формы поверхности или профиля определяют с помощью прилегающих плоскостей и прямых. По стандарту *прилегающая плоскость* — это плоскость, соприкасающаяся с реальной поверхностью и расположенная вне материала детали так, чтобы отклонение ее от наиболее удаленной точки реальной поверхности в пределах нормируемого участка имело минимальное значение. *Прилегающая прямая* — прямая, соприкасающаяся с реальным профилем и расположенная вне материала детали так, чтобы отклонение от нее наиболее удаленной точки реального профиля в пределах нормируемого участка имело минимальное значение.

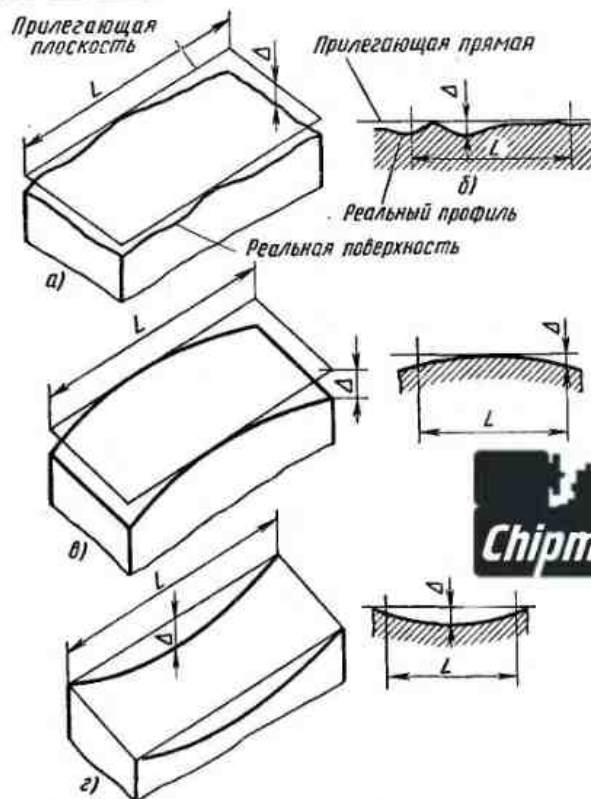


Рис. 68. Отклонения формы плоских поверхностей

Стандарт нормирует два вида отклонений от формы плоских поверхностей: отклонение от плоскостности и отклонение от прямолинейности.

За *отклонение от плоскостности* принимают наибольшее расстояние  $\Delta$  от точек реальной поверхности до прилегающей плоскости в пределах нормируемого участка (рис. 68, а). За *отклонение от прямолинейности* принимают наибольшее расстояние  $\Delta$  от точек реального профиля до прилегающей прямой в пределах нормируемого участка (рис. 68, б).

Частными случаями отклонения от плоскостности и прямолинейности являются: *вогнутость* — отклонение, при котором удаление точек реального профиля от прилегающей плоскости (прямой) увеличивается от краев к середине (рис. 68, з), и *выпуклость* — отклонение, при котором удаление точек реального профиля от прилегающей плоскости (прямой) уменьшается от краев к середине (рис. 68, в).

Для проверки плоскостности и прямолинейности пользуются проверочными линейками и плитами, уровнями, плоскомерами, гидравлическими, интерференционными и другими методами.

Измерение с помощью проверочных линеек заключается в том, что рабочая часть линейки принимается за прилегающую прямую.

Основные типы линеек, выпускаемые в соответствии с ГОСТ 8026—75, приведены на рис. 69 и обозначаются: ЛД — лекальная с двусторонним скосом (рис. 69, а); ЛТ — лекальная трехгранная (рис. 69, б); ЛЧ — лекальная четырехгранная (рис. 69, в); ШП — с широкой рабочей поверхностью прямоугольного сечения (рис. 69, г); ШД — с широкой рабочей поверхностью двутаврового сечения (рис. 69, д); ШМ — с широкой рабочей поверхностью, мостик (рис. 69, е); УТ — угловая трехгранная (рис. 69, ж). Линейки выпускают трех классов точности: 0, 1 и 2.

Лекальные линейки имеют рабочие ребра с радиусом закругления не более 0,2 мм и применяются для контроля прямолинейности методом «на просвет» (рис. 69, з). Размер просвета, так же как и при контроле углов, определяют с помощью образца просвета. При хорошей подсветке просвета и достаточном навыке максимальный просвет, определяющий отклонение от прямолинейности на участке, ограниченном лезвием линейки, можно оценить с точностью до  $\pm 1$  мкм, если его значение не превышает 3—5 мкм. Точность этого метода, как уже гово-

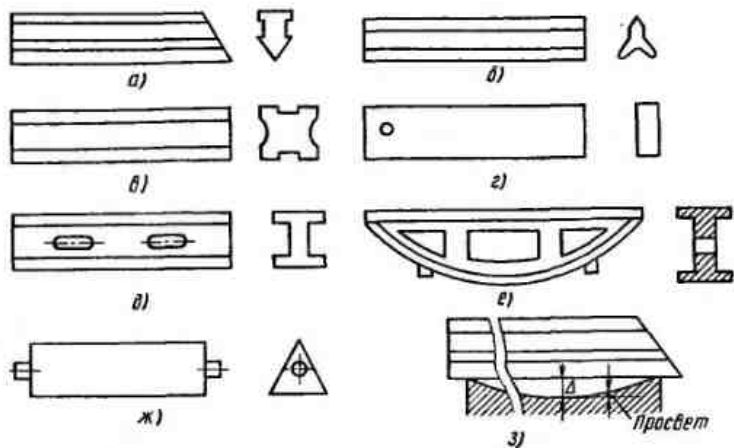


Рис. 69. Поверочные линейки

рилось, понижается с увеличением просвета и ограничивает его применение при оценке просвета свыше 10 мкм.

Линейки с широкой рабочей поверхностью применяют для проверки прямолинейности методом «линейных отклонений» и для проверки плоскостности узких поверхностей методом «на краску».

Контроль прямолинейности методом «линейных отклонений» заключается в следующем. Линейку укладывают рабочей поверхностью на две концевые меры с одинаковыми номинальными размерами. Концевые меры лежат на проверяемой поверхности и являются опорами линейки в точках Эри, отмеченных на боковых поверхностях линейки. Точки Эри располагаются на расстоянии  $0,233 l$  (где  $l$  — длина рабочей части линейки) от концов линейки и помещают опоры в эти точки обеспечивает наименьший прогиб линейки под действием собственного веса. После этого расстояние между опорами делят на интервалы длиной  $0,1 l$ , отмечая их границы мелом в виде штрихов на боковой поверхности линейки. В отмеченных точках измеряют зазор между линейкой и проверяемой поверхностью с помощью щупа, измерительных головок или концевых мер. По результатам измерений строят в масштабе график-профилограмму поверхности. Соединяют конечные точки графика-профилограммы прямой линией и за отклонение от прямолиней-

ности поверхности принимают расстояние от наиболее удаленной точки профилограммы до этой прямой.

Проверка плоскостности «на краску» производится линейками типов ШД, ШМ и УТ, покрытыми тонким равномерным слоем типографской краски № 219 или «берлинской лазури». Методика покрытия краской и ограничение толщины красочного покрытия с помощью образца «интенсивности окраски» та же, что при контроле конусными калибрами «на краску». Покрытую краской линейку устанавливают на проверяемую поверхность и слегка перемещают в продольном направлении. Потом ее снимают и по отпечатку судят о плоскостности и прямолинейности поверхности. На выступающих частях поверхности остаются пятна краски. Принято оценивать качество поверхности по количеству пятен на площадке размером  $25 \times 25$  мм. Чем больше пятен на этой поверхности в пределах указанного квадрата, тем выше ее качество. Проверка на краску позволяет осуществить качественную оценку без количественных показателей.

Линейки типа УТ могут быть использованы для контроля плоскостности одновременно двух пересекающихся поверхностей на краску.

Основные требования, предъявляемые к линейкам, следующие. Отклонение от прямолинейности рабочих поверхностей линейек ЛД, ЛТ и ЛЧ в зависимости от класса точности и длины рабочей поверхности не должна превышать  $0,6-3$  мкм. Отклонение от плоскостности (в зависимости от тех же показателей) не должно превышать  $2-60$  мкм. Рабочие поверхности линейек ШД, ШМ и УТ, предназначенных для работы по методу «на краску», должны быть шабрены и число пятен на квадрат со стороной  $25 \times 25$  мм составляет 35, 30 и 20 соответственно.

Измерение с использованием поверочных плит заключается в том, что их плоские поверхности принимают за прилегающие поверхности, с помощью которых определяют отклонение реальной поверхности.

В соответствии с ГОСТ 10905-75 выпускают плиты поверочные и разметочные размером от  $160 \times 160$  до  $2500 \times 1600$  мм ( $L \times b$ ) классов точности 00; 0; 1; 2 и 3. Плиты изготавливают обычно из серого чугуна и для увеличения жесткости их основания делают ребристыми (рис. 70).

У плит размером  $630 \times 630$  мм и менее предусматривают три опорные точки, разнесенные на основании;

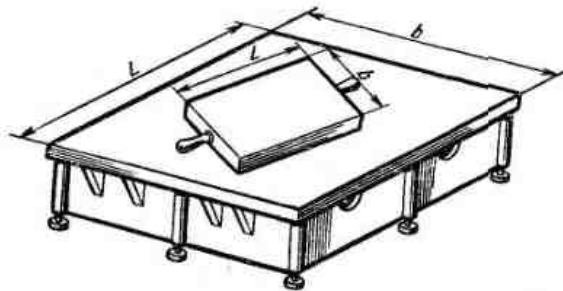


Рис. 70. Поверочные плиты

у плит размером свыше  $600 \times 600$  мм — не менее пяти опорных точек. Плиты размером свыше  $1000 \times 600$  мм должны иметь регулируемые опоры.

Плиты класса 00 применяют в качестве образцовых поверхностей при проверке плоскостности поверхностей высокоточных деталей, класса 1 и 2 — для точных деталей, а класса 3 — как базовые поверхности при разметочных работах.

В настоящее время освоен выпуск поверочных плит из твердокаменных пород — гранита, диорита, диабазы, габбро и др. Эти плиты имеют ряд преимуществ перед чугунными. Они отличаются антикоррозионностью и повышенной твердостью. Не имея внутренних напряжений, они не подвержены короблению, не нуждаются в размагничивании. Срок службы их в 8–10 раз больше чугунных.

В настоящее время для специальных измерений выпускают трехкоординатные каменные плиты. Они имеют на рабочей поверхности несколько отверстий разных диаметров, строго перпендикулярных этой поверхности. В отверстиях могут устанавливаться, как в гнездах, различные оправки и приспособления, позволяющие контролировать или измерять различные параметры на вертикальных плоскостях изделий.

Плиты предназначены для контроля плоскостности изделий методом «на краску» и методом «линейных отклонений». Методика контроля плитами плоскостности идентична работе с линейками с той лишь разницей, что при контроле методом «линейных отклонений» изделие устанавливают на поверочной плите на три опоры одного размера. Эти опоры располагают так, чтобы они бы-

ли максимально удалены друг от друга и не лежали на одной прямой. Стойку с измерительной головкой перемещают в различных направлениях, измеряя отклонение расстояния между поверхностью плиты и поверхностью контролируемой детали. Наибольшая разность показаний будет характеризовать отклонение от плоскостности проверяемой поверхности.

Рабочие поверхности чугунных плит должны быть шабрены с числом пятен в квадрате  $25 \times 25$  мм для класса 00 не менее 25 и 20 — для класса 1. Для подсчета пятен рабочие и контролеры обычно пользуются непрозрачной пластиной с окном размером  $25 \times 25$  мм. Накладывая ее на 3–4 участка, подсчитывают количество пятен, попавших в поле зрения. Качество поверхности определяется средним значением количества пятен.

Очень часто при проверке станков или поверке приборов приходится оценивать степень износа направляющих, определяя отклонение их поверхностей от плоскостности и прямолинейности. Применение линеек и плит в ряде случаев становится невозможным. Так, при использовании даже достаточно жестких линеек-мостиков (тип ШМ) длиной 2000 мм при контроле «на краску» погрешность контроля достигает 0,02 мм, т. е. составляет 50% допуска на отклонение от плоскостности проверяемой поверхности. Поэтому для проверки поверхностей размерами свыше 2 м мостики применять не рекомендуют.

Методом «натянутой струны» измеряют отклонение от прямолинейности направляющих станков, направляющих пазов на станине и т. п. Метод состоит в следующем. Микроскоп с окулярным микрометром укрепляют на ползуне, который при измерении перемещают по контролируемой направляющей или пазу станины. Отклонение от прямолинейности направляющей или паза определяют по максимальному смещению микроскопа относительно натянутой струны, отсчитывая смещение с помощью окуляр-микроскопа. Недостатком метода можно считать невозможность определения отклонения направляющих в вертикальной плоскости из-за прогиба металлической струны.

Погрешность этого метода при контроле поверхностей протяженностью до 10 м составляет  $\pm 33$  мкм, а на длине 30 м — 135 мкм. Наиболее эффективно применение этого метода при контроле поверхностей протяженностью не более 5 м и допуском порядка 60 мкм.

Достаточно широко применяются оптические методы контроля, основанные на том, что профиль контролируемой поверхности сравнивают с лучом света, который принимают за образцовую прямую.

Устройство для коллимационных измерений прямолинейности похоже на упрощенную схему гониометра из двух труб. Одна из них — зрительная труба имеет объектив, в фокальной плоскости которого закреплена пластина с перекрестием в центре. Другая труба — коллиматор имеет такую же пластину с перекрестием в центре, освещаемую через конденсор лампочкой. Коллиматор и трубу устанавливают на разных концах направляющей и микровинтом отсчетной оптической головки зрительной трубы сводят перекрестие на шкале с изображением проецируемого изображения перекрестия шкалы коллиматора. Коллиматор перемещают по направляющей, фиксируя смещение изображения перекрестия относительно неподвижного перекрестия зрительной трубы с помощью окуляр-микроскопа. Наибольшая разность показаний окуляр-микроскопа определяет погрешность направляющей.

Прибор, построенный по принципу «оптической струны», использует свойство луча сохранять свою прямолинейность в однородной среде и напоминает коллимационную установку. Вторая труба-коллиматор заменена здесь специальным устройством, создающим тонкий луч света, проецирующийся на экран зрительной трубы в виде яркой световой точки. В начале измерения зрительную трубу с помощью микровинтов настраивают таким образом, чтобы светящаяся точка поместилась в центр экрана. Затем, перемещая источник света, следят за изменением положения светящейся точки на экране зрительной трубы. Отклонения от плоскостности измеряют по двум координатам с помощью микрометрического винта, с которым связано перо самописца. Это перо фиксирует в виде точек на бумажной ленте профиль поверхности.

Применяемый автоколлимационный метод измерения отклонений от прямолинейности в принципе напоминает действие трубки оптиметра. Но в этом случае из трубки оптиметра зеркало как бы вынута и установлено на ползуне, а на пластине оптиметра изображено перекрестие. При перемещении ползуна с зеркалом погрешность направляющих вызывает изменение углового положения зеркала и, как следствие, изменение направления отра-

женных лучей и смещение отраженного изображения перекрестия. Смещение определяется с помощью окуляр-микроскопа.

Автоколлимационный метод измерения более удобен, чем описанный выше, так как по направляющим станины зеркало перемещать удобнее, чем коллиматор. Недостатком является изменение освещенности зеркала при его удалении от автоколлиматора и уменьшение поля зрения.

Методом визирования можно контролировать погрешность направляющих станин как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскости. Он заключается в том, что на разных концах контролируемых направляющих укрепляют источник света и зрительную трубу. Между ними помещают ползун со стеклянной пластиной, на которой имеется перекрестие. Зрительная труба имеет пластину с перекрестием и два взаимно перпендикулярных микровинта с ценой деления 0,005 мм. Эти микровинты поворачивают объектив вокруг вертикальной и горизонтальной осей, совмещая перекрестие на пластине с проецируемым на нее изображением перекрестия на пластине ползуна. При продольном перемещении ползуна совпадение центров перекрестий будет нарушаться, если поверхность станины имеет отклонение формы. Значения отклонений в вертикальной и горизонтальной плоскостях отсчитывают по соответствующим микровинтам. В настоящее время выпускают аналогичные приборы с ценой деления 0,001 мм.

При сборочных и ремонтных работах часто приходится решать задачу установки отдельных узлов или деталей изделия в одной плоскости. Эти виды работ, а также измерения отклонений от плоскостности и прямолинейности позволяют выполнить оптические плоскомеры (рис. 71).

Принцип работы основан на измерении расстояний от точек реальной поверхности до прилегающей плоскости.

Плоскомер состоит из не-

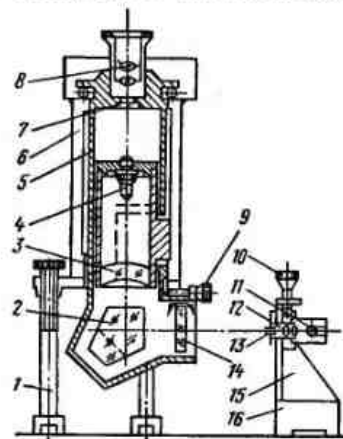


Рис. 71. Оптический плоскомер

подвижной части 6 и поворотной 5. Неподвижная часть имеет три регулируемые опоры 1 с основаниями в виде включаемых постоянных магнитов. В ней размещены также окуляр 8, прозрачная пластина с сеткой 7, призма (пентопризма) 2 и плоскопараллельная стеклянная пластина 14. Внутри поворотной части имеется гильза с микрообъективом 4 и объективом 3. Эта гильза соединена жестко с неподвижной частью прибора. В комплект прибора входят четыре визирных устройства 15, содержащие источник света 11, конденсоры 12 и точечную диафрагму 13. Визирное устройство создает тонкий пучок света. Устройство имеет также магнитное основание 16 и микровинт 10, с помощью которого пучок света может смещаться по вертикали.

Прибор с помощью магнитных опор 1 устанавливают на измеряемой поверхности. В трех наиболее удаленных точках, не лежащих на одной прямой, устанавливают визирные устройства 15 и регулировкой опор плоскомера добиваются изображения всех трех светящихся точек в центре перекрестий сетки 7. После этого четвертое визирное устройство устанавливают в различные точки измеряемой поверхности и определяют их отклонения от базовой плоскости по смещению изображения светящейся точки в поле зрения сетки 7. Для определения смещения микровинтом 9 поворачивают плоскопараллельную пластину, совмещая световую точку с центром перекрестия. Отсчет осуществляют по этому же микровинту.

Для оценки плоскостности и прямолинейности широко применяют средства контроля, реализующие гидростатический метод, основанный на свойстве свободно налитой жидкости образовывать горизонтальную поверхность, либо на принципе сообщающихся сосудов.

Метод свободно налитой жидкости заключается в том, что на проверяемую поверхность устанавливают открытый резервуар, наполненный жидкостью. Ее поверхность создает образцовую горизонтальную плоскость, с которой сравнивают измеряемую поверхность. Для этого в различные ее точки помещают измерительное устройство с наконечником в виде иглы и по контакту с поверхностью воды либо по отрыву наконечника от поверхности воды судят о величине отклонения проверяемой точки от образцовой плоскости.

Метод сообщающихся сосудов использован в гидростатических уровнях (рис. 72). Уровень включает в себя две измерительные головки 1 и 4, наполненные жид-

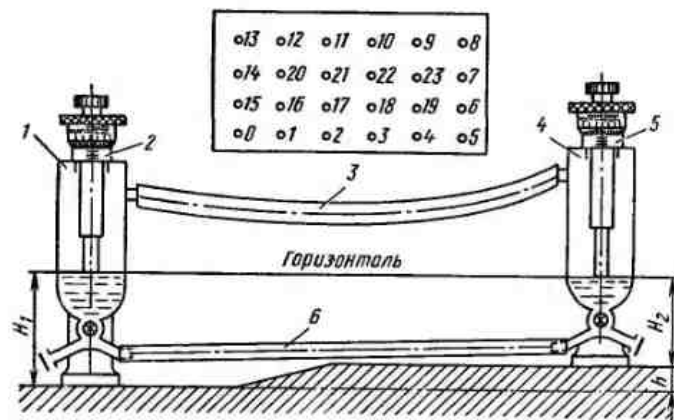


Рис. 72. Гидростатический уровень

костью (водой или ртутью) и соединенные друг с другом парой шлангов 3 и 6. Один служит для выравнивания давления воздуха в головках, а другой обеспечивает перетекание жидкости. Обе измерительные головки снабжены микрометрическими парами 2 и 5, являющимися, по сути, микрометрическими глубиномерами. При размещении измерительных головок на горизонтальной поверхности уровни в обоих сосудах будут одинаковы по высоте, пятки глубиномеров касаются поверхности, а на нониусах выставлены нулевые значения. Затем одну измерительную головку устанавливают неподвижно, а вторую начинают перемещать в точки с 1 по 23 по схеме. С помощью микровинта (по моменту касания пяткой жидкости) определяют разность уровней, на которых находятся исследуемые точки поверхности. По данным измерений оценивают отклонения поверхности от плоскостности.

Метод чрезвычайно удобен для контроля горизонтальности, разновысокости и отклонения формы поверхностей, отстоящих друг от друга или имеющих разрывы. Применяется метод для контроля поверхностей, имеющих протяженность 5–10 м.

Измерение отклонений от прямолинейности «шаговым методом» осуществляют с помощью рассмотренных выше уровней с ампулами. Шаговый метод заключается в определении отклонений в отдельных

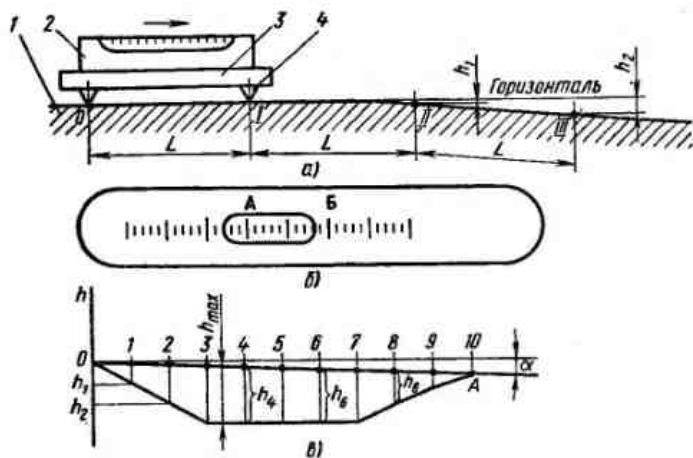


Рис. 73. Схема контроля прямолинейности уровнем

точка, расположенных друг от друга на одинаковом расстоянии  $L$ , называемом шагом измерений (рис. 73, а).

Брусковый уровень 2 устанавливают на специальной подставке 3 с опорами 4, расположенными друг от друга на расстоянии  $L$ . Опоры могут быть выполнены в виде призм или горизонтальных роликов. Шаг измерения не должен превышать 0,1 длины контролируемого участка.

Проверяемую поверхность 1 устанавливают приблизительно в горизонтальное положение и, пользуясь шкалой уровня (рис. 73, б), проводят измерения в точках I, II, III и т. д. Отсчет осуществляют по правой и левой кромке пузырька, принимая за результат измерения среднее арифметическое двух отсчетов. Затем по результатам строят график отклонения от прямолинейности (рис. 73, в). Точки  $O$  и  $A$  соединяют прямой и за отклонение профиля принимают значения  $h_i$ . Угол  $\alpha$  наклона линии  $OA$  определяет погрешность установки проверяемого изделия в горизонтальное положение.

Для измерения отклонения от плоскопараллельности и от плоскостности рабочих поверхностей концевых мер длины и измерительных поверхностей приборов используют интерференционный технический метод. Он основан на разделении пучка света с помощью воздушного клина, образованного контролируемой плоской поверхностью и поверхностью плоскопараллельной стеклянной

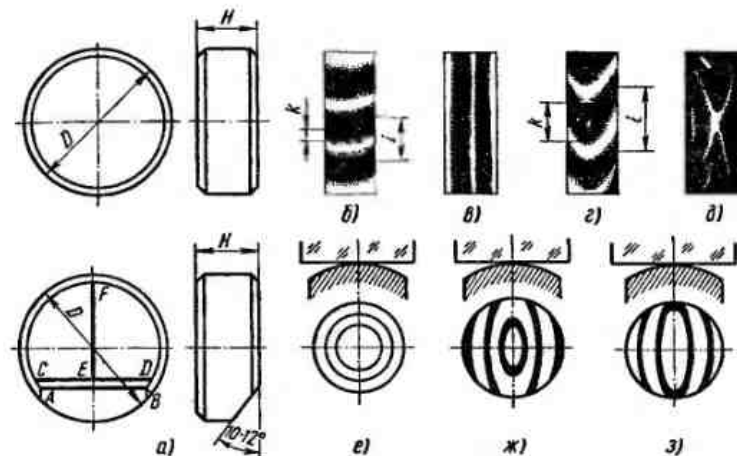


Рис. 74. Контроль плоскостности интерференционным методом

пластинки. С помощью интерференционного метода можно определять и срединные размеры концевых мер.

Измерения интерференционным методом осуществляют с помощью стеклянных плоскопараллельных пластин. В соответствии с ГОСТ 2923-75 пластины (рис. 74, а) разделяют на верхние и нижние. Нижние пластины используют для притирания к их поверхности концевых мер длины при измерениях методом сравнения с мерой, для оценки притираемости концевых мер и контроля плоскостности поверхностей концевых мер и измерительных поверхностей приборов. Верхние пластины имеют скос  $10-12^\circ$  и перекрестие в виде двух линий  $CD$  и  $EF$  и их применяют для измерений срединных размеров концевых мер техническим интерференционным методом. Нижние пластины изготовляют двух классов точности, верхние — одного класса точности. Предельные отклонения от плоскостности поверхностей пластин в зависимости от класса точности составляют 0,03 и 0,1 мкм.

При проверке отклонения от плоскостности используют нижние пластины. Для этого пластину накладывают на ребро концевой меры и слегка прижимают к проверяемой поверхности, чтобы между ними остался небольшой воздушный клин. Наблюдают за появлением интерференционной картины, по которой и определяют отклонение от плоскостности. В случае выпуклости проверяемой поверхности интерференционные полосы будут

искривлены от ребра (рис. 74, б, з), а в случае вогнутости — к ребру клина. При наложении пластины на деталь прямоугольной формы возникает интерференционные полосы (рис. 74, б, в, г, д), а при наложении на деталь круглой формы — интерференционные кольца (рис. 74, е, ж, з). Отклонение от плоскостности оценивают отношением прогиба  $k$  к ширине полосы. Ширина полосы соответствует изменению толщины воздушного клина на  $\lambda/2$ , где  $\lambda$  — длина волны света. Половина длины волны белого света соответствует 0,3 мкм.

На рис. 74, б показана интерференционная картина при наложении пластины на короткую грань концевой меры, а на рис. 74, в — на длинную грань. Отклонение от плоскостности концевой меры (рис. 74, б) составляет  $(k/i)(\lambda/2) = (1/3)0,3 = 0,09$  мкм, пластины (рис. 76, з):  $(k/i)(\lambda/2) = (1/2)0,3 = 0,15$  мкм.

При измерении небольших плоскостей торцов цилиндров (например, пятки микрометра) отклонение от плоскостности оценивают по числу замкнутых интерференционных колец. Крайнее кольцо, лежащее до 0,5 мм от края (для микрометров), не учитывают. В примере на рис. 74, е, ж, з отклонение от плоскостности составляет два интерференционных кольца, т. е.  $2 \times 0,3 = 0,6$  мкм. Характер формы колец отражает погрешность формы поверхности. Так, концентрические интерференционные кольца (рис. 74, е) говорят о сферической форме пятки; вытянутые овальные (рис. 74, ж) — о различных радиусах кривизны поверхности в разных сечениях, проходящих через точку контакта. Если интерференционные кольца переходят в прямые линии (рис. 74, з), то поверхность имеет вид цилиндра.

## 5.2. Контроль отклонений формы цилиндрических деталей

В соответствии с ГОСТ 24642—81 комплексным показателем отклонения формы цилиндрических деталей является *отклонение от цилиндричности* — наибольшее расстояние  $\Delta$  от точек реальной поверхности 1 до прилегающего цилиндра 2 в пределах нормируемого участка (рис. 75, а). Однако в настоящее время не существуют приборы, способные измерить отклонение от цилиндричности. Поэтому в технической документации в процессе производства и контроля пользуются другими показате-

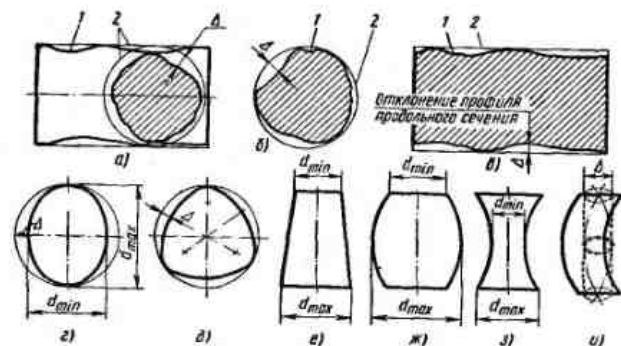


Рис. 75. Отклонение формы цилиндрических деталей

лями: отклонением от круглости и отклонением профиля продольного сечения цилиндрической поверхности.

За *отклонение от круглости* принимают наибольшее расстояние  $\Delta$  от точек реального профиля 1 до прилегающей окружности 2 (рис. 75, б). Частными видами отклонений от круглости являются *овальность* (рис. 75, з) и *огранка* (рис. 75, д). Огранка подразделяется по числу граней (три, четыре и т. д.), т. е. бывает с четным и нечетным числом граней.

За *отклонение от профиля продольного сечения цилиндрической поверхности* принимают наибольшее расстояние  $\Delta$  от точек, образующих реальную поверхность 1, лежащих в плоскости, проходящей через ее ось, до соответствующей стороны прилегающего профиля в пределах нормируемого участка (рис. 75, в). Частными видами отклонения профиля продольного сечения являются *конусообразность* (рис. 75, е), *бочкообразность* (рис. 75, ж), *седлообразность* (рис. 75, з) и *отклонение от прямолинейности оси в пространстве* (рис. 75, и).

В стандарте определены термины: *прилегающая окружность*, *прилегающий цилиндр* и *прилегающий профиль продольного сечения*.

*Прилегающая окружность* — окружность минимального диаметра, описанная вокруг реального профиля наружной поверхности вращения (для вала), или окружность максимального диаметра, вписанная в реальный профиль внутренней поверхности вращения (для отверстия).

*Прилегающий цилиндр* — цилиндр минимального диаметра, описанный вокруг реальной наружной поверх-



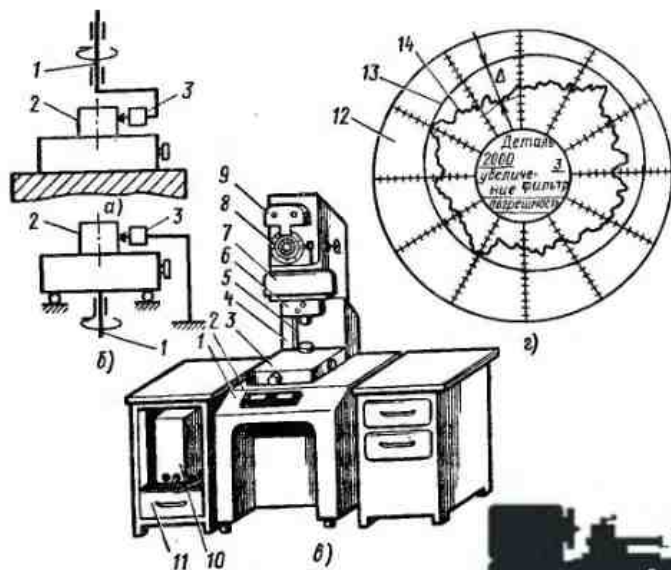


Рис. 76. Кругломер

ности (для вала) или цилиндр максимального диаметра, вписанный в реальную внутреннюю поверхность.

*Прилегающий профиль продольного сечения* — две параллельные прямые, соприкасающиеся с реальным профилем (двумя реальными образующими, лежащими в продольном сечении) и расположенные вне материала детали так, чтобы наибольшее отклонение точек образующих профиля от соответствующей стороны прилегающего профиля имело минимальное значение  $\Delta$ .

Измерение отклонений от круглости осуществляют на специальных приборах, называемых кругломерами. Принцип их работы заключается в воспроизведении прибором идеальной окружности и ее сравнении с реальным профилем измеряемого изделия. По способу воспроизведения идеальной окружности кругломеры делятся на две схемы: с вращающимся измерительным наконечником 3 — тип КН (рис. 76, а) и с вращающейся проверяемой деталью 2 — тип КД (рис. 76, б).

В соответствии с ГОСТ 17353—80 кругломеры могут иметь в качестве измерительных систем индуктивные или пневматические преобразователи.

Наибольшее распространение получили кругломеры типа КН с индуктивным измерительным преобразователем. Преимущества этой конструкции в том, что наиболее ответственный узел конструкции — прецизионный шпиндель 1 (рис. 76, а) не воспринимает вес детали. Однако кругломеры типа КН обладают и существенным недостатком: вертикальные габариты измеряемой детали ограничены длиной шупа (измерительного наконечника).

Кругломер мод. 218 (рис. 76, в) имеет станину 1, на которой установлена колонна 4. На ней размещены панель управления 2 и предметный стол 3 с микрометрическими винтами для перемещения стола в двух взаимно перпендикулярных направлениях. На колонне размещена неподвижная шпиндельная коробка с прецизионным шпинделем 7, записывающим устройством 8 и коробкой скоростей 9. На торце прецизионного шпинделя установлен индуктивный преобразователь 6 со шупом 5. Электрический блок 10 размещен в тумбочке 11.

Измерения на кругломере осуществляют в такой последовательности. Деталь устанавливают на столе 3 и с помощью двух взаимно перпендикулярных микровинтов, расположенных на гранях стола, центрируют ее относительно оси вращения шпинделя. Шпиндель поворачивают вначале вручную, а потом от привода. Правильность центрирования наблюдают по отклонению стрелки прибора, установленного на панели управления 2. После обеспечения необходимого центрирования на записывающее устройство устанавливают бумажную диаграмму 12 круглой формы (рис. 76, з) с нанесенными лучами и штрихами на них. Поверхность диаграммы покрыта специальным составом. На панели управления устанавливают требуемый масштаб увеличения и включают нужный номер электрического фильтра. Электрический фильтр регулирует число неровностей, регистрируемых за один оборот шпинделя. После установки электрофильтра устанавливают частоту вращения 1,5 об/мин и включают запись. Прецизионный шпиндель 7 начинает поворачиваться. Вместе с ним вращается индуктивный преобразователь 6 со шупом 5, и игла шупа скользит по поверхности детали. Колебания шупа, вызванные отклонениями профиля, преобразуются индуктивным датчиком в перемещение пера на записывающем устройстве. Электротермическим способом на диаграмме записывается круглограмма поверхности измеряемой детали. Диаграмма поворачивается синхронно с поворотом



шпинделя. Поэтому круглограмма записывается за один оборот.

На круглограмме 12 (рис. 76, з) нанесено двенадцать радиальных линий со штрихами. Интервал между штрихами составляет 2 мм. Цена деления зависит от увеличения, которое может составить 125–10 000<sup>х</sup>.

При увеличении 2000<sup>х</sup> цена деления составляет 0,001 мм. В центре круглограммы делаются записи значений увеличения, номер фильтра и погрешности. Для определения отклонения от круглости (согласно ГОСТ 24642–81) на круглограмму наносится прилегающая окружность 13, касающаяся выступающих точек записанного профиля 14. Отклонению от круглости будет соответствовать наибольшее расстояние от точки реального профиля 14 до прилегающей окружности. В нашем случае  $\Delta = 0,0045$  мкм.

Операторы, работающие на кругломере, для быстрого определения отклонения от круглости пользуются специальным прозрачным шаблоном, на котором нанесены концентрические окружности с шагом, равным 2 мм. Накладывая шаблон на круглограмму, быстро подбирают требуемую прилегающую окружность и считывают значение отклонения.

На кругломерах различных моделей можно измерять наружные и внутренние поверхности от 3 до 300 мм, предельная длина измеряемой детали может составлять 1600 мм. Погрешность кругломеров не превышает 0,05–0,2 мкм.

Масштаб увеличения может составлять 125–20 000<sup>х</sup>. Чаще пользуются увеличением 2000–20 000<sup>х</sup>. Игла шупа имеет радиус сферы 0,5–1,5 мм и не воспроизводит неровности, характерные для шероховатости поверхности.

Кругломеры не являются цеховыми приборами и находятся, как правило, в заводских измерительных лабораториях. В цехах, используя несложные приспособления, и имеющиеся измерительные головки, можно с достаточной точностью оценить форму цилиндрических и конических деталей. На рис. 77 приведены типовые схемы измерения отклонений от круглости деталей в цеховых условиях.

Деталь 1 (рис. 77, а) зажимают в самоцентрирующем патроне 4 делительного стола или делительной головки 3. Пользуясь стойкой (штативом), подводят к измеряемой детали наконечник измерительной головки 2. Цену деления измерительной головки выбирают, исходя из

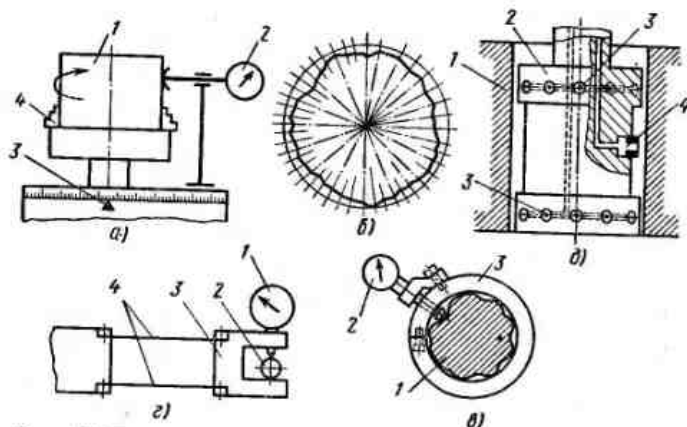


Рис. 77. Типовые схемы контроля отклонения от круглости

требуемой точности измерения, но она должна быть соизмерена с максимальным биением шпинделя стола и погрешностью базирования детали в патроне. Поворачивая патрон 4 с зажатой в нем деталью 1 на определенный угол, фиксируют отклонения измерительной головки. На бумажной диаграмме (рис. 77, б) по лучам, количество которых соответствует количеству измеряемых точек по окружности изделия, в масштабе строят ломаными линиями круглограмму. Эта схема обладает существенными погрешностями по сравнению с измерениями на кругломере, но позволяет ориентировочно определить как значение, так и характер отклонений от круглости. Подобные измерения обычно проводят при отладке технологического оборудования, для выявления возможных дефектов станка и уточнения узлов, нуждающихся в регулировках. Для этих же целей можно пользоваться круглограммами, записанными на кругломерах.

Приближенно отклонение от круглости может быть определено с помощью регулируемого кольца 3 (рис. 77, в) с измерительной головкой 2. Диаметр кольца соответствует диаметру прилегающей окружности. Кольцо надевают на деталь 1, поворачивают ее и, следя за показаниями головки, получают представление об отклонениях от круглости за один оборот. За отклонение от круглости принимают разность наибольшего и наименьшего показаний головки.

Приближенная оценка круглости детали может быть осуществлена двухконтактными измерениями (рис. 77, з).

Скоба 3 укреплена на плоских пружинах 4. В скобе закреплена головка 1, измерительный стержень которой контактирует с поверхностью измеряемой детали 2. Поворачивая деталь, наблюдают за показаниями измерительной головки и оценивают отклонение от круглости по крайним положениям стрелки. По этой же схеме осуществляют контроль отклонения от круглости. Для этого измерительную головку 1 заменяют электроконтактным преобразователем. Контакты преобразователя настроены таким образом, что превышение допустимого отклонения от круглости вызывает их замыкание. Используя световое устройство, достаточно быстро можно провести контроль круглости у партии деталей.

Более точную оценку отклонений от круглости обеспечивает пневматическая пробка (рис. 77, д). Она имеет два центрирующих пояса 2, в середине которых по окружности расположены центрирующие сопла 3. Истекающий из них сжатый воздух создает «воздушную подушку», которая центрирует пробку в отверстиях измеряемой детали 1. В средней части пробки расположено измерительное сопло 4, которое при повороте пробки, как наконечник кругломера, «ощупывает» поверхность детали. Разность наибольшего и наименьшего значений зазора между торцом сопла 4 и деталью соответствует значению некруглости. С помощью специальной пневматической аппаратуры информация преобразуется в традиционный вид, например, в отсчет по шкальному устройству.

Рассмотренная схема обладает такими преимуществами, как простота и компактность конструкции измерительного средства, высокая производительность процесса измерения, необязательность предварительного центрирования детали или инструмента, высокая точность и бесконтактность измерения (цена деления отсчетного устройства может достигать значения 0,0001 мм), высокая жесткость, обеспечивающая стабильное положение оси пробки в пространстве. Однако схема имеет и недостатки, главным из которых является ограниченность диапазона измерений: пробка может фиксировать отклонения не более 0,2 мм. Вторым недостатком можно считать необходимость вспомогательной аппаратуры очистки и стабилизации давления сжатого воздуха.

Довольно часто в технической документации вместо отклонений от круглости задают допустимую овальность и огранку.

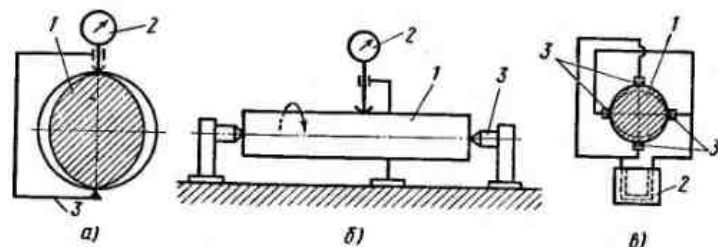


Рис. 78. Типовые схемы контроля овальности

Для определения овальности обычно используют схемы двухконтактных измерений (рис. 78, а). Чтобы выявить наибольшую овальность, необходимо провести измерение не менее чем в шести парах точек поперечного сечения. Для этого деталь 1 помещают в скобу 3, оснащенную измерительной головкой 2, и поворачивают на полный оборот. В точке с минимальным отклонением устанавливают нуль по шкале прибора и поворачивают деталь не более чем на  $1/6$  оборота. Значение овальности определяют как полуразность наибольшего и наименьшего диаметров.

Овальность детали 1, базированной в центрах 3 (рис. 78, б), оценивают путем измерения отклонений не менее чем в шести точках по окружности сечения прибором 2. За значение овальности принимают разность наибольшего и наименьшего взаимно перпендикулярных радиусов.

Очень удобна и производительна схема, показанная на рис. 78, в. Она содержит две пары сопл 3, расположенных по взаимно перпендикулярным направлениям. Такая компоновка позволяет проводить измерения одновременно двух диаметров детали 1. Используемый в качестве отсчетного устройства дифференциальный прибор 2 на своей шкале сразу показывает разность диаметров. За овальность принимают максимальное показание прибора.

Схема измерения огранки зависит в первую очередь от числа граней, вернее, от четности или нечетности числа граней. Огранку с четным числом граней измеряют по тем же схемам, что и овальность, и легко выявляют при повороте детали. Измерительные головки для этих измерений выбирают, исходя из допустимого значения огранки. Измерение огранки с нечетным количеством граней осуществляют в соответствии со схемами, показанными на рис. 79, а, б.

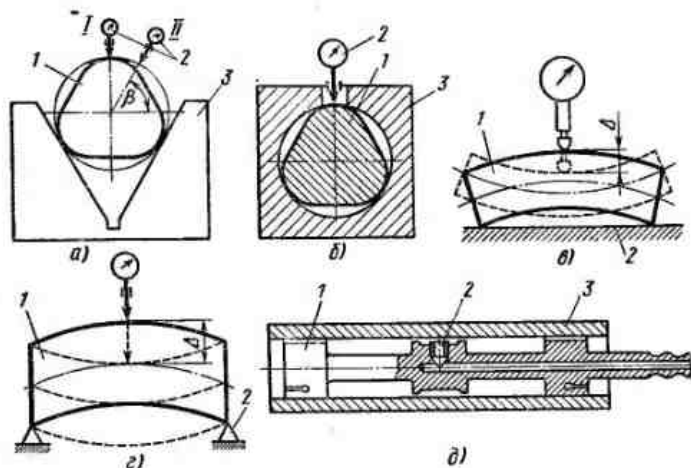


Рис. 79. Типовые схемы контроля огранки и отклонения оси от прямолинейности в пространстве

Огранку можно измерить, базируя деталь *1* на призму *3* (рис. 79, *a*). Измерительная головка *2* занимает положение *I*. При такой схеме измерения числовое значение огранки определяют, как разность максимального и минимального отклонений указателя измерительной головки *2* за один оборот детали. На достоверность результата в этом случае будут оказывать влияние число граней и угол призмы. Для уменьшения этого влияния необходимо изменять угол призмы в зависимости от числа граней детали. Это в значительной мере затрудняет измерение огранки по данной схеме. Подбор соответствующего угла призмы осуществляют, как правило, опытным путем.

На подшипниковых заводах финишные операции обработки колец подшипников осуществляют на бесцентрово-шлифовальных станках, являющихся источником возникновения огранки деталей. На этих заводах контроль огранки осуществляют в призмах с углом  $120^\circ$ , причем измерительную головку смещают относительно вертикального положения на угол  $\beta = 30$  или  $60^\circ$  (положение *II*). Тогда огранка, имеющая 3, 5, 7 и 9 граней, характеризуется половиной показаний головки.

Огранку детали *1* можно измерить с использованием отверстия диаметром, равным наибольшему предельно-

му размеру детали. Для этого в мелкосерийном производстве можно использовать регулируемые кольца, а в крупносерийном и массовом — приспособление *3* с отверстием постоянного диаметра. Огранку оценивают по наибольшей разности показаний измерительной головки *2*. Механический прибор может быть заменен пневматическим или индуктивным, а при контроле огранки — электроконтактным преобразователем.

Отклонение от прямолинейности оси в пространстве наиболее часто проверяют «прокатыванием» детали *1* на плоскости *2* поверочной плиты. При этом измеряют размер детали приблизительно в ее среднем сечении по длине (рис. 79, *e*). Можно поворачивать деталь *1* и на жевых опорах *2* (рис. 79, *z*).

Измерение отклонений от прямолинейности оси отверстия в пространстве можно осуществить с помощью пневматической скалки, изображенной на рис. 79, *d*. Она имеет два цапговых центрирующих пояска *1* и измерительное сопло *2* в средней части. Поворачивая скалку в отверстии контролируемой детали *3*, находят по шкале отсчетного устройства наибольшее и наименьшее показания, по которым и судят об отклонении оси в этом сечении.

### 5.3. Контроль отклонений расположения поверхностей и осей

*Отклонением расположения* называется отклонение реального (действительного) расположения рассматриваемого элемента (поверхности, оси или плоскости симметрии) от его номинального расположения. Под *номинальным* понимают расположение, определяемое номинальными линейными и угловыми размерами (координирующими размерами) между рассматриваемыми элементом и базами. На чертежах или в технической документации координирующие размеры, определяющие номинальное расположение плоских поверхностей, задаются непосредственно от них. Координирующие размеры для определения номинального положения цилиндрических, конических и других поверхностей вращения, а также для резьбы, призматических пазов и выступов, симметричных групп поверхностей задают обычно от их осей или плоскостей симметрии. В некоторых случаях номинальное расположение задается в виде условных обозначений без указания номинального размера между

элементами (например, требования перпендикулярности, параллельности, соосности, симметричности и др.).

Для оценки точности положения поверхностей, как правило, задается база, которой может являться поверхность (плоскость), ее образующая или точка (вершина конуса, центр сферы), ось (цилиндрическая или коническая поверхность, резьба).

Допуски формы и расположение поверхностей (в соответствии с ГОСТ 2.308—79) при необходимости указывают на чертеже двумя способами: условными обозначениями или текстом в технических требованиях. Предпочтительным является условное обозначение. За *отклонение от параллельности плоскостей* принимают разность  $\Delta$  наибольшего и наименьшего расстояния между прилегающими плоскостями в пределах нормируемого участка.

Измерение отклонения от параллельности плоскостей на практике осуществляют следующим образом. Деталь одной поверхностью (базовой) устанавливают на поверочную плиту. С помощью измерительной головки, закрепленной на стойке, определяют отклонение (рис. 80, а). В случае невозможности установки изделия на базовую поверхность (например, измерение параллельности наружной поверхности изделия и дна призматического паза) пользуются другим методом. Деталь с помощью домкратов и уровня выставляют таким образом, чтобы одна из поверхностей (в дальнейшем она станет базой) заняла горизонтальное положение. После этого стойку с измерительной головкой устанавливают на го-

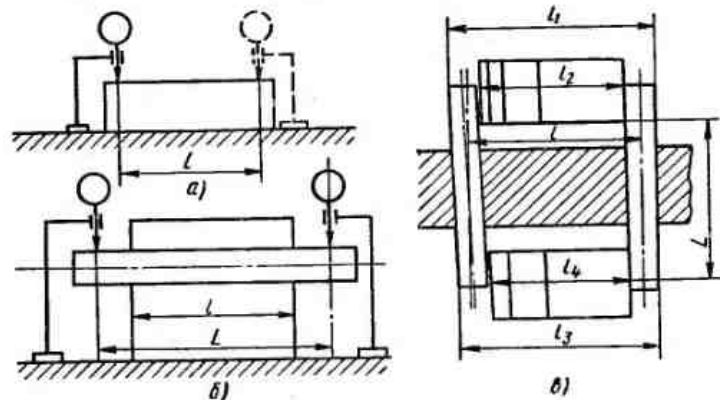


Рис. 80. Типовые схемы контроля отклонения от параллельности

ризонгальную базовую поверхность и, перемещая в пределах нормируемой длины, определяют отклонение от параллельности. Иногда возникает необходимость проверить параллельность внутренних плоскостей (например, деталь в виде короба). В этом случае может быть использован стандартный индикаторный нутромер.

При измерениях по данной схеме в результаты измерений входит погрешность, вызываемая отклонением измеряемых поверхностей от плоскостности.

Измерения отклонений от параллельности плоскости и оси отверстия или двух осей можно проводить с помощью специальных контрольных оправок. На рис. 80, б показана схема измерения отклонения от параллельности установочной поверхности детали и оси отверстия. Деталь устанавливают базовой поверхностью на поверочную плиту. В отверстие детали вводят оправку и с помощью измерительной головки со стойкой определяют отклонение от параллельности, как разность двух отсчетов. При такой схеме измерения необходимо учитывать, что в технической документации допустимое отклонение от параллельности задается для нормированной длины. Так, если на чертеже были заданы отклонения от параллельности на длине детали  $l$ , а измерения провели на другой длине  $L$ , то необходимо привести измеренное на длине  $L$  отклонение от параллельности  $\Delta_L$  к нормированной длине измерений  $l$ , т. е.  $\Delta = \Delta_L (l/L)$ , где  $\Delta$  — отклонение от параллельности на длине  $l$ .

При измерении отклонения от параллельности осей двух отверстий используют две оправки. Измерения могут быть проведены двумя способами. Первый способ идентичен предыдущему, но деталь базируют не по плоскости, а по отверстию. Для этого в одно из отверстий вставляют оправку и выступающие концы ее опирают на две призмы одинаковой высоты, установленные на поверочной плите. Деталь оказывается подвешенной на оправке. Во второе отверстие вставляют вторую оправку и на ее концах проводят измерения. Таким образом можно измерять легкие детали, которые в подвешенном состоянии занимают устойчивое положение.

По второй схеме (рис. 80, в) можно оценить отклонение от параллельности, пользуясь блоками концевых мер. Об отклонении судят по разности их номинальных значений  $l_2$  и  $l_4$ . Для измерения отклонений можно пользоваться одним блоком концевых мер и набором щупов. Можно также (вместо концевых мер) воспользоваться со-

ответствующим измерительным инструментом и оценить отклонение от параллельности, как разность размеров  $l_1$  и  $l_2$ .

Для измерения отклонений от параллельности плоскостей и осей отверстий или валов могут быть использованы уровни, различные оптические приборы и специальные контрольные приспособления.

За отклонение от перпендикулярности принимают отклонение угла между плоскостями, осями или осью и плоскостью от прямого угла  $90^\circ$ , выраженное в линейных единицах  $\Delta$  на длине нормируемого участка от прилегающих поверхностей или линий.

Отклонение от перпендикулярности боковой стороны изделия базовому торцу может быть оценено с помощью угольника. Он позволит преобразовать измеряемый параметр в отклонение от параллельности (рис. 81, а) Стойка с головкой позволяет оценить параллельность другой стороны угольника с поверхностью поверочной плиты. В случае, если отклонение от перпендикулярности задавалось на длине  $l$ , а измерения проводили на длине  $L$ , то измеренное значение отклонения нужно привести к требуемой длине:  $\Delta = \Delta_n(l/L)$ .

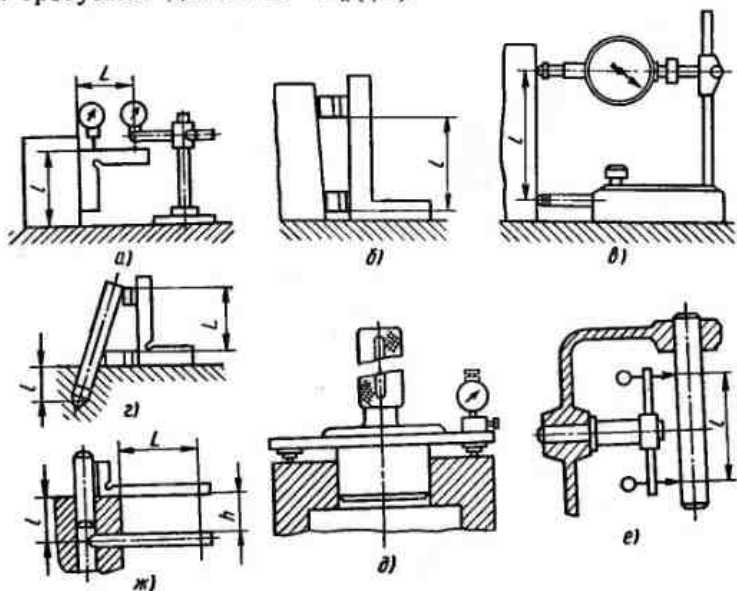


Рис. 81. Типовые схемы контроля отклонения от перпендикулярности

Отклонение от перпендикулярности можно измерить с помощью угольника и блоков концевых мер. Прижимая угольник одной стороной к плите, между другой его стороной и поверхностью изделия обеспечивают контакт с помощью блоков мер (рис. 81, б). Разность размеров блоков есть отклонение от перпендикулярности. По этой же схеме можно измерить отклонение от перпендикулярности, используя блок одного размера и набор щупов или пользуясь только набором щупов; можно оценивать отклонение от перпендикулярности методом «на просвет».

Довольно часто измеряют отклонение от перпендикулярности с помощью регулируемого упора (рис. 81, в). Перед измерениями по угольнику настраивают на нуль измерительную головку. С этой целью на плиту ставят угольник, касаются упором его рабочей стороны и добиваются нулевого показания головки. В процессе измерения детали со шкалы прибора снимают величину отклонения  $\Delta$ .

В ряде случаев приходится измерять отклонение от перпендикулярности оси отверстия и плоскости. На рис. 81, г показано, как решить эту задачу с помощью оправки, угольника и набора концевых мер. Методика измерений аналогична схеме рис. 81, б.

Очень простое и достаточно распространенное измерительное приспособление (рис. 81, д) позволяет измерять отклонение от перпендикулярности плоскостей или торцовых поверхностей деталей относительно осей отверстий или валов. Приспособление центрируют в отверстии детали, индикатор устанавливают на нуль. Затем его поворачивают вместе с приспособлением вокруг оси отверстия на  $360^\circ$ . По размаху колебаний стрелки судят об отклонении от перпендикулярности. При данной схеме измерения зазор в соединении центрирующей оправки приспособления с отверстием будет вносить погрешность из-за возможного перекоса оправки. Для устранения этой погрешности рекомендуют в качестве беззазорного центрирующего элемента приспособления применять цанги.

При контроле отклонения от перпендикулярности оси вала к какой-либо плоскости приспособление выполняют в виде кольца. На кольцо параллельно его оси крепят индикатор. Кольцо надевают на вал до упора и поворачивают на  $360^\circ$ .

Отклонение от перпендикулярности осей двух отверстий можно осуществить с помощью оправки и спе-

циального приспособления мостикового типа (рис. 81, *е*). Приспособление с двумя индикаторами и оправкой устанавливают в одно из отверстий. Вторую оправку вставляют в другое отверстие. Индикаторы, размещаемые на нормируемом расстоянии друг от друга, вводят в контакт с поверхностью второй оправки и устанавливают на нуль. Поворачивают оправку с мостиком на  $180^\circ$ . Разность показаний двух индикаторов соответствует отклонению от перпендикулярности. Схема может быть упрощена. Один из индикаторов можно заменить регулируемым упором. Тогда измерения проводят по схеме (рис. 81, *в*), но с поворотом оправки на  $180^\circ$ .

Перпендикулярность осей двух валов может быть проверена с помощью угольника. Одной рабочей стороной его плотно прижимают к образующей вала (рис. 81, *ж*). После этого измеряют отклонения размера  $h$  на длине  $L$  и путем пересчета (в случае  $l \neq L$ ) определяют отклонение от перпендикулярности осей валов. Необходимо помнить, что оси валов могут быть неперпендикулярны к поверхностям детали, поэтому угольник необходимо базировать только по валу, а не по плоскости.

Радиальное и торцовое биения относятся к погрешностям расположения поверхностей.

За *радиальное биение* принимают разность  $\Delta$  наибольшего и наименьшего расстояний от точек реальной поверхности до базовой оси вращения в сечении, перпендикулярном этой оси.

Радиальное биение поверхности может задаваться на чертежах не только относительно оси вращения детали, но и относительно других поверхностей. В этом случае последние используют как базовые и деталь устанавливают не в центрах, а в призмы на эти поверхности (рис. 82, *а*). За биение измеряемой поверхности относительно установочных поверхностей принимают разность наибольшего и наименьшего показаний измерительного прибора за один оборот детали.

Радиальное биение измеряемой поверхности относительно другой может быть оценено при установке детали в центрах. Используют приспособление типа мостик, изображенное на рис. 83, *б*. Приспособление подводят к измеряемой детали до контакта упора с базовой поверхностью. Измерительный наконечник головки касается измеряемой поверхности. За радиальное биение измеряемой поверхности относительно базовой принимают разность отклонений за один оборот детали.

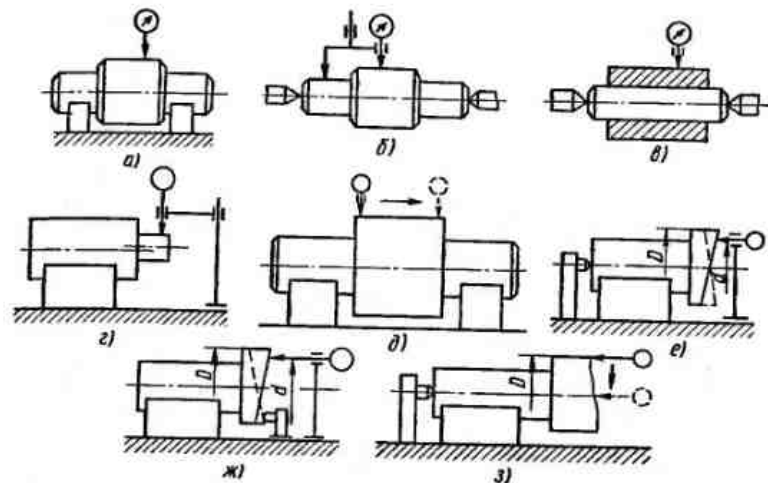


Рис. 82. Типовые схемы контроля торцового и радиального биений

В случае измерения радиального биения поверхностей деталей типа втулок, дисков или фланцев, имеющих центральное отверстие, их базируют на цилиндрические, конические или разжимные самоцентрирующие оправки (рис. 82, *в*). Оправку устанавливают в центрах и проводят измерения.

Схема на рис. 82, *г* в принципе повторяет схему на рис. 82, *а* с той лишь разницей, что деталь базируют по одной поверхности, относительно которой и определяют биение измеряемой поверхности.

Все рассмотренные схемы позволяли измерить радиальное биение поверхности в одном сечении детали. По схеме, изображенной на рис. 82, *д*, можно измерить так называемое «полное биение» измеряемой поверхности относительно установочных (базовых) поверхностей ступенчатого валика. Для этого не только вращают деталь, но еще перемещают измерительный наконечник вдоль образующей контролируемой поверхности. За полное радиальное биение принимают разность наибольшего и наименьшего показаний прибора во всех точках проверяемой поверхности.

За *торцовое биение* принимается разность  $\Delta$  наибольшего и наименьшего расстояний от точек торцовой поверхности до плоскости, перпендикулярной оси вращения.

Изображенные на рис. 82, *е, ж* схемы измерения торцового биения цилиндрической детали, установленной базовой поверхностью в призму, отличаются друг от друга только положением упора. В первом случае он расположен на оси детали, а во втором — на периферии проверяемой торцовой поверхности детали. Торцовое биение определяют как разность предельных показаний измерительной головки.

При измерении торцового биения необходимо учитывать, что на чертежах оно задается, как правило, в габаритах детали для размера  $D$  — наибольшего диаметра проверяемой детали, а измеряют биение на диаметре  $d$ . Следовательно, получаемый результат измерений необходимо умножить на величину  $D/d$ .

Схема на рис. 82, *з* поясняет измерение полного торцового биения. При вращении детали головку перемещают в радиальном направлении, перпендикулярно базовой оси. За полное торцовое биение принимают разность между наибольшим и наименьшим показаниями прибора на всем перемещении его в радиальном направлении.

На рис. 83 приведено контрольно-измерительное приспособление для измерения торцового и радиального биений поверхностей детали 5. На коническую оправку 4, обеспечивающую точное центрирование, устанавливается

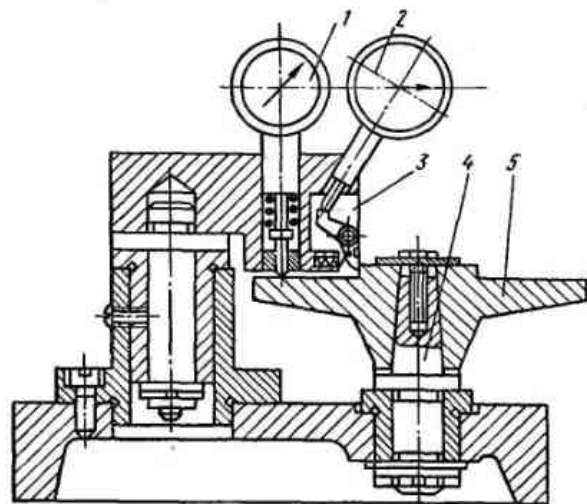


Рис. 83. Приспособления для измерения торцового и радиального биений

измеряемая деталь. В процессе измерения оправку с закрепленной на ней деталью поворачивают на один оборот. Измерительная головка 2 фиксирует радиальное биение, головка 1 — торцовое биение.

Для удобства установки и снятия детали с измерительной позиции кронштейн 3 может вместе с головками поворачиваться вокруг своей оси.

За отклонение от соосности относительно оси базовой поверхности принимается наибольшее расстояние  $\Delta$  между осью рассматриваемой поверхности вращения и осью базовой поверхности на длине нормируемого участка, определяемое измерением радиального биения проверяемой поверхности в заданном сечении и в крайних сечениях при вращении детали вокруг оси базовой поверхности.

На рис. 84, *а, б* показаны примеры измерения отклонения от соосности. Цифрами *II* обозначены заданные сечения, цифрой *I* — крайние. Перемещая в пределах этих сечений измерительные головки, одновременно вращают деталь и за отклонение от соосности принимают радиальное биение одной поверхности относительно другой. В схеме (рис. 84, *а*) используются два прибора с от-

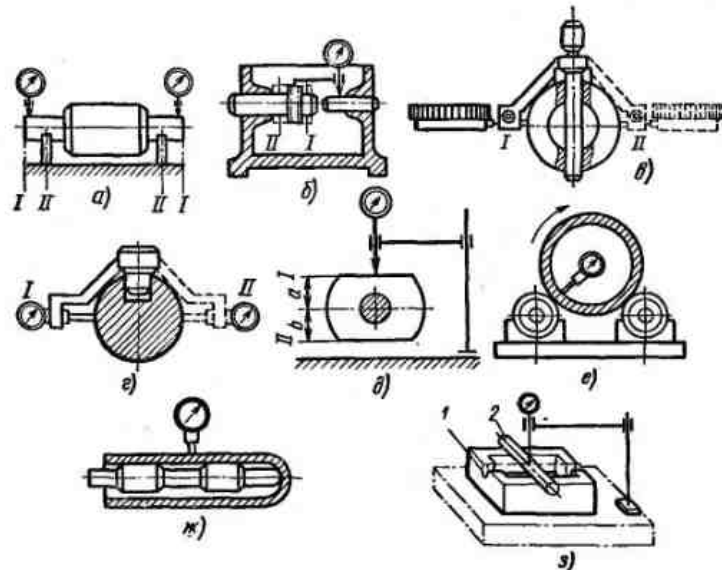


Рис. 84. Типовые схемы контроля соосности, симметричности и разностенности



счетными устройствами, что затрудняет процесс измерения. Для упрощения схемы рекомендуется использовать схему мостика с жестким упором (рис. 82, б). Проверку соосности двух отверстий, расточенных в корпусе, осуществляют с помощью двух оправок и кольца с измерительной головкой. Кольцо перемещают по оправке в пределах сечений I—II и вращают.

В процессе сборочных и ремонтных работ иногда соосность контролируют с помощью двух оправок и переходной втулки. Втулка с оправками имеет соединение по скользящей посадке. Оправка вставляется в одно из отверстий и на нее надевается переходная втулка. Затем в другое отверстие вставляют другую оправку, концы их сводят и втулку пытаются переместить с одной оправки на другую через стык. По тому, как втулка преодолевает место стыка (свободно, с усилием, со стуком, не переходит), судят о соосности. Этот способ требует соответствующих навыков. Его используют для обеспечения соосности отдельных узлов станка при сборке их на станине.

Отклонением от симметричности относительно базового элемента называется наибольшее расстояние  $\Delta$  между плоскостью симметрии (осью) рассматриваемого элемента (или элементов) и плоскостью симметрии базового элемента в пределах нормируемого участка.

Контроль отклонения от симметрии осуществляют универсальными измерительными средствами. На рис. 84 показаны варианты измерения отклонения от симметрии сквозного отверстия (рис. 84, в), шпоночного паза (рис. 84, г) и поверхностей лысок относительно оси изделия (рис. 84, д). В первых двух случаях используют специальные приспособления, в последнем — стойку.

За отклонение от симметрии во всех приведенных случаях берется полуразность показаний прибора в I и II положениях.

Разностенность измеряют с помощью индикаторных толщиномеров, специальных приспособлений с использованием рычажно-механических головок и других приборов. На рис. 84, е, ж контроль разностенности осуществляют с помощью измерительных головок. Гильзу устанавливают на опорные ролики, внутрь ее вводят головку, закрепленную в державке. Измерительный накопчик подводят к контролируемой поверхности и поворачивают гильзу. За разностенность принимают разность наибольшего и наименьшего показаний прибора за один

оборот гильзы. На рис. 84, ж измерение разностенности осуществляют поворотом изделия на оправке.

За отклонение от пересечения осей принимается наименьшее расстояние  $\Delta$  между осями, номинально пересекающимися.

Этот параметр измеряют с помощью контрольной оправки и индикатора на стойке (рис. 84, з). Контрольную оправку поочередно кладут в I и 2 положения и с помощью индикатора со стойкой определяют высоту верхней образующей валика над точкой пересечения осей в каждом положении. Разность показаний прибора дает определяемое отклонение.

В процессе монтажно-сборочных работ довольно часто приходится измерять действительные расстояния между осями отверстий, определять их расстояния относительно базовых плоскостей.

На рис. 85 показана схема, позволяющая с высокой точностью определить расстояние  $l$  между осями отверстий. В отверстия вставляют пробки, состоящие из двух встречных клиньев. Смещением клиньев навстречу друг другу выбирают зазор между поверхностями клиньев и отверстия. Затем с помощью измерительных средств, выбранных в зависимости от требуемой точности измерения и габаритов изделия, измеряют размер  $l_1$  или  $l_2$ . Зная диаметры отверстий, находят требуемое расстояние  $l$ .

Вместо клиновых пробок можно использовать другие устройства, обеспечивающие беззазорное соединение с отверстиями.

Расстояние между осями соседних отверстий может быть измерено бесконтактным методом на микроскопе с применением головки двойного изображения. В этом случае сначала измеряют координаты центров отверстий в прямоугольной системе координат, затем пересчитывают координаты и находят расстояние между осями.

При невысоких требованиях к точности измерения расстояние между ося-

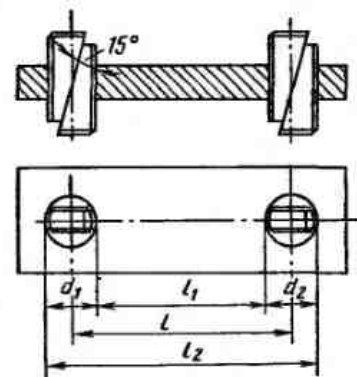


Рис. 85. Схема измерения расстояния между осями

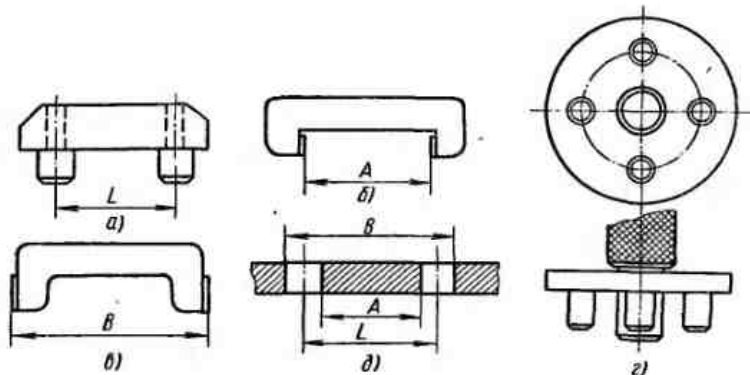


Рис. 86. Калибры для контроля расстояний между осями отверстий

ми отверстий может быть измерено с помощью универсальных измерительных средств непосредственным измерением диаметров отверстий и размеров  $l_1$  или  $l_2$ .

Для контроля расстояния  $L$  между осями отверстий широко применяют калибры. По конструкции они могут быть изготовлены в виде скоб (рис. 86, б, в) или штифтовыми (рис. 86, а, г).

С помощью калибров-скоб можно осуществлять контроль размеров  $A$  и  $B$  (рис. 86, д). В комплект входят две скобы, являющиеся проходными для наибольшего и наименьшего предельных размеров  $A$  или  $B$ .

Недостатком калибров-скоб является то, что они нерегулируемые и не очень удобны для контроля деталей с малыми диаметрами отверстий. Поэтому предпочитают отдавать штифтовым калибрам, позволяющим проверять расположение любого числа отверстий как в прямоугольной, так и полярной системах координат.

Штифтовыми калибрами можно контролировать не только взаимное расположение отверстий, но и их расположение относительно цилиндрической или плоской базовых поверхностей (рис. 87, а, б).

Отклонение от симметричности наружных  $A$  и внутренних  $B$  поверхностей детали проверяют с помощью калибра-скобы (рис. 87, в).

Во всех случаях деталь признается годной при вхождении в нее калибра, т. е. калибр является проходным. Такие калибры называют однопредельными. Применение двухпредельных калибров, имеющих проходную и непро-

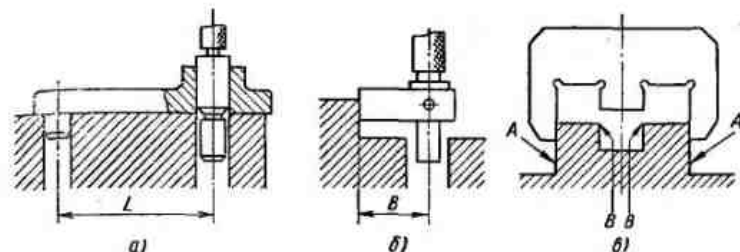


Рис. 87. Контроль отклонений расположения поверхностей калибрами

ходную сторону, для контроля положения осей отверстий крайне ограничено.

При контроле расположения осей отверстий калибрами необходимо учитывать, что на точность контроля размеров  $A$  и  $B$  (соответственно и  $L$ ) влияют размеры отверстий. Так, если размеры отверстий больше допустимых предельных значений, а размер  $L$  меньше предельного значения, то при контроле калибром она может быть признана годной. Поэтому контроль расстояний между осями отверстий или осью отверстия и базовой поверхностью с помощью рассмотренных калибров должен проводиться только после контроля самих отверстий.

Контроль расположения осей отверстий осуществляют рабочими калибрами. Они могут использоваться в качестве приемных только при наличии износа не менее чем на 40%.

#### Контрольные вопросы

1. Какими методами может быть определено отклонение от плоскостности?
2. Какие принципы используются в приборах для контроля отклонения от плоскостности?
3. Какими методами определяется отклонение от прямолинейности?
4. В чем состоят принципы измерения прямолинейности с помощью «натянутой струны» и «оптической струны»?
5. Как устроен оптический плоскостмер и какие отклонения формы он может измерить?
6. В чем заключается технический интерференционный метод и каким образом с помощью него измерить отклонения от плоскостности?
7. Что такое «отклонение от цилиндричности» и какими показателями оно характеризуется в технической документации?
8. На чем основан принцип измерения отклонения от цилиндричности и частных видов отклонения профиля?

9. Что такое кругломер и на чем основан принцип его работы?
10. Какие схемы измерений можно предложить для измерения различных частных видов отклонения от круглости в цеховых условиях?
11. Каким образом определить отклонение от прямолинейности оси в пространстве?
12. Что такое отклонение от параллельности плоскостей и какими методами его можно определить?
13. Что такое отклонение от перпендикулярности и какими методами его можно определить?
14. Что такое торцовое и радиальное биения и каким образом они могут быть измерены?
15. Что такое отклонения от соосности, симметричности, пересечения осей и как они измеряются?
16. Какие типы калибров существуют для контроля взаимного положения осей отверстий?

## 6. КОНТРОЛЬ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ

Реальные поверхности деталей отличаются от номинальных, геометрически правильных поверхностей наличием неровностей различного вида. Собранные из таких деталей соединения, как правило, работают в более жестких условиях по сравнению с расчетными. Например, при расчете удельной нагрузки принимают площадь контакта равной номинальной и равномерно распределяют по ней действующие силы. На самом деле (вследствие неровностей реальных поверхностей) нагрузка воспринимается только их отдельными участками, составляющими фактическую площадь контакта. Нагрузка на нее значительно превосходит расчетную. Это обстоятельство влияет на износостойкость поверхностей. Кроме того, неровности поверхностей оказывают влияние на прочность соединений, полученных запрессовкой, на их герметичность. В подвижных соединениях из-за поверхностных неровностей могут нарушаться плавность и точность перемещений, появляться дополнительные источники теплоты, изменяться характер трения в зонах контакта подвижных поверхностей. Все это в конечном итоге влияет на надежность и долговечность машин и приборов. Поэтому необходимо уметь правильно оценить все виды неровностей на реальных поверхностях деталей и прогнозировать их возможное влияние на эксплуатационные показатели изделий.

Количественной и качественной оценкой неровностей реальных поверхностей деталей на машиностроительных предприятиях занимаются работники технического контроля.

## 6.1. Основные понятия и определения

На реальных поверхностях деталей обычно выделяют следующие виды неровностей (рис. 88, а): *отклонение формы* 2 реальной поверхности или реального профиля от формы 1 геометрической поверхности или геометрического профиля; *волнистость* 3 поверхности, представляющую собой совокупность периодических неровностей с относительно большими шагами; *шероховатость* 4 поверхности, представляющую собой совокупность неровностей поверхности с относительно малыми шагами на базовой длине  $l$ . Как видно из рис. 88, а, все эти виды неровностей могут присутствовать одновременно на одной поверхности.

Волнистость занимает промежуточное место между отклонением формы и шероховатостью. Параметры, которыми характеризуется волнистость, — высота, шаг и длина измерения — не стандартизованы. Длину измерения волнистости принимают превышающей значение пяти

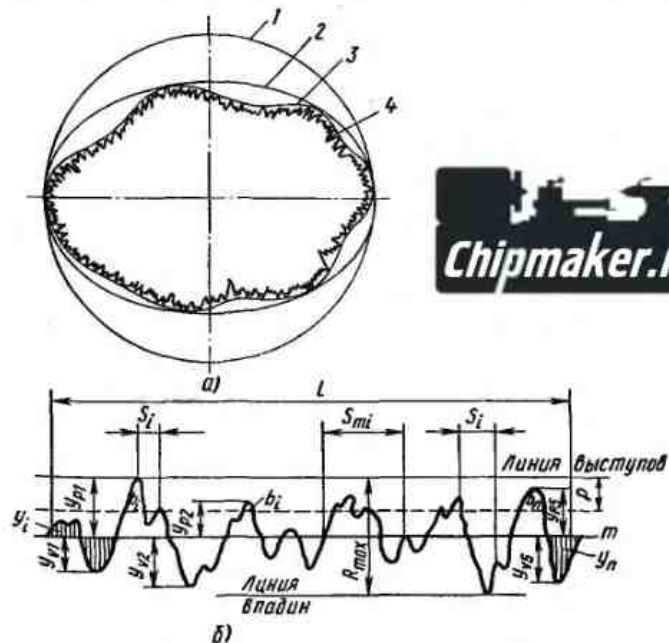


Рис. 88. Неровности поверхности деталей и шероховатость поверхности

шагов. Приборы для измерения волнистости по способу получения результатов измерения подразделяют на волнометры (шкальные приборы, позволяющие считывать с отсчетных устройств значение измеренных параметров) и волнографы (приборы, записывающие профиль волнистости в измеряемом сечении). Измерение волнистости можно осуществлять с помощью приборов для измерения отклонений формы. Например, кругломер, на котором с помощью грубого фильтра можно записать на диаграмме волнистость поверхности, или приборы для измерения шероховатости с увеличенной длиной трассы измерения (профилометр-профилограф мод. 252).

В соответствии с ГОСТ 2789—73 шероховатость поверхности оценивается по неровностям профиля (рис. 88, б), получаемого путем сечения реальной поверхности плоскостью, нормальной к поверхности. Длина, на которой оценивают шероховатость, называется *базовой длиной*  $l$ . Она зависит от высоты неровностей. Чем они больше, тем больше базовая длина. За базовую линию принимают *среднюю линию* профиля, имеющую форму номинального профиля. Средняя линия проводится таким образом, чтобы в пределах базовой длины сумма площадей, ограниченных профилем над средней линией, равнялась сумме площадей, ограниченных профилем под средней линией.

Основные параметры, характеризующие шероховатость поверхности:  $Ra$  — среднее арифметическое отклонение профиля. Определяется оно как среднее арифметическое абсолютных значений отклонения  $y_i$  профиля в пределах базовой длины  $l$ . За отклонение профиля принимают при этом расстояние  $y_i$  от точек профиля до средней линии. Приблизленно

$$Ra = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|.$$

Для определения  $Ra$  по профилограмме поверхности с известным коэффициентом увеличения необходимо правильно провести среднюю линию, разбить ее на  $n$  равных интервалов. Из точек, соответствующих границам интервалов, восставить перпендикуляры до пересечения с профилем. Затем необходимо измерить отрезки перпендикуляров между средней линией и линией профиля и за величину  $Ra$  принять среднее зна-

чение длины отрезков  $y$ . Чем на большее число интервалов будет разделена средняя линия, тем точнее будет определен параметр  $Ra$ .

$Rz$  — высота неровностей профиля по десяти точкам. Определяется как сумма средних арифметических абсолютных значений высот пяти наибольших выступов профиля и глубин пяти наибольших впадин профиля в пределах базовой длины:

$$Rz = \frac{\sum_{i=1}^5 |y_{pi}| + \sum_{i=1}^5 |y_{vi}|}{5},$$

где  $y_{pi}$  — высота  $i$ -го наибольшего выступа профиля;  $y_{vi}$  — глубина  $i$ -й наибольшей впадины профиля;  $R_{\max}$  — наибольшая высота неровностей профиля. Она равна расстоянию между линией выступов профиля и линией впадин профиля в пределах базовой длины.

$S_m$  — средний шаг неровностей профиля. Определяется как среднее арифметическое значение шага неровностей  $S_{mi}$  профиля в пределах базовой длины. За шаг неровностей  $S_{mi}$  принимается отрезок средней линии, заключенный между точками пересечения смежных выступов и впадины профиля со средней линией:

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

$S$  — средний шаг неровностей профиля по вершинам  $S_i$ . Определяется как среднее арифметическое значение шагов местных выступов профиля, находящихся в пределах базовой длины. За шаг неровностей по вершинам  $S_i$  принимается длина отрезка средней линии, заключенного между проекциями на нее наивысших точек соседних местных выступов профиля:

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

$t_p$  — относительная опорная длина профиля. Определяется как отношение суммы длин отрезков, отсекаемых на заданном уровне в материале профиля линией, эквидистантной средней линии и расположенной на заданном расстоянии от линии выступов профиля (уровне сечения  $p$ ) к базовой длине  $l$ . Уровень сечения профиля  $p$  обычно выбирают из ряда 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90% от  $R_{\max}$ .

Относительная опорная поверхность профиля явля-

ется одним из параметров для оценки фактической площади контакта поверхности после процесса прира-  
ботки.

## 6.2. Бесконтактные методы контроля шероховатости

В машиностроении широкое распространение получил визуальный метод контроля шероховатости с помощью образцов (ГОСТ 9278—75).

Образцы шероховатости поверхности (рис. 89) представляют собой наборы плиток 2 размером  $30 \times 20$  мм, закрепленных винтами 3 в углублениях основания 1. Плитки изготавливают из стали или чугуна механической обработкой плоских или цилиндрических поверхностей, методами гальванопластики или нанесением покрытий на пластмассовую основу. Вид механической обработки рабочих поверхностей может быть различным: точение, строгание, фрезерование, расточка, шлифование и т. д. Направление микронеровностей может быть тоже различное: прямолинейное дугообразное и перекрещивающееся дугообразное. На плоских поверхностях образцов штрихи обычно направлены прямолинейно.

При визуальном методе контроля необходимо стремиться к тому, чтобы с образцом сравнивалось изделие, не только прошедшее тот же вид обработки, но и выполненное из того же материала, что и образец. Это значительно повышает точность оценки. Визуальный метод обычно применяют при оценке шероховатости в пределах  $Ra = 50 \div 0,4$  мкм.

Для оценки шероховатости методом сравнения при значениях  $Ra = 12,5 \div 0,025$  мкм применяют специальный микроскоп сравнения. Его оптическая схема позволяет



Рис. 89. Образцы шероховатости поверхности

проводить сравнение поверхности образца, помещаемого в специальное устройство микроскопа, с поверхностью детали. В окуляре оператор наблюдает сразу обе поверхности, разделенные тонкой линией.

Существует ряд приборов, основанных на различных принципах, позволяющих осуществлять измерения шероховатости бесконтактным методом.

Для измерения шероховатости в пределах  $Ra = 6,3 \div 0,2$  мкм применяют пневматический метод измерения. Метод основан на измерении расхода воздуха, проходящего через неровности поверхности, с отчетом показаний по шкале ротаметра, проградуированного по образцам шероховатости (подробно этот принцип будет рассмотрен в гл. 9).

Приборы, основанные на использовании отражательной способности обработанных поверхностей, которая изменяется в зависимости от высоты микронеровностей, позволяют измерять шероховатость в пределах  $Ra = 0,1 \div 0,25$  мкм.

Особое место в бесконтактных измерениях шероховатости занимают оптические приборы. Согласно ГОСТ 9847—79, эти приборы делятся на типы: ПСС — приборы светового сечения; ПТС — приборы теневого сечения; МИИ — микроскоп измерительный интерференционный, МПИ — микроскоп-профилометр интерференционный; МОМ — микроскоп однообъективный муаровый. Эти приборы позволяют измерять шероховатость поверхности в пределах  $Rz$  и  $R_{max} = 320 \square 0,05$  мкм,  $S_m = 0,002 \div 1,6$  мм.

Прибор ПСС мод. МИС-11 основан на принципе светового сечения, разработанном русским ученым В. П. Линником, который заключается в следующем. Узкая световая щель проецируется на поверхность (рис. 90, а). В тех местах, где на поверхности детали имеются неровности, изображение щели искривляется, образуя как бы сечение под углом к поверхности. Искривления световой щели и определяют высоту неровностей.

Корпус 4 двойного микроскопа МИС-11 (микроскопа Линника) крепится на кронштейне 6, который может перемещаться по стойке (рис. 90, б). Относительно кронштейна корпус может перемещаться маховиком 5 и реечным механизмом, служащим для предварительной установки микроскопа на резкость. Тонкую подстройку резкости осуществляют ручкой 3 микроподачи. В корпусе

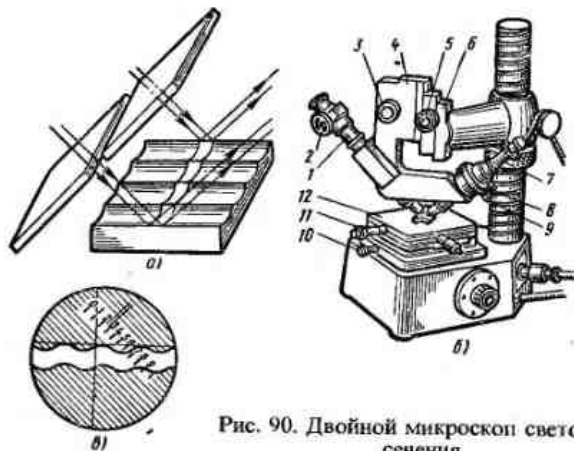


Рис. 90. Двойной микроскоп светового сечения

(под углом  $45^\circ$  к вертикали) установлены микроскоп 1 и осветительный тубус 7, в котором расположены осветитель и щелевая диафрагма. Тубус можно перемещать в осевом направлении поворотом гайки 8, а вращением винта 9 можно несколько изменять его угол наклона. Микроскоп снабжен окулярным микрометром 2. На поверхности массивного основания микроскопа смонтирован предметный стол 12, который можно перемещать в двух взаимно перпендикулярных направлениях микровинтами 11 с ценой деления 0,01 мм. Стол можно поворачивать вокруг вертикальной оси. Фиксацию стола осуществляют стопорным винтом 10. В нижней части осветительного тубуса и микроскопа установлены одинаковые сменные объективы.

Перед измерением шероховатости осуществляют настройку микроскопа. На предметный столик помещают концевую меру длины и предварительно фокусируют микроскоп вертикальным перемещением до получения в окуляре резкого изображения поверхности меры. Затем вращением винта 9 изображение перемещают в центральную часть поля зрения и гайкой 8 окончательно настраивают на резкость. Поворачивая вокруг оси микроскопа корпус окулярного микрометра, устанавливают один из отсчетных штрихов горизонтально.

Так как оси тубуса и микроскопа наклонены под  $45^\circ$  к измеряемой поверхности, вертикальные размеры микронеровностей будут увеличены в 1,41 раза по срав-

нению с их действительным значением. Поэтому перед началом измерений уточняют действительную цену деления окулярного микрометра. Для этого на стол микроскопа помещают стеклянную пластину с нанесенной на ней точной шкалой, которую называют объект-микрометром. Совмещая отсчетный штрих микроскопа последовательно со штрихами объект-микрометра, определяют действительную цену деления окулярного микрометра. После этого приступают к измерениям высоты микронеровностей по десяти точкам ( $Rz$ ).

На столе устанавливают деталь. Регулируют резкость изображения и поворотом стола устанавливают направление микронеровностей перпендикулярно световой щели. Пользуясь микровинтами 11, перемещают изображение щели в середину поля зрения. Горизонтальную линию перекрестия окулярного микрометра устанавливают параллельно направлению неровностей (рис. 90, в). Измерение высоты неровностей осуществляют по одной из границ световой щели. Для этого совмещают горизонтальную линию последовательно с выступами и впадинами одной из границ светового сечения. С помощью окулярного микрометра определяют высоту впадин и выступов в пределах базовой длины и по этим данным подсчитывают значение  $Rz$ .

В настоящее время вместо мод. МИС-11 выпускается мод. ПСС-2. Принципиальная схема ее не отличается от прототипа, но прибор имеет ряд усовершенствований. У него увеличено поле зрения, имеются комплект встроенных объективов, сменные щелевые диафрагмы и встроенная фотокамера, позволяющая делать снимки микрорельефа измеряемого объекта.

В приборах ПТС оптическая схема имеет специальную линейку со скошенным ребром, установленную на расстоянии 0,1 мм от измеряемой поверхности, которая как нож «срезает» часть пучка и образует на измеряемой поверхности объекта тонкую теневую полоску. Верхний край тени повторяет профиль измеряемой поверхности, а нижний край является прямой линией, повторяющей линию лезвия ножа. Отсчет производится по оптическому микрометру с ценой деления 0,01 мм. Прибор ПТС-1 выполнен в виде накладного переносного микроскопа и предназначен для измерения высоты шероховатости грубо обработанных поверхностей в пределах  $Rz$  и  $R_{\max} = 40 \div 320$  мкм и измерения толщины прозрачных пленок 160–320 мкм.

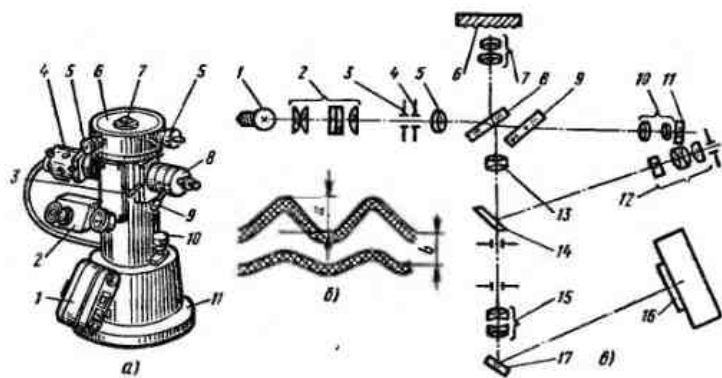


Рис. 91. Микроинтерферометр типа МИИ-4

Для измерения микронеровностей доведенных поверхностей в пределах  $R_z$  и  $R_{max} = 0,1 \div 0,8$  мкм применяют микроинтерферометры типа МИИ (микроинтерферометр Линника).

Микроинтерферометр (рис. 91, а) имеет массивное колоколообразное основание 11, на котором укреплена колонка с плоским столом 6. Стол может перемещаться в двух взаимно перпендикулярных направлениях вращением микрометрических винтов 5. Деталь 7 устанавливают на стол таким образом, чтобы измеряемая поверхность была снизу и контактировала с поверхностью стола. Винтом 10 осуществляют настройку интерференционной картины, а винтом 9 и поворотом корпуса 8 изменяют соответственно ширину и направление интерференционных полос. Головкой 3 можно перемещать шторку, которая закрывает интерференционное зеркало и позволяет рассматривать измеряемую поверхность без интерференционных полос, как в обычный микроскоп.

Искривление интерференционных полос (рис. 91, б) измеряют окулярным микрометром 2 (рис. 91, а). Фото снимки интерференционной картины получают с помощью фотоприставки 1. Узел освещения 4 для уменьшения теплового воздействия на прибор вынесен наружу.

Оптическая схема микроинтерферометра мод. МИИ-4 повторяет схему контактного интерферометра (см. рис. 43) с той лишь разницей, что одно из зеркал заменено в этом приборе поверхностью детали (рис. 91, в).

Световой пучок от лампы 1 проходит через конденсоры 2, разделенные светофильтром, диафрагмы 3 и 4,

объектив 5 и попадает на полупрозрачную разделительную пластину 8. На пластине пучок лучей разделяется на два потока. Один поток проходит компенсационную пластину 9, микрообъектив 10, падает на поверхность зеркала 11 и, отразившись от него, возвращается к пластине 8. Другой поток света проходит через микрообъектив 7, падает на измеряемую поверхность 6 и, отразившись, тоже возвращается к пластине 8. Образовавшаяся при этом интерференционная картина объективом 13 и зеркалом 14 направляется в фокальную плоскость окуляра 12 и наблюдается оператором.

В случае необходимости интерференционная картина может быть сфотографирована фотокамерой 16 с помощью объектива 15 и зеркала 17, но для этого зеркало 14 отводят в сторону.

Высоту микронеровностей  $H$  (мкм) определяют через соотношение высоты искривления  $a$  полос к их ширине  $b$  (см. рис. 91, б):  $H = (a/b)(\lambda/2)$ , где  $\lambda$  — длина световой волны. Значение  $\lambda$  обычно указывают на оправе сменных светофильтров монохроматического света, которые вдвигаются между конденсорами 2 (см. рис. 91, в), либо в технической документации на прибор.

Отечественная промышленность выпускает микроинтерферометры моделей МИИ-9, МИИ-10, МИИ-11, МИИ-12 и МИИ-15.

Однообъективный двухлучевой микроинтерферометр мод. МИИ-9 работает в белом и монохроматическом свете. Он отличается от мод. МИИ-4 более яркой и резкой интерференционной картиной. МИИ-9 позволяет измерять шероховатость в пределах  $R_z$  и  $R_{max} = 0,8 \div 0,25$  мкм.

Иммерсионно-репликовый микроинтерферометр мод. МИИ-10 измеряет шероховатость достаточно грубо обработанных поверхностей в пределах  $R_z$  и  $R_{max} = 0,1 \div 10$  мкм. Микронеровности в пределах  $0,1 - 1$  мкм измеряют так же, как на мод. МИИ-4, а неровности от  $0,2$  до  $10$  мкм — с помощью отпечатков (реплик), снятых с измеряемой поверхности, которые и рассматриваются потом посредством интерферометра. Отпечаток может быть снят обычной киноплёнкой, которую прижимают к измеряемой поверхности, смоченной предварительно ацетоном. Полученный оттиск помещают в специальную камеру, заполненную жидкостью (иммерсионной жидкостью) и расположенную в корпусе микроинтерферометра.

Прибор очень удобен для измерения шероховатости поверхностей, расположенных в труднодоступных местах, например боковой поверхности винта ходового винта, поверхности зуба зубчатого колеса, внутренних поверхностей и т. д.

Микроинтерферометр мод. МИИ-12 предназначен для измерения шероховатости в пределах  $Rz$  и  $R_{max} = 0,032 \div 0,8$  мкм с произвольным направлением неровностей, например, после хонингования, суперфинишной обработки, доводки, электрополирования и др.

### 6.3. Контактные методы контроля шероховатости

Образцы шероховатости применяют и для оценки шероховатости методом сравнения на ощупь ногтем или ребром монеты поперек следов обработки. Иногда для этих целей используют карандаш ТМ. Им проводят риски на детали и на образце и сравнивают следы. Эти приемы (при достаточном опыте) дают точные результаты оценки поверхностей в пределах  $Rz = 6,3 \div 8$  мкм. При определении шероховатости методом сравнения могут возникнуть разногласия в оценке, решить которые можно проведением объективных измерений приборами.

В основе работы контактных приборов лежит принцип «ощупывания» измеряемой поверхности с помощью алмазной иглы, имеющей маленький радиус закругления. Приборы, основанные на этом принципе, называют щуповыми. Вертикальные перемещения иглы, вызываемые поверхностными неровностями, преобразуют в колебания напряжения электрического тока с помощью индуктивных, емкостных, пьезоэлектрических и других преобразователей.

Ощупывание поверхности может быть непрерывным и прерывистым.

По способу получения измерительной информации все щуповые приборы делят на профилометры и профилографы. Профилометры позволяют по шкале определять значение измеряемого параметра шероховатости. Профилографы позволяют осуществить запись микропрофиля поверхности. Чтобы получить значение интересующего нас параметра, необходимо профилограмму обработать, т. е. провести оценку интересующего нас параметра. Профилометры и профилографы в зависимости от метрологических показателей делятся на лабораторные и цеховые.

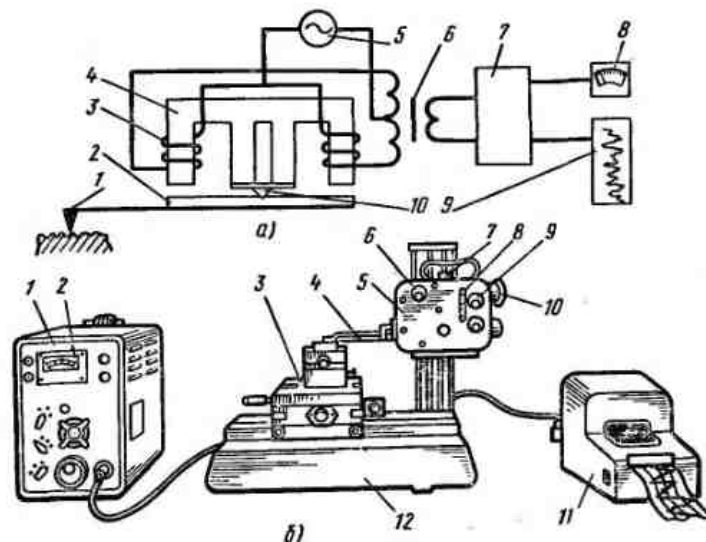


Рис. 92. Профилограф-профилометр мод. 201

В настоящее время широко применяют профилографы-профилометры (измерительные средства, состоящие из двух приборов — профилографа и профилометра и имеющие общую схему преобразования) моделей 201, 202, 252 — лабораторного типа, мод. 240 — цехового типа и портативный профилометр цехового типа — мод. 253.

Принцип их работы поясняет схема с индуктивным преобразователем (рис. 92, а). Алмазная игла 1 закреплена на рычаге 2, являющемся якорем преобразователя. Магнитная система преобразователя состоит из двух катушек 3 и сдвоенного Ш-образного сердечника 4. Две катушки преобразователя и обе половины первичной обмотки дифференциального выходного трансформатора 6 образуют измерительный мост, питание которого осуществляют от генератора звуковой частоты 5. При перемещении иглы 1 по измеряемой поверхности рычаг 2 совершает колебания относительно опоры 10. Колебания рычага, являющегося якорем магнитной системы, изменяют воздушные зазоры между ним и сердечниками катушек 3, вызывая тем самым изменения напряжения на выходе дифференциального трансформатора 6. Изменения напряжения усиливаются электронным блоком 7, на



выход которого подключен записывающий 9 или показывающий 8 приборы.

Основные метрологические показатели профилографа-профилометра мод. 201 (рис. 92, б) следующие: пределы измерения для профилографа  $Rz = 0,025 \div 20$  мкм, для профилометра  $Ra = 0,02 \div 3,2$  мкм. Установка базовой длины 0,09; 0,25; 0,8 и 2,5 мм.

Прибор состоит из унифицированных блоков: основания 12 со стойкой, кареткой, столиком 3; индуктивного преобразователя, механизма привода 5 со щупом 4; электронного блока 1 с показывающим прибором 2 и самописца 11.

Прибор может работать в режимах профилографа и профилометра. Переключение на соответствующий режим осуществляют ручкой 6. Перемещение по стойке привода 5 осуществляют вручную маховичком 10 (грубо) и микровинтом 7. Переводом рычага 8 в левое положение до упора преобразователь перемещают в исходное положение. Переключателем 9 устанавливают требуемую скорость перемещения щупа с иглой. Изделие на столе устанавливают в требуемое положение относительно направления перемещения иглы. Стол для этого снабжен несколькими микровинтами подачи.

Профилограф-профилометр мод. 252 (рис. 93) состоит из унифицированных блоков: основания 2 со стойкой и предметным столиком 3; механизма привода 5 со щупом преобразователя 4; электронного блока 6 с цифровым отсчетом показаний и самописца 1.

В режиме профилографа диапазон измерений прибора составляет 0,02–250 мкм; при этом вертикальное увеличение может изменяться от 200 до 100 000<sup>x</sup>, а горизон-

тальное увеличение — от 0,5 до 200<sup>x</sup>. Максимальная длина трассы записи 50 мм, ширина записи 50 мм. Запись осуществляется на специальной бумаге электротермическим методом (методом прожигания). По записи, используя специальную стандартизованную методику МИ41-75, можно определить любой параметр шероховатости. Процесс обработки профилограмм достаточно длителен.

В режиме профилометра прибор позволяет получать числовые значения параметров  $Ra = 0,02 \div 100$  мкм,  $H_{max}$  и  $H_{min} = 0,1 \div 100$  мкм;  $t_p = 0 \div 100$ %. Показания снимают с электронного цифрового табло.

Измерения шероховатости в цеховых условиях осуществляют с помощью высокочувствительного портативного профилометра мод. 253. В нем в качестве преобразователя использован механотрон, представляющий собой электронную лампу с подвижным анодом. Колебания иглы передаются на анод механотрона через стержень, выходящий из стеклянной колбы. В электронной лампе они преобразуются в электрические сигналы, которые передаются в электронный блок прибора. Там сигналы усиливаются и фиксируются на отсчетном устройстве, проградуированном в  $Ra$ . Данная модель имеет пределы измерения  $Ra = 0,02 \div 3,2$  мкм.

Некоторыми иностранными фирмами освоен выпуск микропрофилометров с цифровым отсчетом, которые по размеру не превосходят плоские карманные фонари. В корпус прибора вставляют щуп с иглой и, держа в руках прибор, проводят щупом по измеряемой поверхности. На цифровом табло считывают значение  $Ra$  в пределах базовой длины.

#### Контрольные вопросы

1. Какие виды неровностей могут иметь поверхности деталей?
2. Какими основными параметрами характеризуется шероховатость поверхности?
3. Как по полученной профилограмме поверхности определить значения  $Ra$  и  $Rz$ ?
4. Какие существуют методы бесконтактного контроля шероховатости?
5. Какие принципы положены в основу работы оптических приборов?
6. Поясните устройство двойного микроскопа Линника и его работу.
7. Как измерить шероховатость поверхности, пользуясь микроинтерферометром?
8. Какие существуют методы контактного контроля шероховатости?

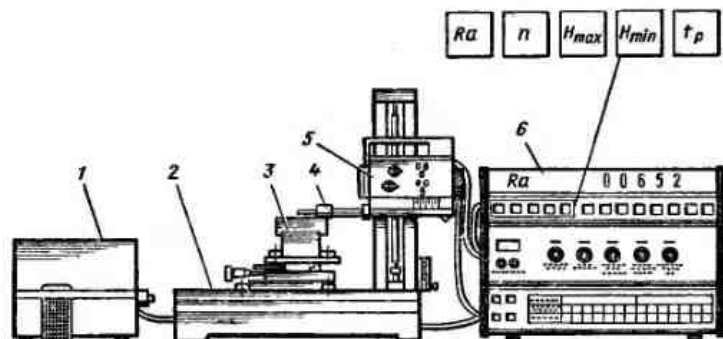


Рис. 93. Профилограф-профилометр мод. 252

9. В чем состоит принцип работы щуповых приборов?

10. Как определить параметры шероховатости с помощью профилографа-профилометра?

## 7. КОНТРОЛЬ РЕЗЬБ

В машиностроении широкое распространение имеют резьбовые соединения. Контакт деталей в резьбовом соединении осуществляется по наружным и внутренним винтовым поверхностям, образующим резьбу. Деталь с наружной резьбой называют болтом, а с внутренней — гайкой.

Контур, образованный сечением резьбовой поверхности плоскостью, проходящей через ее ось, называют профилем резьбы. В зависимости от вида профиля резьбы делятся на метрические, дюймовые, трубные, трапецидальные, прямоугольные, круглые и пилообразные упорные. Резьбы нарезают на цилиндрических поверхностях и резе на конических.

По назначению все резьбы можно разделить на крепежные и кинематические. Крепежные чаще всего имеют треугольный профиль и применяются для создания разъемных соединений. Основное требование к этим резьбам — обеспечение необходимой прочности соединения. Кинематические резьбы могут иметь треугольный, трапецидальный, прямоугольный или круглый профили. Применяют их для преобразования вращательных движений в поступательные (ходовые винты станков, винтовые передачи прессов и т. д.). Главное требование к этим резьбам — точность перемещения, т. е. один оборот винта должен обеспечить точное перемещение гайки на величину хода. Кроме этого, кинематические резьбы должны выдерживать значительные осевые нагрузки.

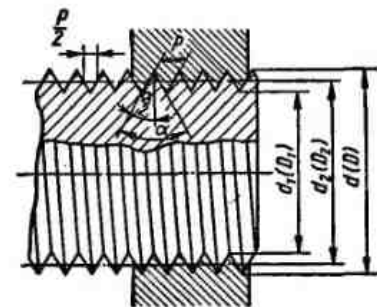


Рис. 94. Основные параметры резьбового соединения

По числу заходов резьбы бывают одно- и многозаходные.

На рис. 94 показан профиль резьбы. Основные параметры профиля — средний диаметр, шаг и угол профиля. Однако такое соединение носит теоретический характер,

так как на практике реальные болт и гайка имеют плоскосрезанные вершины и впадины. Поэтому для резьб указывают дополнительно значения наружного и внутреннего диаметров, определяющих срез профиля.

Принято диаметры резьбы гайки обозначать большими латинскими буквами с индексами:  $D_1$  — наружный диаметр,  $D_2$  — средний диаметр,  $D$  — внутренний диаметр. Диаметры болта — маленькими буквами:  $d_1$  — внутренний диаметр,  $d_2$  — средний диаметр,  $d$  — наружный диаметр.

Измерение наружного диаметра болта и внутреннего диаметра гайки осуществляют практически так же и теми же средствами, что и наружных и внутренних диаметров гладких цилиндрических соединений.

Внутренний диаметр болта и наружный диаметр гайки измерениям не подлежат, так как стандарт не устанавливает на них отклонений и их размеры обуславливаются размерами резьбонарезного инструмента.

Измерение среднего диаметра, шага и угла профиля проводят только у точных кинематических резьб, резьбовых калибров и резьбонарезных инструментов. Контроль этих параметров может осуществляться комплексно или поэлементно. При комплексном методе проверяют одновременно все три параметра, например, резьбовыми калибрами, а при поэлементном (дифференцированном) методе проверяют годность каждого параметра в отдельности.

7.1. Поэлементный контроль резьбы

Поэлементный контроль резьбы осуществляют с помощью универсальных измерительных средств: микрометров, рычажных скоб, универсального и инструментального микроскопов, длиномера, оптиметра и т. д. На микроскопах можно измерить все параметры резьбы; с помощью микрометров со вставками — средний диаметр; с помощью длиномера, оптиметра, рычажной скобы и др. — наружный и средний диаметры.

Микрометры со вставками (рис. 95) в соответствии с ГОСТ 4380—78 выпускают трех видов: МВМ — для измерения метрических и дюймовых резьб, МВТ — с шаровыми вставками для измерения трапецидальных резьб и для измерения фасонных деталей, ВМП — с плоскими вставками для измерения деталей из мягких материалов.

Микрометр со вставками, позволяющий измерять

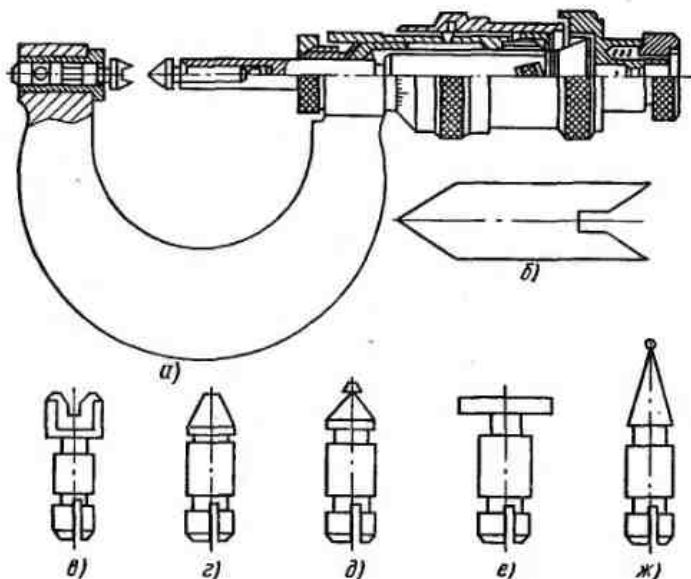


Рис. 95. Микрометр со вставками

средний диаметр резьбы, отличается от гладких микрометров конструкцией пяток. Пятки имеют глухие отверстия диаметром 3,5 Н7 с закрепленными на дне опорными шариками (рис. 95, а). Для надежного крепления вставки имеют пружинящие хвостовики, обеспечивающие в соединении с отверстиями микрометра небольшой натяг. Чтобы обеспечить хорошее центрирование вставок в отверстиях, разрез в хвостовой части вставок делают смещенным относительно оси.

Измерение метрической и дюймовой резьб осуществляют с помощью вставок (рис. 95, а, г, д); трапецидальной резьбы и фасонных поверхностей с помощью вставки (рис. 95, ж) и изделий из мягких материалов с помощью вставки (рис. 95, е).

Вставки выполняют в виде комплектов с различными размерами рабочих поверхностей, зависящими от шага измеряемой резьбы. Так, для измерения метрических резьб с шагом от 0,4 до 6 мм комплект содержит восемь пар вставок с углом профиля 60°. Для измерения дюймовых резьб с числом ниток на дюйм от 28 до 3 комплект насчитывает шесть пар вставок с углом профиля 55°.

Замена вставок требует заново настраивать микрометр на нуль. При настройке микрометров с пределом измерений свыше 25 мм на нуль используют специальную плоскую установочную меру (рис. 95, б).

Погрешность измерения микрометром со вставками может достигать 0,1–0,2 мм, так как на результаты измерения оказывают существенное влияние погрешности шага и погрешность половины угла профиля резьбы.

Для более точного измерения среднего диаметра резьбы применяют проволоочки и ролики, которые изготовляют трех типов (рис. 96, а): тип I – проволоочки гладкие, тип II – проволоочки ступенчатые исполнений А, Б и В и тип III – ролики. Проволоочки типа I крепятся в специальных колодках, проволоочки типа II имеют рабочую часть в середине. Проволоочки типа II имеют специальное ушко для подвешивания их в процессе измерения.

Метод измерения среднего диаметра с помощью проволоочек состоит в том, что проволоочки закладывают во

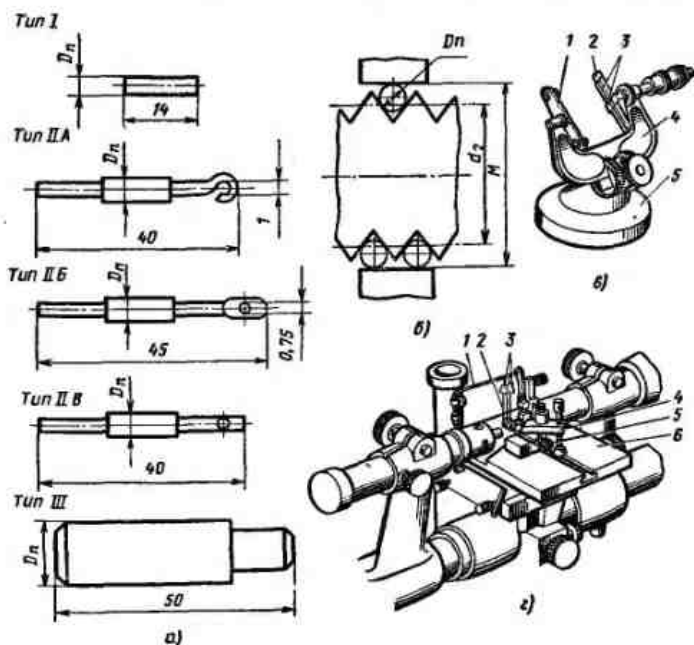


Рис. 96. Измерения среднего диаметра резьбы с использованием проволоочек

впадины резьбы. С помощью универсальных средств измеряют размер  $M$  (рис. 96, б) между выступающими поверхностями проволочек. Диаметр проволочек выбирают в зависимости от шага резьбы таким образом, чтобы проволочки, будучи помещенными во впадину резьбы, касались ее профиля посередине его высоты. Для метрической резьбы наивыгоднейший диаметр проволочки выбирают, исходя из соотношения  $D_n = 0,577P$ .

Измерения среднего диаметра можно провести с помощью трех, двух и одной проволочки. Измерения с одной проволочкой проводят крайне редко, у деталей диаметром более 100 мм. Чаще применяют метод трех проволочек. Измерения проводят по схеме, изображенной на рис. 96, б. При измерении резьб с шагом 0,5 мм и менее две нижние проволочки могут помещаться не в соседние впадины, а в последующие, но они должны обязательно располагаться симметрично верхней проволочке.

В зависимости от требуемой точности размер  $M$  может быть измерен с помощью микрометра, оптиметра, контактного интерферометра, длиномера и т. д.

Микрометр 4 (рис. 96, в) крепят в специальной подставке 5. На пятку и микровинт устанавливают державки 1 и 2 с закрепленными в них проволочками 3. Державки с проволочками могут поворачиваться вокруг своих опор, что позволяет проволочкам самоустанавливаться по впадинам профиля.

Измерение резьбовых калибров диаметром до 60 мм можно проводить на оптиметре (рис. 96, з). Для этого, предварительно настроив оптиметр на нуль, по концевой мере, соответствующей номинальному значению размера  $M$ , устанавливают на предметный столик 6 проверяемый резьбовой калибр 5 и с помощью струбицы 4 фиксируют его. Проволочки 2 подвешивают за державки 3 на кронштейне 1. Дальнейшие измерения проводят аналогично измерению гладких цилиндрических деталей. Средний диаметр проходного калибра-пробки измеряют в трех сечениях, перпендикулярных оси резьбы. В каждом сечении средний диаметр измеряют в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

По измеренному размеру  $M$ , пользуясь следующими формулами, определяют средний диаметр резьбы (болтов): метрической  $d_2 = M - 3D_n + 0,866P$ ; дюймовой  $d_2 = M - 3,1657D_n + 960P$ ; трапецидальной  $d_2 = M - 4,8637D_n + 1,866P$ .

Часто измерение резьбы осуществляют на универсальном и инструментальном микроскопах. Эти универсальные средства позволяют измерять все основные параметры резьбы. На них проверяют резьбовые калибры, резьбообрабатывающий инструмент (метчики, резьбовые фрезы, накатные головки) и изделия с точной резьбой. Измерения могут осуществляться либо обычным проекционным методом, либо с применением специальных ножей.

Для измерения резьбы на инструментальном микроскопе сначала с помощью контрольного валика выставляют ось центров параллельно продольному перемещению стола. Затем устанавливают в центрах (вместо контрольного валика) измеряемую деталь, выбирают и устанавливают, согласно прилагаемой инструкции, необходимую диафрагму осветителя. Колонку микроскопа наклоняют на угол подъема резьбы, который можно определить из тригонометрической зависимости как  $\text{tg } \varphi = P/(\pi d_2)$ , и регулируют окончательно резкость изображения.

На микроскопе измеряют средний диаметр, шаг и половину угла профиля. При необходимости можно измерить также наружный и внутренний диаметры.

Измерения всех параметров проводятся по левой и правой сторонам профиля (рис. 97, а). Это делается для уменьшения погрешности измерения, вызванной возможной ошибкой установки оси центров.

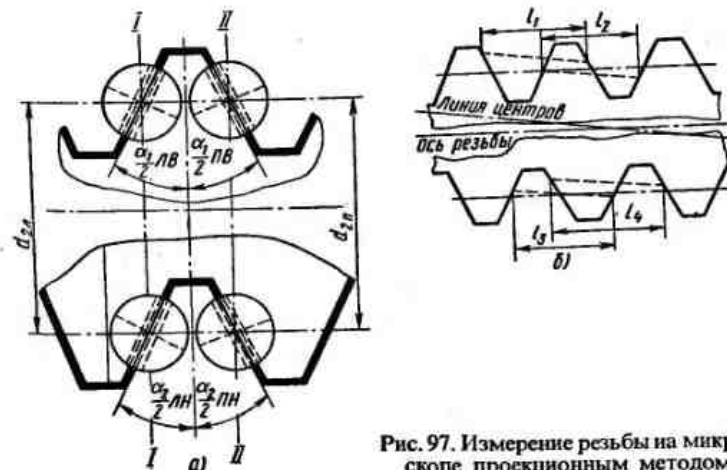


Рис. 97. Измерение резьбы на микроскопе проекционным методом

Для измерения среднего диаметра одну из линий перекрестия окулярной головки совмещают с левой стороной верхнего профиля и берут отсчет по нониусу поперечной микрометрической подачи. Затем, перемещая стол микроскопа в поперечном направлении, совмещают эту же линию с левой стороной нижнего профиля и берут второй отсчет по нониусу поперечного микровинта. Разность отсчетов дает значение среднего диаметра  $d_{2n}$ , измеренного по левой стороне профилей. Точно так же проводят измерение среднего диаметра по правым сторонам профиля.

За действительное значение среднего диаметра резьбы принимают среднее арифметическое значение двух диаметров  $d_{2л}$  и  $d_{2п}$ .

Угол профиля резьбы оценивают его половиной. Измерение половины угла позволяет более правильно и полно оценить положение профиля относительно оси резьбы.

Полный угол профиля может составлять  $60^\circ$ , но резьба может быть «завалена». Например,  $\alpha'_{2л} = 40^\circ$ ,  $\alpha'_{2п} = 20^\circ$ . Свинчивание будет нарушено.

Для измерения половины угла профиля устанавливают на нуль показания окулярной головки. При этом в поле зрения визирные линии окулярной головки занимают вертикальное и горизонтальное положения. Совмещают вертикальную линию с левой стороной профиля и отсчитывают значение  $\alpha'_{2пв}$ . Возвращают шкалу в нуль, затем совмещают вертикаль с правой стороной профиля, берут отсчет и получают значение  $\alpha'_{2пв}$ . То же самое повторяют на нижнем профиле. Затем определяют действительное значение угла  $\alpha'_{2п}$ , которое будет равно среднему значению  $\alpha'_{2л}$  и  $\alpha'_{2пв}$ . Соответственно  $\alpha'_{2л} = \frac{1}{2}(\alpha'_{2лв} + \alpha'_{2пв})$ .

Шаг резьбы измеряют также по двум сторонам профиля. Как видно из схемы (рис. 97, б), возможный перекос оси резьбы при установке детали вызывает погрешность. Но если по правой стороне профиля эта погрешность положительная, то по левой она такая же, но отрицательная. При определении среднего значения эти погрешности взаимно компенсируются. Визирование линий окулярной головки осуществляют так, чтобы точка пересечения штрихов окулярной сетки располагалась на середине профиля, а пунктирная линия была совмещена с профилем. В этом положении берут первый отсчет по

лимбу продольного микровинта. Далее перемещают стол в продольном направлении до совпадения этой же линии с одноименной стороной профиля следующего витка резьбы и берут второй отсчет по микровинту. Большую точность измерений можно достигнуть, если стол перемещать до совпадения штриха с одноименным профилем не микровинтом, а концевой мерой, равной номинальному значению шага измеряемой резьбы. Концевую меру помещают между пяткой микровинта и торцом стола. Незначительные несовпадения штриховой линии и профиля компенсируют микровинтом. Разность отсчетов по микровинту со знаком и есть погрешность шага. Точность измерения повышается, если измерять шаг не по соседним виткам, а на 5—10 витках. Определяют таким образом накопленную погрешность шага на соответствующем количестве витков, потом делят на количество шагов и определяют погрешность одного шага. Для крепежных резьб определяют только накопленную погрешность на длине свинчивания.

За значение шага принимают среднее арифметическое двух измерений  $P = (l_1 + l_2)/2$ . При измерении шага резьб с номинальным диаметром (менее 3 мм) рекомендуется измерять его не только по левой и правой сторонам, но и на верхнем и нижнем профилях, т. е. измерять размеры  $l_1, l_2, l_3, l_4$ . За значение шага принимают среднее арифметическое всех четырех результатов  $P = (l_1 + l_2 + l_3 + l_4)/4$ .

При высоких требованиях к точности измерение параметров резьбы производят на универсальном микроскопе с помощью специальных измерительных ножей.

Измерительные ножи могут быть со скошенной измерительной гранью и призматические. Ножи со скошенной гранью выпускают правыми и левыми. Их применяют для измерения по соответствующей стороне профиля.

Использование измерительных ножей позволяет проводить измерение параметров резьбы строго в осевом сечении изделия. На поверхности измерительного ножа имеется риска, параллельная рабочей грани и отстоящая от нее на расстояние  $l$ , равное либо  $0,3 \pm 0,0005$  мм, либо  $0,9 \pm 0,0005$  мм.

На окулярной сетке микроскопа (рис. 98, а) нанесены две взаимно перпендикулярные сплошные линии и ряд параллельных штриховых линий. Линии  $bb'$  и  $vv'$  находятся на расстоянии 0,3 мм от средней линии  $aa'$ , а ли-

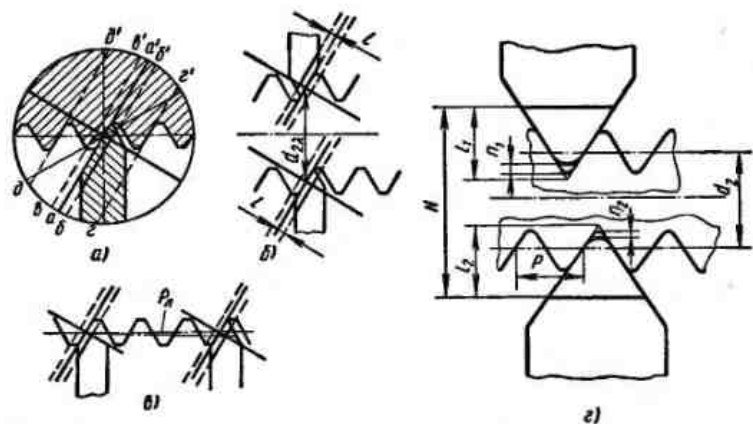


Рис. 98. Контроль резьбы на микроскопе с помощью измерительных ножей

нии  $z z'$  и  $b b'$  отстоят от нее на 0,9 мм. Таким образом, совместив соответствующую штриховую линию с риской на ноже, обеспечивают точное совмещение центральной линии с профилем резьбы.

Перед измерением ножи устанавливают на каретке универсального микроскопа в специальное зажимное приспособление. При этом верхняя поверхность ножа с рисками лежит в плоскости оси проверяемого изделия, установленного в центрах. Ножи придвигают вплотную к поверхности изделия.

При измерении среднего диаметра пользуются двумя одинаковыми ножами, устанавливая их в соответствии со схемой (рис. 98, б). Шаг можно измерять с помощью одного ножа, переставляемого с одного витка резьбы на другой (рис. 98, в). Для исключения погрешности, связанной с возможным перекосом изделия при установке, измерения шага и среднего диаметра проводят по обеим сторонам профиля. Методика измерений ничем не отличается от описанной выше.

Измерительные ножи имеют доведенные поверхности и строго прямолинейные рабочие лезвия. Поврежденные и изношенные ножи не допускают к измерениям на микроскопе. Для предупреждения повреждения лезвия ножа не разрешается с усилием перемещать нож вдоль поверхности резьбы, а также перемещать или поворачивать изделие при установленных ножах.

Для измерения резьбовых калибров с шагом менее 0,2 мм на универсальном микроскопе применяют при-

матические ножи (рис. 98, з). Эти ножи также имеют рабочие риски, отстоящие от вершины теоретического профиля ножа на расстояния  $l_1$  и  $l_2$ . Боковые поверхности наклонены к основанию ножа на угол, соответствующий углу подъема резьбы. Ножи при измерении крепятся в специальном приспособлении. На микроскопе измеряют размер  $N$  и с учетом аттестованных размеров  $l_1$  и  $l_2$  определяют значение среднего диаметра  $d_2$ . Для исключения погрешностей, связанных с углом профиля и зазорами  $n_1$  и  $n_2$ , результат измерений для резьб с шагом до 0,125 мм уменьшают на 0,001 мм, а для резьб с шагом более 0,125 мм — на 0,002 мм.

Измерение среднего диаметра может быть осуществлено с помощью индикаторных скоб с резьбовыми вставками, как у микрометров.

На рис. 99 показан прибор типа РМ, применяемый для измерения среднего диаметра метчиков с нечетным числом канавок, либо наружных диаметров гладких цилиндров. Прибор снабжен сменными вставками 6, 7, устанавливаемыми в подвижную скалку 8, и регулируемые оправки 5.

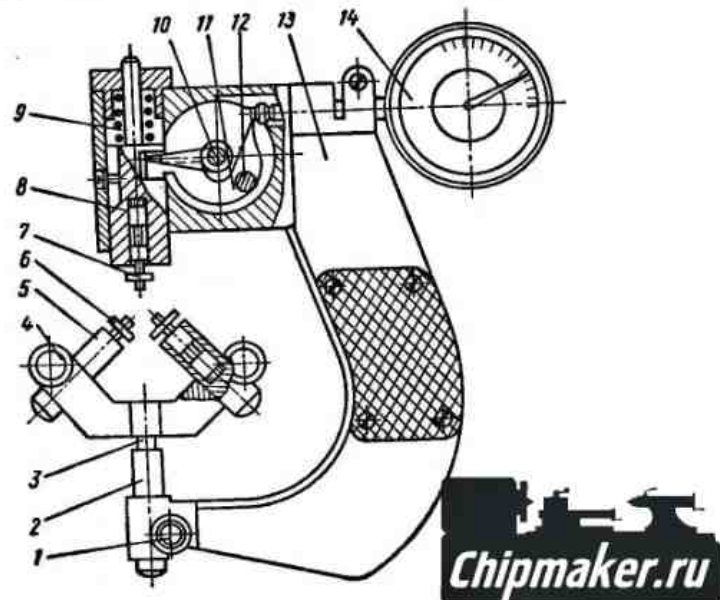


Рис. 99. Измерение среднего диаметра метчика прибором типа РМ

При измерении среднего диаметра метчиков в скалку помещают призматическую вставку, а в оправки — клиновые. Оправки винтами 4 крепят в расточках вилки 3. Вилка за ножку 2 крепится винтом 1 в корпусе скобы 13. Прибор оснащен шестью комплектами вставок.

Перед измерением прибор настраивают по аттестованному метчику или резьбовому калибру-пробке. Вначале перемещениями оправок 5 добиваются пересечения их осей с осью скалки в одной точке, а затем выставляют прибор на нуль. Затем отводят поворотом рычага арретира 10 скалку 8 в верхнее положение, на клиновые вставки 6 впадинами устанавливают метчик и опускают на выступ его профиля призматическую вставку 7. Если средний диаметр метчика больше или меньше аттестованного значения, то эти отклонения через рычаг 11, поворачивающийся вокруг оси 12, передаются на измерительный стержень индикатора 14 и вызывают отклонения стрелки. Измерительное усилие создается пружиной 9. Рычажная передача прибора имеет передаточное отношение, равное 1. Средний диаметр метчика определяют по формуле  $d_2 = d_{20} + kA$ , где  $d_{20}$  — средний диаметр образцового метчика или резьбового калибра;  $A$  — показание индикатора;  $k$  — коэффициент, учитывающий затылование метчика. Для трехканавочного метчика  $k = 1$ , для пятиканавочного  $k = 1,342$ .

Шаг резьбы (кроме изложенных выше методов) можно измерить индикаторными шагомерами и резьбовыми шаблонами (рис. 100).

Шагомер используют для измерения шага калибров-пробок диаметром свыше 100 мм (рис. 100 а). Он состоит из пружинной головки 4, на которой крепится базовая ножка 3 и измерительный рычаг 1 с шаровыми наконечниками. По образцовому калибру прибор настраивают на нуль, затем ножки устанавливают во впадины измеряемой резьбы. Отклонения шага вызывают

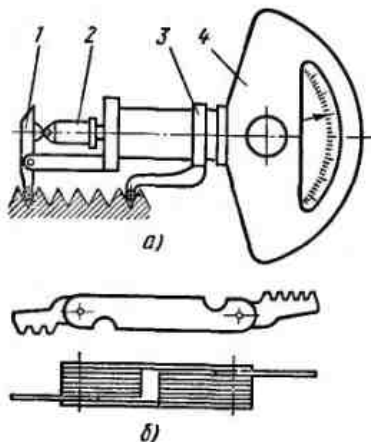


Рис. 100. Измерение шага резьбы

ют поворот ножки 1 и перемещение измерительного наконечника 2, которое считывается по шкале измерительной головки.

Резьбовые шаблоны (рис. 100, б) выпускают в виде наборов для контроля метрической резьбы с шагом от 0,4 до 6 мм и дюймовой с числом ниток на дюйм от 28 до 4. Они представляют собой нормальные резьбовые калибры, с помощью которых контролируют шаг резьбы методом «на просвет». Шаг резьбы соответствует шагу, указанному на том шаблоне, который наилучшим образом прилегает к профилю резьбы.

Шаг ходовых винтов можно измерить на специальных машинах методом сравнения с мерой, имеющей винтовую поверхность, или со штриховой мерой. В первом случае в качестве меры используют образцовый винт, который располагают в специальных машинах параллельно или последовательно с измеряемым винтом. При синхронном вращении этих двух винтов образцовый винт перемещает каретку с датчиком. Измерительный стержень датчика контактирует либо с профилем измеряемого винта, либо с торцом гайки. При несовпадении шагов образцового и измеряемого винтов наконечник датчика смещается. Перемещения наконечника фиксируют по отсчетному или записывающему устройству.

## 7.2. Особенности контроля внутренних резьб

Измерение параметров внутренней резьбы сопряжено со значительными трудностями. Поэлементный контроль резьбовых отверстий малого диаметра вообще невозможен.

Шаг и половина угла профиля внутренних резьб могут быть измерены с помощью слепка, оттиска или отливки с проверяемой резьбы. Слепки или отливки могут быть получены заполнением внутренней резьбы быстротвердеющей смесью, например медицинским цементом с водяным раствором хромпика или сплавом Вуда. Достаточно качественный оттиск можно получить с помощью свинцовой пластины, вдавливая ее в резьбу специальной струбциной. Слепки изготавливают из гуттаперчи или гипса, смешанного с водным раствором хромпика.

Оттиски и отливки могут быть измерены на универсальном или инструментальном микроскопах. Средний диаметр внутренней резьбы можно измерить приборами с шаровыми наконечниками.

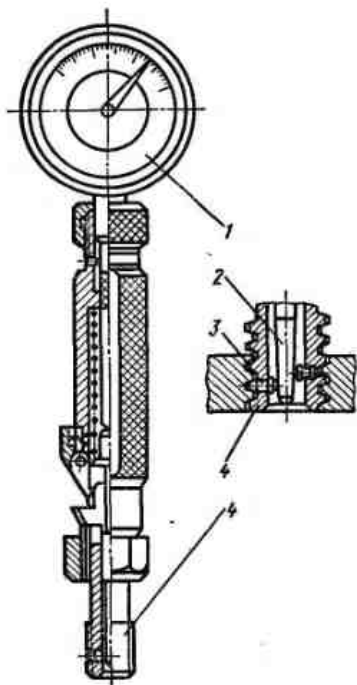


Рис. 101. Прибор для измерения внутренней резьбы

Для измерения внутренней резьбы применяют индикаторный нутромер с шаровыми вставками (рис. 101). Он имеет сменную резьбовую пробку 4, внутри которой нормально к оси расположены две сферические вставки 3. Под действием измерительного усилия индикатора и дополнительной пружины шток 2 коническим хвостовиком раздвигает вставки 3 до их касания с профилем проверяемой резьбы. Со шкалы 1 прибора, предварительно настроенного на нуль по резьбовому калибру, снимают отклонения измеряемого среднего диаметра.

Измерение среднего диаметра внутренних резьб в диапазоне 72—600 мм можно проводить микрометрическими нутромерами,

оснащенными резьбовыми вставками. Перед измерением нутромер настраивают на нуль по образцовому резьбовому кольцу. Повышение точности измерений может быть достигнуто заменой профильных вставок на шаровые с наиболее выгодным диаметром сферы. Наиболее выгодным считают такой диаметр сферы, при котором шары касаются профиля резьбы по среднему диаметру. Однако шаровые вставки вследствие точечного контакта с резьбой быстро изнашиваются.

Резьбовые калибры — кольца диаметром свыше 18 мм — могут быть измерены на горизонтальном оптиметре с помощью приспособления ГК-3, оснащенного шаровыми наконечниками наиболее выгодного диаметра.

Средний диаметр, шаг и половину угла профиля можно измерить у резьбовых калибров-колец диаметром от 18 до 98 мм на универсальном микроскопе с помощью приспособления ИЗК-59. Оптическая схема приспособле-

ния реализует метод светового сечения. Параметры резьбы определяют отсчетными устройствами микроскопа.

Шаг внутренних резьб большого диаметра можно измерять с помощью накладного индикаторного шагомера (см. рис. 100, а).

Для измерения среднего диаметра и шага внутренней резьбы широко используют различные приспособления. Несмотря на разнообразие их конструкций, они в своей основе используют шаровые наконечники наиболее выгодного диаметра.

На рис. 102 показан один из вариантов таких приспособлений с оптическим отсчетом. Каретка 3 на шариковых направляющих несет измерительный стержень 4 с шаровым наконечником 6. Наконечник 6 под действием измерительного усилия, создаваемого пружиной 5, прижимается во впадину резьбы проверяемого изделия 7, установленного в приспособлении 8. Перемещение наконечника 6 от одной впадины резьбы до другой измеряют с помощью образцовой шкалы 2, установленной на каретке, и отсчетного микроскопа 1.

Часто годность внутренней резьбы оценивают предельными резьбовыми калибрами.

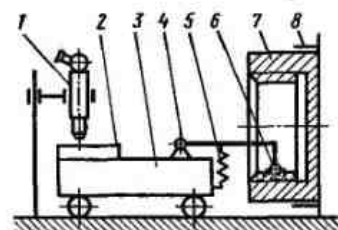


Рис. 102. Приспособление для измерения шага внутренней резьбы

### 7.3. Резьбовые калибры

Комплексный контроль наружных и внутренних резьб осуществляют резьбовыми калибрами. Они одновременно проверяют ряд параметров и позволяют сделать заключение о годности изделия.

Резьбовые калибры имеют проходные и непроходные стороны, которые, как у гладких калибров, обозначают соответственно *ПР* и *НЕ*. Проходные пробки и кольца имеют полный профиль. С их помощью контролируют так называемый приведенный средний диаметр.

Половина угла профиля, шаг и средний диаметр резьбы оказывают влияние на ее свинчиваемость, т. е. взаимосвязаны. Существует формула, определяющая их связь через комплексный показатель свинчиваемости — приведенный средний диаметр. Размер среднего



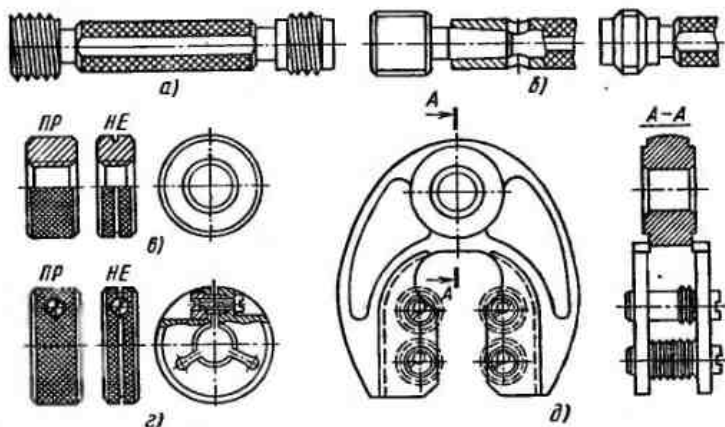


Рис. 103. Резьбовые калибры

диаметра, компенсирующий возникшие при изготовлении погрешности шага и угла профиля и обеспечивающий свинчиваемость резьбы, называют приведенным средним диаметром. Таким образом, контроль резьбы резьбовыми калибрами сводится к контролю приведенного среднего диаметра.

Непроходные калибры имеют укороченный профиль и небольшое число витков резьбы (2–3,5 витка). Ими осуществляют контроль только среднего диаметра. Непроходные калибры не должны свинчиваться с годными резьбами (допускается свинчиваемость не более чем на двух витках).

Контроль резьбовых отверстий осуществляют резьбовыми калибрами-пробками. По конструкции они бывают двусторонними (рис. 103, а) и односторонними (рис. 103, б). Односторонние выпускаются комплектом из двух калибров: проходного и непроходного. Для направления непроходного калибра в резьбовое отверстие они имеют направляющие цилиндрические пояски.

Контроль наружной резьбы осуществляют резьбовыми кольцами или скобами. Резьбовые кольца могут быть цельными (рис. 103, в) и регулируемыми (рис. 103, г). Регулировка размера кольца может осуществляться в небольших пределах, но достаточных для компенсации износа калибра. Резьбовые кольца также выпускают в комплекте из двух штук: проходного и непроходного.

Резьбовые калибры-скобы изготовляют односторонними, т. е. проходная и непроходная части расположены

с одной стороны. В качестве измерительных губок скобы используют резьбовые ролики или гребенки. Рабочая часть скобы может состоять из двух пар роликов (рис. 103, д), установленных в корпусе эксцентрично. Первая пара роликов является проходной, а вторая — непроходной. В отличие от резьбовых колец, скобы не свинчиваются с проверяемой резьбой в процессе контроля. Их пытаются переместить в направлении, перпендикулярном оси резьбы. Как и гладкие скобы, они или проходят, или не проходят по проверяемой резьбе. Поворотом роликов можно менять размеры скобы, компенсируя износ ее рабочих поверхностей.

Кроме рабочих калибров ПР и НЕ существуют контрольные калибры, которыми пользуются для определения степени износа цельных резьбовых колец. Износ проходного кольца проверяют контрольным калибром-пробкой, имеющим проходную и непроходную стороны (КПР-ПР и КПР-НЕ). Износ непроходного резьбового кольца проверяют соответственно контрольными калибрами КНЕ-ПР и КНЕ-НЕ. Предельный износ калибров-колец проверяют непроходным калибром-пробкой К-И. Для установки на размер регулируемых проходных и непроходных колец используют установочные пробки: для проходных У-ПР, для непроходных У-НЕ.

На производстве применяют целый ряд приборов, использующих раздвижные резьбовые калибры-пробки. В них пробка выполняет роль не предельного калибра, а измерительных губок прибора (рис. 104). Индикаторный прибор с раздвижным калибром-пробкой, состоящий из подвижной 3 и неподвижной 4 губок, изготовленных из частей проходного резьбового калибра, работает следующим образом. Неподвижная губка крепится винтом к сухарю 5, а подвижная — к ролику 2.

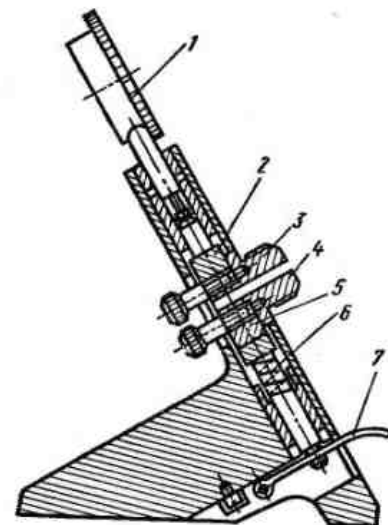


Рис. 104. Индикаторный прибор с резьбовым калибром

Перемещение ролика вызывает изменение показаний по шкале головки 1. Измерительное усилие создается пружиной 6. Прибор настраивают по калибру-кольцу на нуль. При переходе на проверку другой резьбы необходимо менять губки. Прибор позволяет значительно повысить производительность контроля. Здесь нет необходимости в свинчивании детали с калибром, съём и установка деталей происходят быстро с помощью арретира 7.

### Контрольные вопросы

1. Какие основные требования предъявляются к резьбам в соответствии с областью их применения?
2. Какие основные параметры резьбы определяют ее годность?
3. В чем состоит суть поэлементного контроля резьбы?
4. Какими способами можно измерить средний диаметр резьбы?
5. В чем заключается контроль среднего диаметра с помощью проволочек?
6. Как осуществляется контроль среднего диаметра на инструментальном микроскопе?
7. Почему применение ножей позволяет получить более точные данные о параметрах резьбы?
8. Почему на микроскопах резьбы измеряют по двум сторонам профиля (левым и правым)?
9. Какие существуют способы измерения шага наружных резьб?
10. Как определить шаг резьбы с помощью резьбовых шаблонов?
11. Как измерить погрешность шага ходового винта?
12. В чем состоит особенность измерения внутренних резьб?
13. Как измерить средний диаметр внутренней резьбы?
14. Как измерить шаг внутренней резьбы?
15. Что такое комплексный контроль резьбы?
16. Что такое приведенный средний диаметр?
17. Какие конструкции резьбовых калибров вы знаете?

## 8. КОНТРОЛЬ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

В конструкциях машин, станков, приборов и других изделий для передачи движения от источника энергии к исполнительным звеньям широко используют механизмы, состоящие из зубчатых колес. Именно эти механизмы определяют, как правило, качество всего изделия в целом, а поэтому вопросы обеспечения высокого качества зубчатых колес и передач являются весьма важными.

Зубчатое колесо представляет собой достаточно сложное изделие. Качество его определяется точностью многих параметров. Обеспечение этой точности зависит, во-первых, от технического состояния и технологического

уровня зубообрабатывающего оборудования, а, во-вторых, от качества контрольно-измерительных операций, обеспечивающих зубообрабатывающее производство.

Требования к точности изготовления большого числа параметров зубчатых колес не одинаковы и зависят в основном от конкретного назначения колес и передачи в целом. Для передач кинематических цепей станков и точных приборов особо высокие требования предъявляют к параметрам, характеризующим точность передачи движения, т. е. к кинематической точности. В передачах высокоскоростных на первый план выступают параметры, определяющие плавность работы, с целью уменьшения шума, вибраций и износа. Для силовых передач важно строго выдержать параметры, влияющие на условия контакта зубьев. С целью компенсации некоторых погрешностей изготовления реальные передачи работают при условии зазора между неработающими профилями, который называют боковым зазором. Значение этого зазора особенно велико для передач, работающих в условиях больших колебаний температуры и в реверсируемых механизмах.

В ГОСТ 1643—81 «Передачи зубчатые цилиндрические. Допуски» все требования к обеспечению точности параметров зубчатых колес разделены на четыре группы, которые называют нормами точности. ГОСТ предусматривает нормы кинематической точности, нормы плавности, нормы контакта зубьев и нормы бокового зазора.

В первых трех нормах точности допуски на конкретные параметры устанавливаются в зависимости от степени точности. Всего установлено 12 степеней точности. Однако в стандарте оговорены значения параметров только с 3-й по 12-ю степень точности, а наиболее точные, 1-я и 2-я степени, оставлены в качестве резервных.

При изготовлении зубчатых колес не обязательно контролировать все параметры, влияющие на перечисленные выше нормы точности. Однако это не исключает осуществление (кроме окончательного контроля обязательного числа параметров) еще и других видов контроля: профилактического, технологического и активного.

**Окончательный или присмочный контроль** устанавливает, соответствует ли точность изготовленных зубчатых колес условиям работы передачи. На этом этапе осу-

ществляют контроль комплекса показателей, предписанных техническими требованиями в зависимости от назначения и условий работы передачи.

**Профилактический контроль** состоит в проверке состояния технологического оборудования: станков, зажимных приспособлений, режущего инструмента. Он должен проводиться до начала изготовления зубчатых колес. Правильная организация профилактического контроля позволяет не только сократить количество параметров, проверяемых при окончательном контроле, но и перейти к выборочному периодическому контролю отдельных деталей или малых партий. Это разрешено стандартом, который ориентирует на обеспечение качества продукции за счет поддержания точности технологического оборудования.

**Технологический контроль** состоит в поэтапном контроле зубчатого колеса. Он позволяет установить точность отдельных элементов технологического оборудования и в случае необходимости принять своевременные меры для исключения брака.

**Активный контроль** состоит в том, что в процессе обработки измеряют один или несколько параметров. По результатам измерений прибор осуществляет управление технологическим процессом (переключает подачи с черновой на чистовую, прерывает процесс обработки при достижении требуемого размера и т. п.).

Профилактический, технологический и активный контроль должны предшествовать приемочному контролю.

Из зубчатых передач наибольшее распространение получили цилиндрические. Большая часть контрольно-измерительных операций, обеспечивающих подготовку и изготовление зубчатых колес, может быть рассмотрена на примере цилиндрических колес. Целый ряд приборов, используемых при контроле конических и червячных колес, имеют те же принципы, а иногда и те же конструкции, что и для контроля цилиндрических, ГОСТ 5368—81 и ГОСТ 10387—81 определяют типы, основные параметры и нормы точности средств контроля зубчатых цилиндрических передач.

### 8.1. Комплексный контроль зубчатых колес

Комплексная проверка зубчатых колес проводится при их контакте только по рабочим боковым профилям, когда между неработающими боковыми профилями

имеется боковой зазор (при однопрофильном зацеплении), и при контакте зубчатых колес по двум сторонам профилей (в двухпрофильном зацеплении). Контроль осуществляют на специальных приборах, позволяющих определить кинематическую погрешность, циклическую погрешность и погрешность контакта зубьев.

Контроль кинематической погрешности заключается в определении разности действительных и номинальных значений угла поворота проверяемого зубчатого колеса при однопрофильном зацеплении его с образцовым (измерительным) колесом. При комплексном методе контроля осуществляют вращение находящихся в однопрофильном зацеплении проверяемого и измерительного зубчатых колес. Это позволяет контролировать непрерывное изменение погрешности углового положения проверяемого колеса при его повороте. Для того чтобы на результаты контроля не оказывали влияния погрешности измерительного колеса, оно должно быть выполнено, как минимум, на две степени точнее, чем проверяемое. В этом случае его погрешностью можно пренебречь.

Существует целый ряд приборов для контроля кинематической погрешности, но принцип их работы сводится к схеме, представленной на рис. 105.

Проверяемое колесо 6 устанавливают на шпиндель 7, который проходит сквозь отверстие полого шпинделя 8, на котором сидит измерительное колесо 3. Шпиндели не связаны друг с другом и могут свободно проворачиваться вместе с посаженными на них колесами относительно друг друга. Измерительное колесо 3 имеет те же геометрические параметры (модуль, число зубьев, шаг зацепления, угол наклона зуба), что и проверяемое колесо 6. Оба колеса вводятся в однопрофильное зацепление с промежуточным измерительным колесом 1, закрепленным на шпинделе 9. При вращении колеса 1 вместе с ним будут вращаться колеса 6 и 3. Если проверяемое колесо не имеет кинематической погрешности, то вращение колес 6 и 3 будет абсолютно синхронным. При наличии погрешностей углы

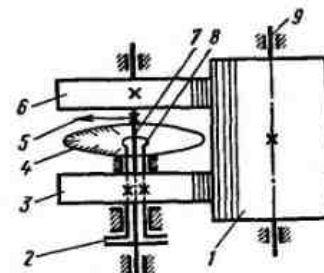


Рис. 105. Схема прибора для комплексного контроля кинематической погрешности

поворота колеса 3 и 6 будут отличаться друг от друга при постоянном вращении колеса 1.

Погрешность можно снимать с помощью указателя 5, закрепленного на шпинделе 7 проверяемого колеса, который показывает абсолютное значение угла рассогласования поворота по градусной шкале 4, закрепленной на шпинделе измерительного колеса. Первые модели приборов для контроля кинематической погрешности имели почти такие же устройства. В настоящее время разность углов поворота колес фиксируют с помощью датчика 2 и записывают самопишущим прибором. Запись получают в виде диаграммы, по которой определяют значенные кинематической погрешности.

При однопрофильном зацеплении на таких же приборах определяют и циклическую погрешность зубчатых колес по периодическим скачкам на диаграмме кинематической погрешности.

На рис. 106 показан прибор для измерения кинематической погрешности зубчатых колес мод. БВ-608к. Принцип работы прибора основан на рассмотренной выше схеме. Прибор станкового типа имеет основание 10, на направляющих которого установлена неподвижная каретка 2. Каретка 1 может перемещаться по направляющим основаниям маховиком 9. На шпинделе каретки 2 устанавливают проверяемое колесо 4 и измерительное 3, а на шпинделе подвижной каретки 1 — широкое промежуточное колесо 5. По линейке 12 и нониусу 11 устанавливают маховиком 9 номинальное межцентровое расстояние между колесами 4(3) и 5. Затем фиксируют каретку винтом 13. При измерении вручную маховиком

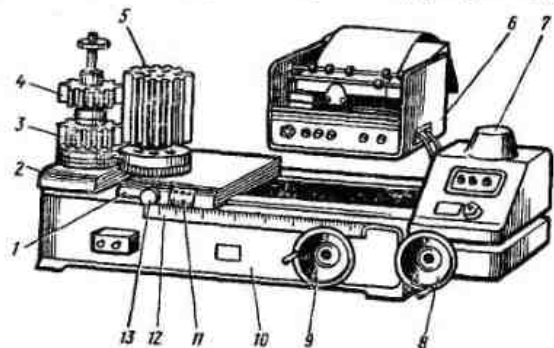


Рис. 106. Прибор для измерения кинематической погрешности зубчатых колес

8 или от привода 7 вращают колесо 5. Самописец 6 вычерчивает диаграмму кинематической погрешности.

В массовом и крупносерийном производстве часто комплексную проверку зубчатых колес осуществляют на приборах, использующих принцип двухпрофильного зацепления.

Наиболее типичен в этом смысле прибор, называемый межцентроммером (рис. 107, а). На оправку подвижной каретки 9 устанавливают измерительное колесо 6. Маховиком винтовой передачи 11 ориентировочно устанавливают по линейке 4 и нониусу 8 номинальное межосевое расстояние между оправками. Точную установку осуществляют с помощью концевых мер или специальных дисков. Фиксируют каретку 9 стопором 10. Измерительную головку 1 ставят в нулевое положение. Грубую установку осуществляют винтом 2. Если вместо головки 1 в приборе используют датчик с самописцем, то на диаграмме делают нулевую отметку. Затем каретку 3 с оправкой отводят влево и на оправку надевают проверяемое колесо 5. Осторожно отпускают каретку 3, и она под действием пружины 7 плотно прижимает проверяемое колесо к измерительному по двум сторонам профиля. В процессе измерения поворачивают измерительное колесо. Погрешности проверяемого колеса вы-

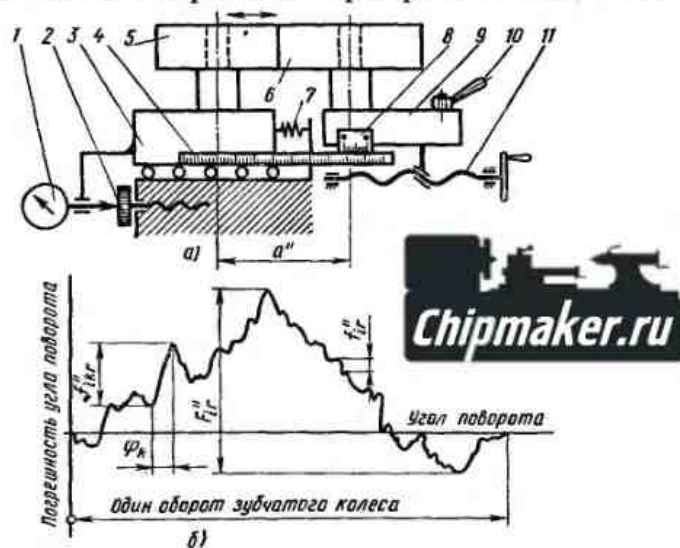


Рис. 107. Межцентроммер

зывают изменения межосевого расстояния  $a'$ , которое определяют по шкале индикатора, либо по диаграмме самописца. Специальные приспособления, монтируемые на каретках 3 и 9, позволяют на этом приборе осуществлять контроль конических, винтовых, червячных колес, червяков и колес с внутренним зацеплением.

На рис. 107, б приведена диаграмма, записанная на межцентромере. По ней определяют погрешности параметров, характеризующих кинематическую точность и плавность работы: изменение межосевого расстояния за один оборот зубчатого колеса  $F''_r$  и на одном зубе  $f''_{ir}$ . Анализируя записанную кривую за один оборот колеса, можно рассчитать также радиальное биение зубчатого венца  $F''_m$ , суммарные погрешности шага зацепления и профиля рабочей поверхности зубьев. Данный прибор позволяет определить смещение исходного контура  $A''_{mv}$  и предельные отклонения межосевого расстояния  $A''_{ae}$  и  $A''_{ab}$ , т. е. осуществить комплектный контроль бокового зазора. Недостатком двухпрофильного контроля является невозможность выяснить, какая из сторон профиля зуба выполнена точнее.

Контакт зубьев характеризуется пятном контакта. Контроль его можно осуществить как в передаче, так

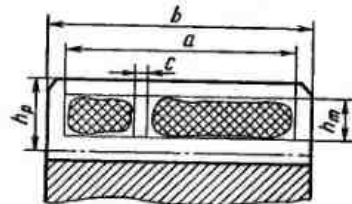


Рис. 108. Контроль контакта зубьев

и на одном колесе. В последнем случае на специальный обкатной прибор устанавливают на номинальном межосевом расстоянии измерительное и проверяемое колеса. Рабочие поверхности зубьев измерительного колеса покрывают тонким слоем краски, после чего производят обкатку пары колес, слегка притормаживая одно

из них. По размеру пятна контакта (рис. 108) определяют полноту контакта зубьев. Контакт зубьев оценивают в процентах по ширине зуба, как отношение  $[(a - c) \cos \beta / b] 100\%$ , где  $\beta$  — угол наклона зубьев колеса (для косозубых колес); и по высоте  $(h_m / h_p) 100\%$ .

## 8.2. Поэлементный контроль зубчатых колес

Применяемые для поэлементного контроля приборы по конструкции делят на накладные Н и станковые С.

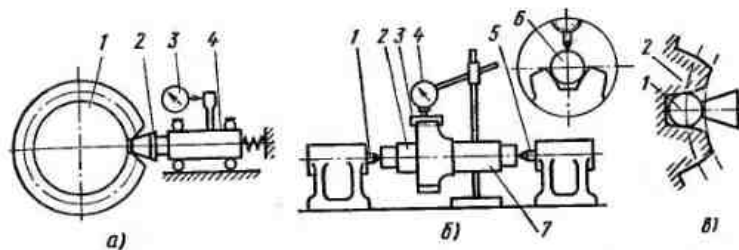


Рис. 109. Контроль радиального биения зубчатого венца

Накладными приборами проверяют, как правило, крупногабаритные детали, которые трудно перемещать и устанавливать на станковые приборы. Однако из-за того, что базой для накладных приборов служит окружность выступов колеса, а не эксплуатационная база (отверстие колеса или вал шестерни), погрешность их больше, чем станковых.

При поэлементном или дифференцированном контроле проверяют соответствие значений отдельных параметров требованиям стандарта. Данные, получаемые при дифференцированном контроле зубчатых колес, позволяют оперативно проводить подналадку технологического оборудования для предупреждения возможного брака.

**Проверку радиального биения зубчатого венца**, характеризующего часть его кинематической погрешности, осуществляют на специальных приборах, называемых биенимерами. Принципиальная схема измерения показана на рис. 109, а. Измерительный наконечник 2, изготовленный в виде усеченного конуса с углом при вершине  $40^\circ$ , вводят во впадину зубчатого колеса 1. С измерительной головки 3 снимают показание. Затем, отводя каретку 4 и поворачивая зубчатое колесо, вводят измерительный наконечник в каждую следующую впадину. За значение радиального биения принимают разность наибольшего и наименьшего показаний головки за оборот. Прибор позволяет контролировать и конические зубчатые колеса.

Контроль радиального биения зубчатого венца 3 можно осуществлять в цеховых условиях, используя контрольные центры 1 и 5, калиброванный ролик 6, стойку с измерительной головкой 4 и оправку 2 (рис. 109, б). Для этого зубчатое колесо надевают на оправку и устанавливают в центрах, используя центровые отверстия оправки. Во впадины колеса последовательно закладывают ролик и берут отсчет по шкале головки. Значение

радиального биения определяют так же, как на биени-  
мере.

Для измерения радиального биения внутреннего зуб-  
чатого венца колеса 2 используют наконечник сфериче-  
ской формы (рис. 109, в). Наконечники сферической  
формы и ролики могут выявлять радиальные погрешно-  
сти обработки только при невыгоднейшем их диаметре.

Радиальное биение зубчатого венца возникает из-за  
непостоянства расстояния между зубчатым колесом  
и обрабатываемым его инструментом. Для уменьшения  
этой погрешности необходимо проверить и устранить ра-  
диальное биение заготовки на оправке. Значительно реже  
наблюдается радиальное биение режущего инструмента.

**Колебание длины общей нормали** контролируют при-  
борами, имеющими две параллельные измерительные  
поверхности и устройство для измерения расстояния ме-  
жду ними (рис. 110).

Для измерения длины общей нормали абсолютным  
методом применяют микрометрические зубомеры типа  
МЗ (рис. 110, а) с ценой деления 0,01 мм и пределами из-  
мерений 0—25; 25—50; 50—75 и 75—100 мм.

Измерение длины общей нормали, а также измерение  
ее колебаний методом сравнения проводят с помощью  
нормалемера (рис. 110, б), который имеет две измери-  
тельные губки — базовую 5 и подвижную 1. Подвижная  
губка соединена передаточным механизмом с измери-  
тельной головкой 2. Базовая губка разрезной втулки  
3 может крепиться в требуемом положении на штанге

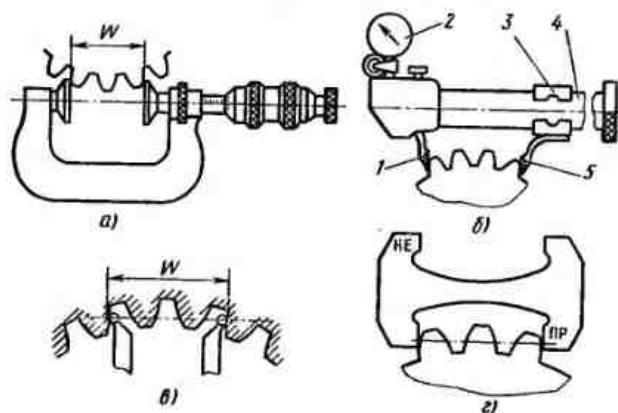


Рис. 110. Контроль длины общей нормали

4 при настройке прибора на нуль по блоку концевых мер.  
Подвижную губку 1 отводят арретиром, губками охваты-  
вают ряд зубьев, отпускают измерительную губку  
и считывают со шкалы отклонение длины общей нор-  
мالي от номинального значения.

Используя сферические измерительные наконечники  
(рис. 110, в), можно измерить длину общей нормали  
методом непосредственной оценки или оценить отклоне-  
ние ее от номинального значения методом сравнения. В ка-  
честве измерительных средств при этом можно использо-  
вать универсальные зубоизмерительные приборы.

Контроль длины общей нормали в крупносерийном  
и массовом производстве осуществляют с помощью  
предельных калибров (рис. 110, г).

**Измерение шага зацепления** (основного шага) произво-  
дится путем определения расстояния между двумя парал-  
лельными плоскостями, касательными к двум одно-  
именным рабочим поверхностям соседних зубьев зубча-  
того колеса. В рассматриваемом примере накладного  
шагомера параллельными плоскостями являются плоско-  
сти, в которых лежат измерительные наконечники 1 и  
4 (рис. 111, а). Измерение расстояния  $P_{bn}$  происходит по  
линии *aa*. Подвижный измерительный наконечник 1 через  
рычажную передачу 2 связан с измерительной головкой  
3. Наконечник 4 неподвижен и является базовым. Перед  
измерением прибор настраивают на нуль по специаль-  
ному приспособлению. В процессе измерения прибор пока-  
чивают относительно опорного наконечника 5. За откло-  
нение от номинального значения шага зацепления  
принимают минимальные показания по шкале головки 3.

**Контроль равномерности шага** заключается в опреде-  
лении отклонений действительного шага от средней ве-  
личины. Для этих целей используют накладные приборы.  
Шаг зубчатого колеса должен измеряться на постоянном  
диаметре. Для этого приборы снабжены специальными  
регулируемыми опорными наконечниками 2 и  
5 (рис. 111, б), с помощью которых прибор базируют на  
цилиндрической поверхности выступов. Прибор имеет  
два измерительных наконечника — неподвижный 6 и под-  
вижный 1. Подвижный наконечник передает отклонения  
шага через рычажную передачу 3 на измерительную го-  
ловку 4. Перед измерением прибор настраивается на  
нуль по одному из шагов проверяемого зубчатого коле-  
са. Прибор позволяет измерять как разность соседних  
шагов, так и накопленную погрешность шагов зубчатого

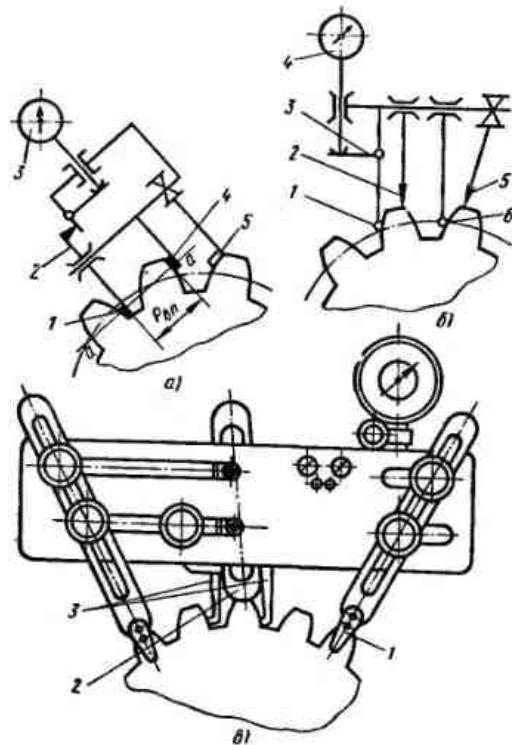


Рис. 111. Схемы (а, б) и конструкция (в) накладных шагомеров

колеса. Накладной шагомер (рис. 111, в) имеет кроме установочного упора 2, опирающегося на цилиндрическую поверхность выступов, еще два упора 1, базирующие прибор по торцовой поверхности зубчатого колеса. Прибор имеет подвижный и неподвижный плоские наконечники 3. Измерение осуществляется в той же последовательности.

Неравномерность шага влияет на плавность работы колеса. Обычно эта погрешность возникает из-за неточности инструмента при обработке колес методом обката или вследствие неточности делительной цепи при обработке методом деления.

Измерение погрешности профиля зубьев осуществляют специальными приборами-эвольвентомерами. В основе

измерения лежит принцип непрерывного сравнения образцовой эвольвенты, воспроизводимой прибором, с действительным профилем измеряемого колеса.

По методу воспроизведения образцовой эвольвенты приборы подразделяют на индивидуально-дисковые и универсальные.

Индивидуально - дисковый эвольвентомер (рис. 112) имеет сменный диск 4 диаметром, равным диаметру основной окружности проверяемого колеса. На одной оси с диском крепится проверяемое колесо 3.

Диск пружинами прижимается к рабочей поверхности линейки 2, установленной на каретке 7. При перемещении каретки винтом 1 линейка, находящаяся в контакте с диском, будет поворачивать его вокруг оси без проскальзывания. В этом случае любая точка диска будет перемещаться относительно соответствующей точки поверхности линейки по эвольвенте. Измерительный наконечник рычага 6 находится в плоскости рабочей поверхности линейки. Если действительный профиль зуба будет отличаться от эвольвенты, то наконечник отклонится и с помощью измерительной головки 8 будет зафиксирована погрешность профиля зуба. Шкала 9 помогает быстро вернуть измерительный наконечник в исходное положение и установить его по диаметру основной окружности. По ней же следят о перемещении каретки. Шкала 5 предназначена для оценки угла поворота проверяемого колеса. Для контроля следующего зуба колесо поворачивают на один угловой шаг, а каретку по шкале 9 перемещают в исходное положение.

Для измерения профиля по другой стороне зуба проверяемое колесо переворачивают на оправке. Главным недостатком этого прибора является необходимость иметь для каждого колеса свой диск. Поэтому этот прибор применяют только в условиях крупносерийного и массового производства.

В мелкосерийном и единичном производстве целесо-

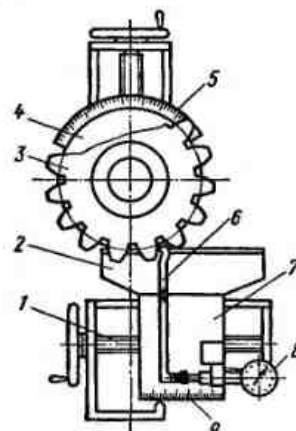


Рис. 112. Эвольвентомер

образнее применять универсальные приборы с постоянным обкатным диском либо с эвольвентным кулачком или другими устройствами, обеспечивающими воспроизведение теоретической эвольвенты. Применение вместо измерительной головки индуктивных датчиков позволяет записать отклонения профиля на диаграмму.

Эвольвентомеры для крупных колес (прямо зубых и косозубых) выпускаются в виде накладных.

Контроль параметров, характеризующих контакт зубьев в передаче: погрешность направления зуба, отклонение контактной линии от прямолинейности и от заданного направления — проводят только в случае невозможности комплексного контроля по пятну контакта. Для поэлементного контроля применяют специальные приборы: ходомеры, контактомеры и т. п.

Одним из основных показателей, определяющих боковой зазор пары цилиндрических колес, является толщина зуба по хорде, которую измеряют зубомерами.

По конструкции зубомеры подразделяют на накладные и станковые. По принципу действия — и штангензубомеры и индикаторно-микрометрические зубомеры.

Штангензубомер (рис. 113, а) имеет две шкалы, одна из которых 5 предназначена для отсчета толщины зуба  $S$  с помощью нониуса 4, а вторая 1 — для установки губок прибора на требуемой высоте  $h$  от вершины зубьев.

Перед измерением упор 3 устанавливают по нониусу 2 на размер, равный высоте  $h$ , и закрепляют в этом положении. Раздвигают измерительные губки и после уста-

новки прибора упором на наружную поверхность измеряют длину хорды, отсчитывая ее полное значение непосредственно по шкале 5 и нониусу 4.

Недостатками штангензубомера являются низкая точность отсчета по нониусу, быстрый износ измерительных губок, влияние на точность измерений погрешности базирования прибора по окружности выступов.

Индикаторные зубомеры обеспечивают большую точность измерения.

В массовом производстве для контроля толщины зуба на рабочем месте используют специальные предельные калибры-скобы. Размеры проходной и непроходной сторон соответствуют предельно допустимым размерам толщины зуба по постоянной хорде. Постоянство высоты измерения обеспечивается глубиной впадины между рабочими поверхностями скоб. При контроле годной детали между проходной стороной скобы и боковыми сторонами зуба должен быть зазор. При использовании непроходной стороны зазор должен наблюдаться над вершиной зуба.

Тангенциальный зубомер типа НЦ контролирует толщину зуба по смещению исходного контура. Опорной базой при измерении является окружность выступов. Измерительные поверхности двух губок 3 (рис. 113, б) составляют двойной угол зацепления, равный  $40^\circ$ . Ось измерительного стержня делит этот угол пополам. Измерительные губки перемещают в направляющих корпуса 5 винтом 2, имеющим участки с правой и левой резьбой. Это обеспечивает симметричную установку губок относительно оси измерительного стержня головки 7. Губки фиксируют стопорными винтами 1. Сферический измерительный наконечник крепится к стержню головки цанговым зажимом 6.

Перед измерением зубомер настраивают на размер по образцовому ролику диаметром  $1,2037 m$ , где  $m$  — модуль проверяемого колеса. Зубомер накладывают на ролик и, смещая винтом 2 губки 3, доводят измерительный наконечник до контакта с роликом и создают предварительный натяг наконечника в 1–2 оборота стрелки. Затем ставят нуль по шкале. При контроле измерительные губки, воспроизводящие боковой профиль впадины исходной рейки, накладывают на зуб 4 и по отклонению индикатора судят о величине смещения действительного исходного контура относительно номинального положения.

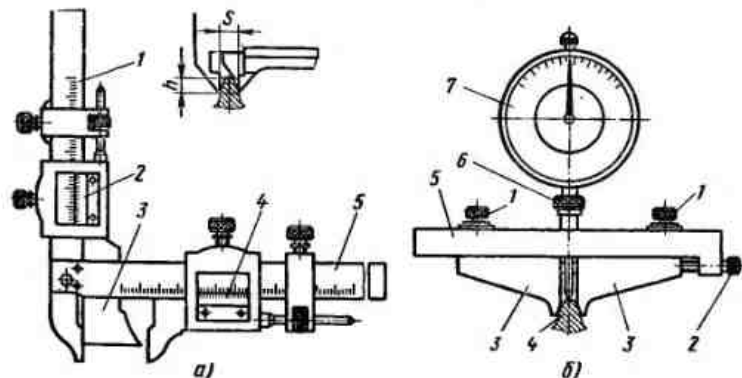


Рис. 113. Штангензубомер (а) и тангенциальный зубомер (б)



Боковой зазор в зубчатой передаче с большим модулем можно определить непосредственно, пользуясь набором щупов или свинцовой пластиной. Пластину закладывают между зубьями, прокатывают колеса и, измерив после этого толщину пластины, определяют боковой зазор.

Боковой зазор можно оценить косвенно путем измерения предельных отклонений измерительного межосевого расстояния или измерением наименьшего отклонения длины общей нормали.

### 8.3. Кинематомеры

Для проверки зуборезных станков и различных машин широко применяют специальные устройства, позволяющие осуществлять непрерывную проверку кинематической точности механизма в процессе работы.

Методы, предполагающие проверку в статическом положении, вносят в процесс измерения погрешности, связанные с различием во взаимном положении узлов и механизмов машин во время работы и при остановках. Это различие бывает вызвано изменениями зазоров и натягов, толщины слоя смазки и деформациями отдельных деталей при работе механизмов.

Приборы, применяемые для этих целей, называются кинематомерами. Они используют фотоэлектрический, магнитоэлектрический, электрический и другие методы преобразования и сравнения образцовых сигналов и сигналов, отражающих кинематику объектов при их работе.

Принцип работы этих приборов состоит в следующем. На входном валу червячного редуктора, кинематическая точность которого проверяется, устанавливают диск с магнитным покрытием, на котором с большой точностью нанесены магнитные деления-риски. Магнитная головка считывает эти риски с вращающегося образцового диска и записывает их на другой диск, установленный на оси червячного колеса. Число магнитных импульсов, записанных на этом диске, будет в  $i$  раз меньше, чем на образцовом, где  $i$  — передаточное отношение редуктора. Червячное колесо (вследствие кинематической погрешности) будет вращаться неравномерно при равномерном вращении червяка. Следовательно, на поверхность диска сигналы с образцового устройства будут перенесены не на равном расстоянии друг от друга. После режима записи включают считывание. Сигналы

с обоих дисков считывают теми же магнитными головками. С учетом передаточного отношения их сравнивают в специальной электронной схеме прибора. Рассогласование этих сигналов будет характеризовать кинематическую погрешность редуктора.

Такие же диски можно установить на зубофрезерном станке, поместив образцовый диск на шпинделе, а второй на столе станка. Зная передаточное отношение кинематической делительной цепи, связывающей вращение шпинделя с поворотом стола, можно определить кинематическую погрешность всей делительной цепи станка. По результатам обработки записи, в соответствии со специальной методикой, можно найти составляющие кинематической погрешности и оценить влияние различных элементов делительной цепи станка на значение этой погрешности.

Магнитные диски могут быть заменены дисками с точно расположенными электрическими контактами, а магнитные головки на специальные точечные контакты. В этом случае кинематическую точность определяют по одновременности замыкания электрических цепей. Смещение моментов замыкания двух цепей будет характеризовать кинематическую погрешность передачи.

#### Контрольные вопросы

1. Какие нормы точности зубчатых колес установлены стандартом?
2. Что такое норма точности и степень точности?
3. Какие виды контроля зубчатых колес существуют?
4. В чем принципиальная разница между комплексным и элементарным контролем?
5. Какие погрешности могут быть выявлены в результате комплексного контроля?
6. Какие основные приборы применяются при комплексном методе контроля?
7. Какими средствами и как можно измерить радиальное биение зубчатого венца?
8. Какими средствами и как можно измерить отклонения и длину общей нормали?
9. Как осуществляется контроль шага зацепления и контроль равномерности шага?
10. На каком принципе основаны приборы для измерения погрешности профиля зубьев?
11. Какими приборами и как можно проверить показатели, определяющие боковой зазор в зубчатом зацеплении?
12. На чем основано действие кинематомеров?

## 9. МЕХАНИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ

Под механизированным контролем понимают такой контроль, при котором одна из операций осуществляется механизмом. Чаще всего механизмируют подачу деталей на измерительную позицию и транспортировку ее из зоны измерения. Сам же процесс измерения выполняют вручную.

При полуавтоматическом контроле процесс измерения производится автоматически, а остальные операции (транспортировка, базирование и т. п.) выполняют вручную.

Автоматический контроль обеспечивает все необходимые операции без участия оператора. Загрузка, выгрузка, установка детали на измерительную позицию и контроль осуществляются автоматически.

К средствам механизации и автоматизации контроля относят приборы автоматического и активного контроля, контрольно-измерительные автоматы и полуавтоматы, координатно-измерительные машины и контрольно-измерительные приспособления.

В основе действия таких средств положены механические, электроконтактные, пневматические и другие измерительные преобразователи (датчики). Выбор того или иного типа преобразователя зависит от требуемой точности, значений и предельных отклонений контролируемых размеров, технологического оборудования, применяемого при обработке заготовок, и от ряда других факторов. Чтобы правильно ориентироваться в выборе наиболее эффективного средства измерения в каждом конкретном случае, необходимо знать принципы их работы, метрологические возможности, достоинства и недостатки.

### 9.1. Пневматические средства измерения

Пневматические приборы находят широкое применение при контроле размеров наружных и внутренних цилиндрических поверхностей, размеров малых отверстий, конусов, геометрической формы деталей, расстояний между осями отверстий, малых перемещений, суммы или разности отклонений нескольких размеров. Пневмоизмерения нашли применение в приборах автоматического и активного контроля, в контрольно-измерительных и сортировочных автоматах. Эти приборы обладают вы-

сокой точностью измерений, надежностью в работе, простотой обслуживания и низкой стоимостью. Цена делений отсчетных устройств этих приборов может достигать значения 0,0001 мм. Поскольку пневматический метод измерения может быть бесконтактным, то он позволяет с высокой точностью измерять размеры деталей, изготовленных из эластичных материалов, и легкодеформируемые изделия. Кроме этого, пневматический метод позволяет передавать информацию о контролируемом размере на значительные расстояния. Это позволяет располагать в зоне измерения только миниатюрную измерительную оснастку, а отсчетное устройство помещать в удобное для оператора место. К недостаткам приборов такого типа относится узкий диапазон измерений (до 0,2 мм), необходимость источников сжатого воздуха и специальной аппаратуры для очистки его от влаги, механических примесей и стабилизации давления. Пневматические приборы в зависимости от рабочего давления делят на приборы низкого и высокого давления.

Принцип действия всех пневматических приборов основан на следующем положении. Если находящийся в камере (воздухопроводе) под давлением воздух выпускать через небольшое отверстие в атмосферу, то количество вытекаемого в единицу времени воздуха (расход) будет зависеть от давления в камере и диаметра (точнее, площади) отверстия. Если же путем подкачки воздуха создать в камере постоянное давление, то расход воздуха через отверстие будет зависеть только от размеров последнего. В пневматических приборах отверстие, через которое пропускается воздух, называют соплом. Если рядом с соплом поставить какой-нибудь предмет, мешающий выходу воздуха, то давление в камере возрастет. Оно будет тем больше, чем ближе мы будем подносить этот предмет к торцу сопла, и будет падать с увеличением зазора между соплом и предметом. Такое сочетание сопла и предмета получило название сопло-заслонка. При пневматических измерениях в качестве заслонки может быть использована поверхность измеряемой детали или элемент прибора, который меняет свое положение относительно сопла с изменением контролируемого размера.

Пневматические приборы по принципу преобразования делят на приборы, измеряющие давление воздуха, и приборы, измеряющие его расход. Приборы, работающие по первому принципу, измеряют зазор между соп-

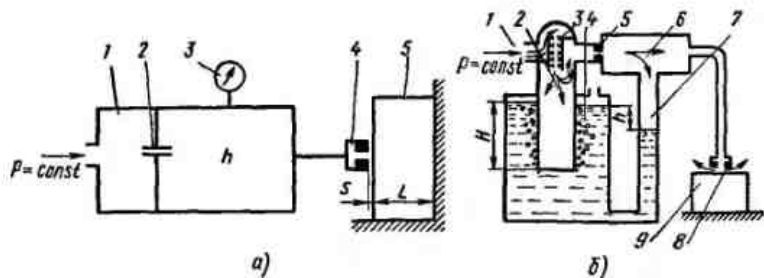


Рис. 114. Пневматические приборы манометрического типа

лом и заслонкой по изменению давления в камере. Изменение давления регистрируют манометром, шкала которого проградуирована в единицах длины. Такие приборы называют манометрическими.

Принципиальная схема приборов этого типа приведена на рис. 114, а. В рабочую камеру 1 подают воздух, предварительно очищенный от пыли, влаги, масла и т. д. Давление в этой камере поддерживают постоянным. На входе в правую часть камеры установлено сопло 2, которое называют входным. Если в рабочей камере 1 давление постоянно, а площадь сопла 2 не меняется, то количество воздуха, вытекающее из этого сопла в правую часть камеры, будет также постоянным. Из правой части камеры воздух выходит через сопло 4 в атмосферу. При этом его расход будет зависеть от зазора  $S$  между соплом 4 и заслонкой (поверхностью детали) 5. Измерительное давление  $h$ , регистрируемое манометром 3 в камере между входным и измерительным соплами, будет, так же как и расход, меняться в зависимости от зазора  $S$  или зависеть от размера  $L$  детали.

Наиболее распространенным прибором манометрического типа является пневматический длиномер низкого давления «Солекс» (рис. 114, б).

Сжатый и очищенный воздух через трубку 1 поступает в более широкую трубку 2, погруженную в воду на глубину  $H$ . Баллон 4, заполненный водой, соединен с атмосферой. В верхней части широкой трубки 2 находится специальное устройство 3 с пятью последовательно расположенными соплами, служащее для ограничения поступления воздуха из магистрали в прибор. Сжатый воздух вытесняет воду из трубки 2, а лишний воздух, поднимаясь пузырьками вверх, выходит через воду в ат-

мосферу. Таким образом в трубке 2 создается постоянное давление, которое будет зависеть только от глубины ее погружения в воду (от размера  $H$ ), т. е. описанная часть прибора является своеобразным редуктором-стабилизатором и служит для подготовки воздуха. Под рабочим давлением, равным высоте водяного столба  $H$ , воздух через входное сопло 5 поступает в камеру 6 и выходит через измерительное сопло 8. Давление в камере 6 будет меняться с изменением зазора  $S$  между торцом измерительного сопла 8 и контролируемой деталью (заслонкой) 9. Это давление можно измерить по высоте  $h$  — разнице уровней воды в баллоне 4 и в стеклянной трубке 7, сообщающейся сверху с камерой 6, а внизу с баллоном 4.

Стеклянная трубка 7 в данном случае является водяным манометром. Для удобного считывания значений размера  $h$  за стеклянной трубкой 7 ставят шкалу. Из-за бурления воды в баллоне 4 размер  $h$  все время колеблется, затрудняя отсчет. Для устранения этого недостатка в схему введено специальное устройство 3 с соплами.

Серийно выпускаются пневматические длиномеры низкого давления мод. 330 с несколькими (до 7) стеклянными трубками, работающими независимо друг от друга, для одновременного измерения нескольких параметров.

Вместо водяного манометра в приборах, работающих по принципу измерения давления воздуха, применяют пружинные манометры (рис. 115). Из сети воздух поступает в фильтр-стабилизатор 1, где он очищается от механических примесей и влаги, а также стабилизируется до давления 0,2 МПа, которое контролируется манометром

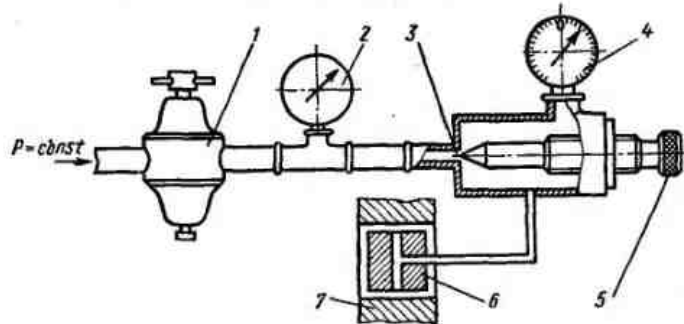


Рис. 115. Пневматический прибор с пружинным манометром

2, проградуированным в единицах давления. Затем воздух через регулируемое входное сопло 3 подают к измерительным соплам пневматической пробки 6, с помощью которой измеряют размер отверстия в детали 7. Контроль измерительного давления ведут по манометру 4, проградуированному в микрометрах. Так как измерения пневматическими приборами осуществляют методом сравнения с мерой, то перед началом работы прибор следует настроить на нуль по образцовой детали или мере. Для этого вместо контролируемой детали 7 ставят образцовую меру или деталь и винтом 5 игольчатого вентиля регулируют площадь поперечного сечения входного сопла таким образом, чтобы стрелка манометра 4 заняла нулевое положение.

Наиболее удобны и эффективны пневматические приборы дифференциального типа. Кроме обычных измерений линейных размеров они позволяют оценивать разность двух размеров, например определять овальность, конусность и т. п.

Принцип работы дифференциального прибора (рис. 116, а) заключается в следующем. В качестве чувствительного элемента в этом приборе применены сильфоны 10 и 6, у которых один конец запаян, а другой связан с соответствующей измерительной ветвью. Запаянные торцы сильфонов связаны жесткой рамкой 2, установленной на плоских пружинах.

Перед измерением прибор выставляют в нулевое положение. Для этого под измерительное сопло 8 помещают либо образцовую деталь, либо блок концевых мер 9, размер которого равен номинальному размеру измеряемой детали. Стабилизированный и очищенный от примесей и влаги воздух подается в центральную ветвь прибора, поступает в сильфоны и выходит из них в атмосферу через измерительное сопло и сопло противодействия, сечение которого меняется винтом 7. Этим винтом осуществляют выравнивание давления в камерах сильфонов, т. е. добиваются одинакового расхода воздуха на измерительной позиции и в узле противодействия.

При измерении вместо блока концевых мер ставят измеряемую деталь. Изменение ее размера по сравнению с установочной мерой вызывает изменение зазора  $h$  и, следовательно, нарушает равенство давлений в сильфонах. Разность давлений вызывает смещение рамки 2 и изменение показаний рычажно-зубчатого механизма 3 со стрелкой 4 по шкале 5.

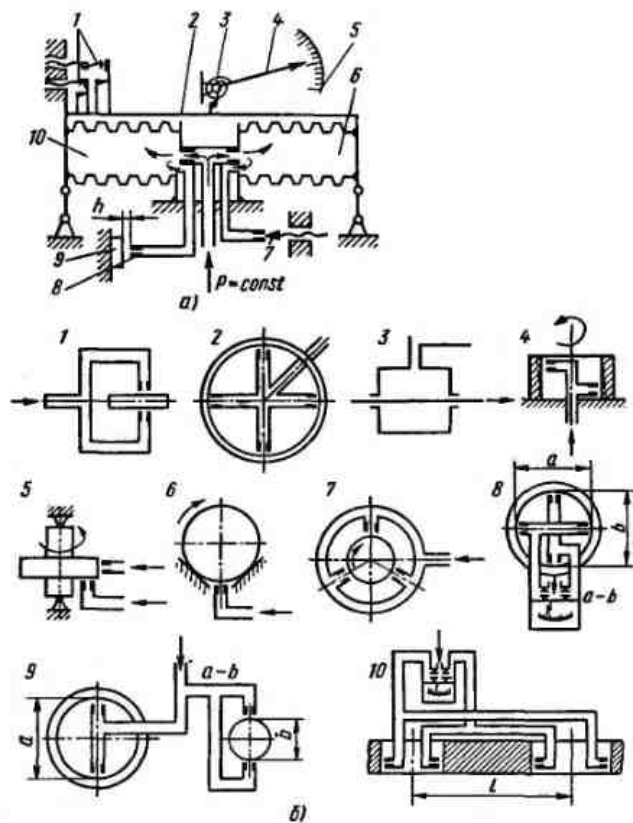


Рис. 116. Дифференциальный сильфонный прибор (а) и типовые схемы измерения наружных и внутренних размеров (б)

Это устройство можно использовать для автоматического или активного контроля. В схеме с этой целью предусмотрены регулируемые электрические контакты 1, позволяющие снимать и передавать информацию о размере контролируемой детали.

Если правильно выбрать параметры схемы и упругих элементов, то погрешность дифференциальных сильфонных приборов не превысит десятых долей микрометра.

На рис. 116, б приведены возможные варианты применения пневматических приборов для измерения линейных размеров: 1 — измерение толщины изделия; 2 — определе-

ние среднего диаметра отверстия; 3 — измерение диаметра проволоки в процессе изготовления или перемотки; 4 — определение перпендикулярности оси отверстия базовому торцу; 5 — измерение торцового и радиального биений; 6 и 7 — измерение огранки; 8 — определение овальности отверстия; 9 — определение разности размеров двух сопрягаемых деталей; 10 — определение расстояния между осями отверстий.

Приборы, работающие по принципу измерения расхода воздуха, в качестве чувствительного элемента используют легкий поплавков, помещенный в коническую стеклянную трубку, расположенную вертикально. К нижней части стеклянной трубки подводится подготовленный для измерений воздух; из верхней части воздух поступает к измерительному соплу. В зависимости от зазора между соплом и заслонкой изменяется расход воздуха, проходящего через стеклянный конус. Это изменение расхода вызывает подъем или опускание легкого поплавка, взвешенного в струе воздуха. Перемещения поплавка фиксируют по шкале, нанесенной на стенке стеклянного конуса. По этому принципу работают пневматические длиномеры.

## 9.2. Электроконтактные средства измерения

Электроконтактные преобразователи преобразуют линейные перемещения измерительного стержня в электрические сигналы (команды) посредством замыкания или размыкания электрических контактов.

Электроконтактные преобразователи подразделяют на предельные и амплитудные. Первые осуществляют формирование сигналов при достижении контролируемым размером заданных предельных значений. Вторые применяют для контроля отклонения формы и выдают сигналы, когда отклонение от правильной геометрической формы детали достигло допустимого значения.

В приборах активного контроля применяют только предельные электроконтактные преобразователи. Их же чаще применяют и в средствах автоматического контроля.

На рис. 117 показан двухпредельный электроконтактный преобразователь мод. 228. Измерительный стержень 8 может перемещаться в направляющих бронзовых втулках, запрессованных в корпус 4. Вилка 3 с регули-

руемым пазом, в который входит запрессованный в корпус направляющий штифт, предохраняет измерительный стержень от поворота вокруг своей оси. Ход измерительного стержня в процессе настройки датчика регулируют микрогайкой 2, которую по окончании настройки отпускают на 1,5–2 оборота. Измерительное усилие создается пружиной 6, которая крепится одним концом к корпусу преобразователя, а другим — к хомутику 7. Сверху в расточке корпуса винтом можно крепить измерительную головку для визуального наблюдения. Измерительный наконечник 1 головки контактирует с верхним торцом измерительного стержня преобразователя. Пластмассовая планка 11 с рычагом 12 и настроечными микровинтами 10 и 13 образует самостоятельный узел. Рычаг 12 подвешен на кресте из плоских пружин и имеет по концам два контакта. Верхний закреплен жестко, а нижний, поджатый плоской пружиной 15, может перемещаться, что позволяет рычагу поворачиваться на небольшой угол после замыкания контакта. В торцы винтов запрессованы контакты 14. Настраечные микровинты 10 и 13 имеют барабаны с ценой деления 0,002 мм. Связь рычага 12 с измерительным стержнем осуществляется через хомутик 7 с твердосплавным ножом на конце, опирающимся на корундовый штифт 5. Штифт 5 находится на некотором расстоянии от оси поворота рычага, которое является плечом рычага 12. Перемещение измерительного стержня вызывает поворот рычага и замыкание или размыкание контактов.

Настройку датчика осуществляют по блокам концевых мер с размерами, соответствующими предельным размерам контролируемой детали. Помещая под измерительный наконечник блоки концевых мер, поворотом на-

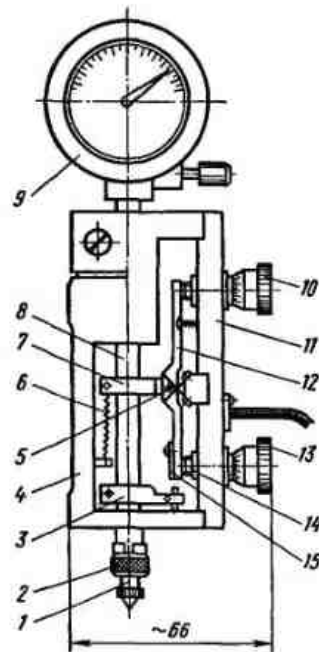


Рис. 117. Электроконтактный преобразователь

строечных микровинтов 10 и 13 добиваются такого положения, при котором малейший выход размера за границы допуска вызывает замыкание соответствующих контактов. Для визуального контроля преобразователь может оснащаться индикатором часового типа 9.

Рассмотренный преобразователь используют в основном в многомерных контрольных приспособлениях и в контрольно-сортировочных автоматах для сортировки деталей на годные, брак исправимый и брак неисправимый, т. е. на три группы.

Для разбраковки деталей на четыре группы выпускаются трехпредельные преобразователи.

Основными недостатками электроконтактных преобразователей являются подгорание контактов и необходимость их зачистки, а также чувствительность к попаданию влаги в корпус прибора.

### 9.3. Индуктивные и емкостные средства измерения. Механотроны

Принцип работы рассматриваемых в этом разделе измерительных средств основан на преобразовании линейных или угловых перемещений измерительного наконечника в электрический сигнал. Эти устройства состоят из первичного преобразователя, электронного блока, который с помощью соответствующей схемы усиливает сигнал и преобразует его в форму, удобную для индикации или регистрации. В машиностроении для автоматизации процесса измерения линейных и угловых размеров получили распространение индуктивные, емкостные и электронные преобразователи.

**Индуктивные преобразователи** (рис. 118, а, б, в) являются устройствами, которые преобразуют линейные или угловые перемещения измерительного стержня 1, связанного с якорем 2, в изменение индуктивности катушки 3.

Изменение индуктивности может происходить либо в результате изменения зазора между якорем и сердечником — магнитопроводом катушки (рис. 118, а), либо в результате изменения площади перекрытия якорем поверхности сердечника (рис. 118, б, в).

Для получения возможно большей индуктивности сердечник катушки изготавливают из ферромагнитного материала.

Преобразователи, работающие по принципу изменения зазора, обладают повышенной чувствительностью,

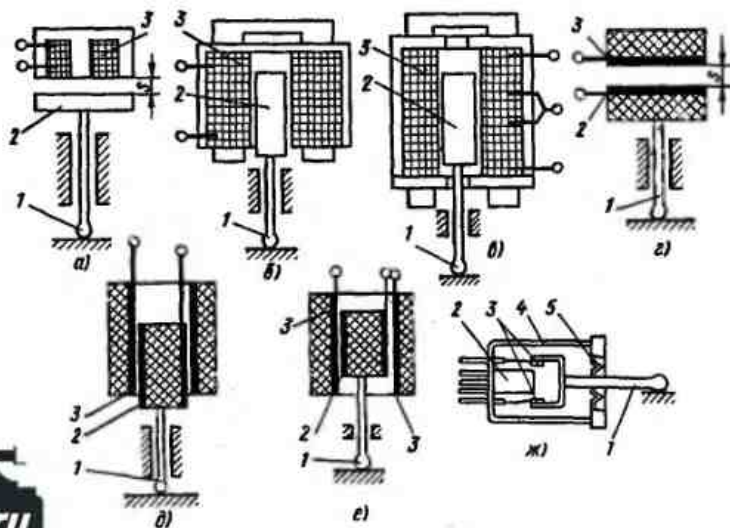


Рис. 118. Индуктивные, емкостные и механотронные преобразователи

но небольшим диапазоном измерения (порядка 1 мм). Цена деления отсчетных устройств приборов этого типа составляет от 0,05 до 5 мкм.

Индуктивные преобразователи могут быть простыми (рис. 118, а, б) и дифференциальными (рис. 118, в).

Простой преобразователь содержит одну измерительную ветвь, а дифференциальный — две. В дифференциальных преобразователях перемещение якоря, связанного с измерительным наконечником, вызывает изменение индуктивности одновременно в двух одинаковых катушках. Эти изменения равны друг другу, но имеют разные знаки. Такая конструкция менее восприимчива к колебаниям частоты и напряжения питающей сети и к изменениям температуры окружающей среды, так как они вызывают одинаковые отклонения характеристик отрицательной и положительной цепей. Кроме этого, дифференциальные датчики более чувствительны, нежели простые.

По конструктивному оформлению преобразователи подразделяют на осевого и бокового действия.

Преобразователи осевого действия имеют, как правило, диаметр соединительного цилиндра 8 или 28 мм.

Преобразователи с присоединительным размером 28 мм используют катушки с большой индуктивностью, позволяющие обеспечить либо малую цену деления (до 0,02 мкм), либо повышенный диапазон измерений (до 4 мм). В ряде случаев эти преобразователи можно использовать без электронных усилителей.

В емкостных приборах в качестве преобразователя используют конденсатор, емкость которого меняется в соответствии с линейными перемещениями измерительного стержня. Электронный блок представляет собой устройство, предназначенное для измерения емкости.

Емкостный преобразователь — это плоскопараллельный (рис. 118, *з*) или цилиндрический (рис. 118, *д, е*) конденсатор, у которого имеется подвижная обкладка 2, соединенная с измерительным стержнем 1, и неподвижная обкладка 3. Обе обкладки разделены между собой воздушным зазором.

Изменение емкости в этих преобразователях может происходить либо за счет изменения расстояния между обкладками (рис. 118, *з*), либо за счет изменения площади их взаимного перекрытия (рис. 118, *д, е*).

Емкостные преобразователи могут быть простыми (рис. 118, *з, д*) и дифференциальными (рис. 118, *е*). Простые, работающие по методу изменения площади взаимного перекрытия (рис. 118, *д*), представляют собой два соосных цилиндра (наружный и внутренний), разделенных воздушным зазором, значение которого значительно меньше их диаметров.

В дифференциальных преобразователях можно использовать оба метода изменения емкости. При переменном зазоре они имеют в неподвижной части четное число плоских обкладок круглой или прямоугольной формы и как минимум одну обкладку, соединенную с измерительным стержнем и расположенную между ними. Дифференциальные преобразователи с переменной площадью взаимного перекрытия также имеют две неподвижных и одну подвижную обкладку цилиндрической формы. Дифференциальные датчики, несмотря на сложность конструкции, применяют чаще, так как они обладают более высокой чувствительностью и менее восприимчивы к внешним воздействиям.

Емкостные датчики, обладая рядом достоинств (высокой чувствительностью, большим диапазоном измерений, малым измерительным усилием), имеют ограниченное применение. Препятствием к их широкому примене-

нию является их большое электрическое сопротивление, большая чувствительность к воздействиям внешней среды, особенно к перепадам температуры, и влияние соединительного кабеля преобразователя на точность измерения. Кроме этого, емкостные преобразователи при промышленной частоте 50 Гц обладают недостаточной чувствительностью, что вызывает необходимость применения генераторов высокой частоты для их питания.

Рассмотренные индуктивные и емкостные преобразователи обеспечивают измерения контактным методом. Однако они могут обеспечить и бесконтактные измерения. В этих случаях измеряемая деталь играет роль либо подвижного якоря (у индуктивных преобразователей), либо подвижной обкладки (у емкостных).

Механотрон представляет собой электровакуумный прибор, содержащий в схеме подвижный электрод, перемещаемый механическим путем. Механотроны строятся на базе диода или триода. Применяемый чаще вакуумный диод имеет неподвижный катод и подвижный анод. Механотроны изготавливают в виде стеклянного баллона 4 (рис. 118, *ж*), в одном торце которого расположены электрические выводы, а в другом закреплена мембрана 5, изготовленная из стальной ленты. Сквозь мембрану проходит измерительный стержень 1. Катод 2 вместе с нитью накала крепится к стеклянному баллону, а аноды 3 — к внутреннему концу стержня 1. Перемещение стержня изменяет расстояние между анодом и катодом, вызывая этим изменение анодного тока. Следует, однако, иметь в виду, что при достижении некоторого минимального расстояния между анодом и катодом анодный ток механотрона перестает зависеть от перемещений стержня и лампа переходит в режим насыщения.

Механотроны весьма чувствительны к изменению температуры, вызывающей деформацию анода и катода и изменение зазора между ними. Поэтому механотроны необходимо включать за 20—30 мин до начала работы для прогрева.

Диапазон измерений механотрона составляет от  $\pm 100$  до  $\pm 1000$  мкм, цена деления может составлять десятые доли микрометра. Точность механотрона зависит от стабильности напряжения питания и характеристик ламп. Механотроны применяют наряду с индуктивными и емкостными преобразователями. Несмотря на большие по сравнению с этими преобразователями габариты они имеют более простую измерительную схему. Механо-

троны часто применяют в автоматических средствах послеоперационного контроля.

#### 9.4. Фотоэлектрические и радиоактивные средства измерения

К фотоэлектрическим измерительным средствам относятся приборы, которые в качестве преобразователя используют фотоэлементы (фотоприемники). Фотоэлементы преобразуют световые сигналы в электрические. Значение электрического сигнала зависит от освещенности фотоприемника. Фотоприемники по способу преобразования светового сигнала делятся на два вида. К первому относят фотоэлементы, которые при освещении их активной поверхности вырабатывают электрический ток (фототок). Ко второму относят фотоэлементы, меняющие свое сопротивление при освещении их приемной поверхности. В серийно выпускаемых нашей промышленностью фотоэлектрических приборах преимущественно применяют фотоэлементы второго вида, которые называют фоторезисторами.

Фотоэлектрические приборы позволяют осуществлять измерения контактным и бесконтактным методами. На рис. 119,а приведена схема бесконтактного измерения фотоэлектрическим прибором размера детали. Этот метод иногда называют методом интенсивности. Он заклю-

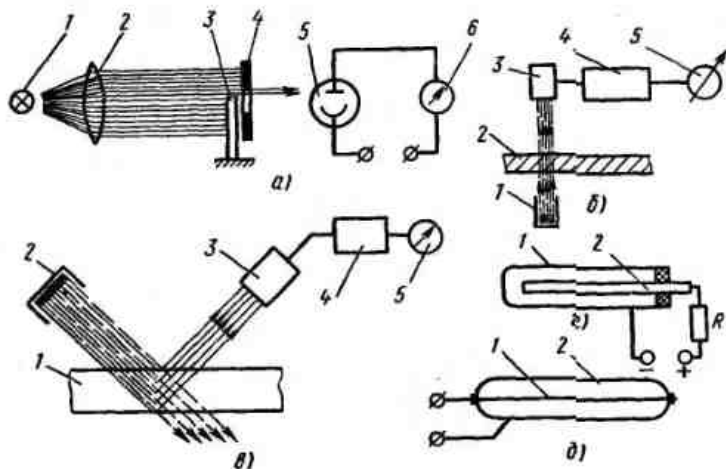


Рис. 119. Фотоэлектрические и радиоактивные средства измерения

чается в том, что в зависимости от размера детали или от ее перемещения перекрывается часть лучей, идущих от источника света к фотоприемнику. Это вызывает изменение тока в электрической цепи, по которому судят о размере детали или о ее перемещении.

Световой поток от источника 1 через оптическую систему 2 и щелевую диафрагму 4 падает на фотоэлемент 5. Если на пути следования лучей поставить объект 3, то в зависимости от его размера часть лучей не попадет на приемную поверхность фотоэлемента, что вызовет изменение тока в цепи и будет зафиксировано по шкале амперметра 6.

При контактном методе измерения вместо детали 3 используют заслонку, соединенную с измерительным стержнем прибора.

Применение фотоэлементов для измерения размеров детали крайне ограничено, так как преобразователь имеет довольно низкую точность. Это объясняется тем, что на результаты измерения влияют посторонний свет, падающий на элемент, колебания яркости источника света и колебания питающего напряжения.

Фотоэлектрические преобразователи в приборах автоматического контроля решают чаще всего задачу фиксации светового потока (есть свет — нет света), т. е. играют роль реле.

По этой схеме работают фотоэлектрические приборы мод. ЦФМ, применяемые для сортировки деталей на различные размерные группы. В основу конструкции этого прибора положен пружинно-оптический механизм оптикатора (см. § 3.8). В корпусе рядом со шкалой установлены фотоспротивления на расстоянии интервала шкалы друг от друга. Световой «зайчик», отражаясь от зеркальца, расположенного на витой ленточной пружине, освещает штрих на шкале и одновременно соответствующий фоторезистор. Поместив в цепь фоторезисторов специальные реле, можно управлять заслонками лотков, направляя по ним детали соответствующих размеров.

Необходимо помнить, что длительная работа приводит к старению фоторезисторов, выражающемуся в том, что сопротивление начинает изменяться незначительно с изменением освещенности. Поэтому рекомендуется периодически их выключать. После перерыва характеристика восстанавливается.

Радиоактивные приборы основаны на использовании свойств радиоактивных излучений. Для измерения ли-



нейных размеров используют методы, основанные на поглощении радиоактивных излучений при прохождении через материалы или на их частичном отражении. Радиоактивные приборы применяют для измерения толщины стенок или изделий, доступ к которым возможен только с одной стороны.

На рис. 119, б, в показаны две схемы измерения толщины изделия радиоактивными приборами. От источника излучения 1 (рис. 119, б) поток радиоактивных лучей, пройдя через контролируемую деталь 2, попадет в приемник 3, который формирует электрический сигнал в зависимости от интенсивности излучения. Интенсивность же пройденных через деталь лучей будет зависеть от ее толщины и от свойств материала. При постоянных свойствах материала интенсивность будет зависеть только от толщины.

Вторая схема (рис. 119, в) обеспечивает контроль толщины изделия 1 по интенсивности радиоактивного потока, частично отразившегося от границ проверяемого изделия. Измеряя интенсивность отраженного потока, можно судить о толщине изделия.

В обеих схемах электрические сигналы, выработанные приемником 3, усиливаются и преобразуются в удобный для регистрации или индикации вид электронным блоком 4 и контролируются по отсчетному устройству 5.

Основными узлами радиоактивного прибора являются источник излучения 2 и приемное устройство.

Источники излучения изготавливают обычно в виде металлических герметических ампул небольших размеров, внутри которых помещено небольшое количество вещества (сплавы, металлы, соли), содержащего радиоактивный изотоп. В машиностроении используют в основном источники  $\beta$  и  $\gamma$  излучений.  $\beta$ -Лучи применяют в устройствах автоматического контроля толщины, плотности и веса материала методом поглощения радиоактивных лучей. Методом обратного рассеяния можно определять толщину покрытий или концентрацию отдельных компонентов в веществе.

На интенсивность излучения не влияют внешние условия (давление, температура, магнитное поле и т. п.).

Приемники излучения, применяемые в радиоактивных приборах, используют в своей основе принцип либо ионизации в газах, либо ионизации в твердых телах. По первому принципу регистрацию интенсивности излучения

осуществляют с помощью ионизационных камер или счетчиков, а по второму — люминесцентных счетчиков.

Ионизационная камера (рис. 119, з) представляет собой металлический сосуд 1, внутри которого расположен металлический стержень 2. Полость сосуда заполняют каким-либо газом, чаще всего воздухом с нормальным давлением. К корпусу и стержню присоединены проводники электрической цепи. При облучении газ, находящийся в камере, ионизируется. В результате разности потенциалов сосуда и стержня положительные ионы газа перемещаются к стенкам сосуда, а отрицательные — к стержню. Таким образом, при облучении приемника в электрической цепи баллона возникает ток.

Широкое применение в устройствах автоматического контроля получили галогенные счетчики (рис. 119, д). Счетчик напоминает конденсатор, имеющий в качестве одной обкладки тонкую нить 1, изготовленную из вольфрама, железа или молибдена. В качестве другой цилиндрической обкладки используют либо проводящий слой, нанесенный на внутреннюю поверхность стеклянного баллона 2, либо вставленный в баллон тонкостенный металлический цилиндр.

Полость баллона заполнена инертным газом (неоном или аргоном) со специальными примесями, позволяющими счетчику надежно регистрировать две следующие друг за другом частицы (кванты). В этом случае галогенные добавки к газу позволяют быстро погасить разряд в счетчике, вызванный первой частицей, чтобы успеть зафиксировать новую. Галогенные счетчики имеют практически неограниченный срок службы, не боятся перегрузок и позволяют регистрировать до  $15^5$  импульсов в минуту.

В настоящее время в приборах автоматического контроля начали применять сцинтилляционные счетчики, основанные на принципе возникновения свечения в некоторых веществах (фосфорах) под действием радиоактивного излучения. Конструкция таких счетчиков сложна и требует применения высокостабильных источников постоянного тока.

## 9.5. Приборы автоматического и активного контроля

Повышение уровня автоматизации машиностроения, интенсивное внедрение в производство станков с чис-

ловым программным управлением и робототехнических комплексов обязывают искать пути повышения эффективности контрольно-измерительных операций, прежде всего вследствие их механизации и автоматизации и сокращения доли ручного труда. Причем основное внимание уделяется механизации и автоматизации контроля в условиях единичного и мелкосерийного производства. Эта задача может быть решена применением на контрольных операциях роботов или измерительных машин, управляемых от ЭВМ и способных быстро перестроиться на контроль других деталей в условиях безлюдной технологии.

Заводы и предприятия, выпускающие продукцию крупносерийно или массово, уже сегодня имеют достаточно высокий уровень автоматизации контрольных операций. Особенно в этом плане выделяются Государственные подшипниковые заводы, оснащенные большим количеством контрольно-сортировочных автоматов, приборов активного контроля, подналадчиков и т. д.

Все приборы автоматического контроля по их целевому назначению делят на приборы пассивного (послеоперационного) контроля и приборы активного (технологического) контроля.

Первая группа приборов служит либо для определения числовых значений проверяемых параметров, либо для контроля годности изделий. Как правило, эти процессы носят констатирующий характер и сводятся к разбраковке деталей на годные и брак.

Ко второй группе относят приборы активного контроля, которые позволяют оперативно использовать результаты измерения для управления технологическим процессом. Активный контроль чаще всего осуществляют в процессе изготовления. Однако он правомерен и непосредственно после изготовления детали при условии выработки сигнала на управление металлорежущим станком.

В приборах автоматического и активного контроля широко применяют рассмотренные выше преобразователи. Кроме них в средствах автоматического и активного контроля применяют предельные калибры и универсальные измерительные головки.

Приборы активного контроля предупреждают появление бракованных изделий и позволяют осуществить многостаночное обслуживание, так как освобождают ра-

бочего от необходимости внимательно следить за точностью размерной обработки.

По способам контроля за текущим значением размера обрабатываемой детали приборы активного контроля делятся на приборы прямого и косвенного контроля. При прямом контроле измерительный прибор измеряет размер обрабатываемой детали. При косвенном методе размер детали контролируют по положению обрабатывающего инструмента относительно детали или по перемещению узла станка, несущего инструмент.

Прямой контроль значительно точнее, так как позволяет исключить из процесса измерения ряд погрешностей, например износ режущего инструмента, деформации системы СПИД и др.

Приборы активного контроля позволяют по результатам измерения в процессе изготовления не только определять момент прекращения обработки по достижению размером установленного значения, но и изменять режимы резания путем переключения, например, подачи с черновой на чистовую или на выхаживание (обработку без подачи).

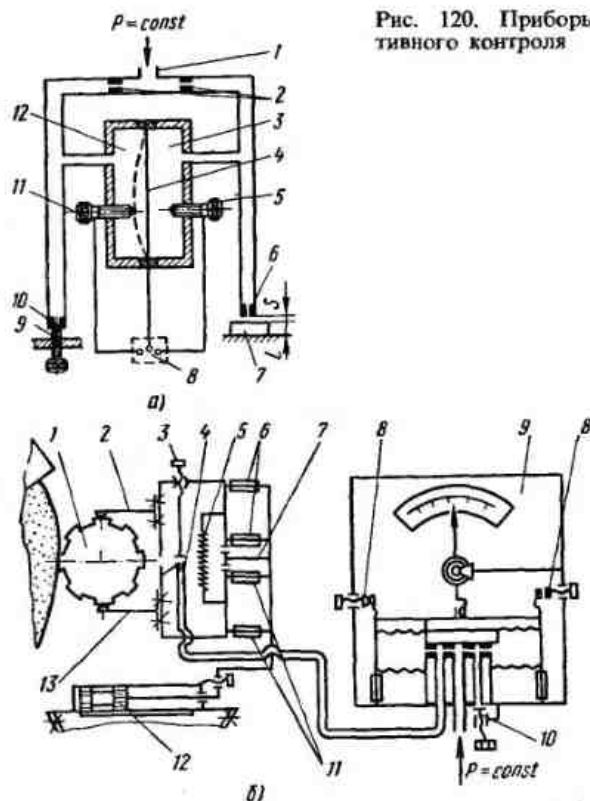
При использовании универсального оборудования, не имеющего органов, воспринимающих команду от прибора (например, универсальные плоско-, кругло- и внутришлифовальные станки), активный контроль можно осуществлять визуально по отсчетному устройству. В этом случае рабочий следит по шкале прибора за изменением размера и сам управляет станком.

Приборы активного контроля используют в основном на финишных операциях и, в частности, на шлифовальных. Часто в приборах используют дифференциальные пневматические и индуктивные преобразователи.

На рис. 120 приведены два варианта использования пневматических дифференциальных преобразователей мембранного и сильфонного типов в схемах активного контроля.

Прибор (рис. 120, а) использует в качестве упругого элемента мембрану. Воздух под стабилизированным давлением (0,2 МПа) поступает во входной патрубок 1 измерительного прибора и через входные сопла 2 расходится по воздухопроводу в камеры 12 и 3. Камера 3 соединена шлангом с измерительным соплом 6, установленным в зоне обработки детали 7, а камера 12 посредством воздухопровода соединена с регулируемым соплом 10.

Рис. 120. Приборы активного контроля



При настройке прибора на рабочую позицию станка устанавливают образцовую деталь 7, размер  $L$  которой обеспечивает между ней и соплом зазор  $S$ . Винтом 9 противодавления регулируют давление в камере 12 до выравнивания его с давлением в камере 3 и настраивают контакт 5 таким образом, чтобы он коснулся металлической мембраны 4. Сигналы снимаются с зажимов 8.

Затем вместо образцовой детали загружают на позицию заготовку. Так как ее размеры превышают значение  $L$ , то размер  $S$  уменьшится, уменьшится и расход воздуха через сопло 6, следовательно, давление в камере 3 возрастет и мембрана прогнется. В процессе обработки уменьшение высоты заготовки  $L$  вызовет увеличение зазора  $S$  и расхода воздуха. Давление в камере 3 будет падать. При достижении настроечного размера замкнется

контакт 5 и даст команду на конец обработки. Винт 11 можно отрегулировать таким образом, что разрыв электрической цепи между ним и мембраной в процессе обработки будет использован как сигнал на изменение подачи.

На рис. 120, б приведена схема прибора активного контроля, применяемого при обработке валов с гладкими и прерывистыми поверхностями на круглошлифовальном станке. Прибор устанавливают на столе станка и с помощью гидравлического подводящего устройства 12 перемещают в положение „Измерение“.

Измерительное устройство выполнено в виде скобы с плавающими губками 2 и 13, контактирующими с обрабатываемой деталью 1. Обе губки имеют независимую подвеску на плоских пружинах 6 и 11. Внутри корпуса к одной из губок прикреплен винт-заслонка 3, позволяющий осуществить тонкую настройку прибора на размер, а к другой — измерительное сопло 4. Измерительные наконечники губок выполнены в виде твердосплавных вставок цилиндрической формы. Пружина 5 создает измерительное усилие. Упор 7 не позволяет измерительным наконечникам глубоко провалиться в разрывы поверхности при шлифовании шлицевых валков. Упор 7 установлен так, что возможное западание наконечников в пазы составляет 0,01–0,015 мм. Это предохраняет измерительные наконечники от жестких ударов о выступы шлицевого валика. За счет своей инерционности прибор не реагирует на эти «провалы». В качестве показывающего и командного устройств в данной схеме применен дифференциальный сильфонный прибор 9. Он имеет винт противодавления 10, осуществляющий настройку на размер, и регулируемые электрические контакты 8, используемые для формирования команд с целью управления технологическим циклом станка.

Разнообразие существующих конструкций приборов активного контроля затрудняет их подробное рассмотрение. Однако структура этих приборов практически одинакова. Они состоят из отдельных блоков-устройств, которые по выполняемым функциям разделяются на измерительные устройства с теми или иными измерительными преобразователями и отсчетно-командные устройства.

Основными достоинствами приборов активного контроля являются: высокая производительность обработки, достигаемая за счет многостаночного обслуживания

и контроля размеров без остановки станка; возможность предупреждения брака; улучшение условий труда станочников.

## 9.6. Контрольные автоматы и координатно-измерительные машины

**Контрольные автоматы** составляют особую группу автоматических измерительных средств послеоперационного контроля и представляют собой приборы для автоматического приема, ориентирования, измерения и транспортирования изделий. Контроль изделий с помощью этих приборов подразделяют на разбраковку и сортировку.

Разбраковка предполагает распределение деталей на группы «брак исправимый», «брак неисправимый» и «годные». При сортировке годные детали разделяют на несколько размерных групп для последующей селективной сборки. Детали, изготовленные с большими допусками, в процессе сортировки разбивают на группы с небольшой разностью предельных отклонений. Это позволяет впоследствии обеспечить высокую точность их сборки и функционирования в узлах.

Контрольные автоматы применяют в крупносерийном и массовом типах производств. Их конструкции обусловлены конфигурацией, габаритами и конкретными параметрами измеряемых деталей. Их отличает большое разнообразие компоновок и схем измерения.

Основными элементами автоматов являются загрузочные, транспортирующие, измерительные, запоминающие, исполнительные устройства и приводы.

Загрузочные устройства осуществляют хранение, ориентацию в пространстве и периодическую выдачу контролируемых деталей. Их изготавливают в виде магазинов или бункеров. Магазины более просты по конструкции, но требуют ручной укладки и ориентирования в них деталей. Бункерные устройства позволяют принимать детали «навалом». Бункера имеют специальные устройства, позволяющие осуществлять автоматическую ориентацию и поштучную выдачу деталей на транспортирующие устройства в соответствии с циклом работы автомата.

Транспортирующие устройства обеспечивают доставку деталей от загрузочного устройства на измерительные позиции. В автоматах используют два типа

транспортирующих устройств. Первый тип основан на перемещении деталей под действием их собственного веса. Второй тип более надежен и основан на перемещении деталей принудительно.

В транспортирующих устройствах первого типа используют наклонные или вертикальные лотковые системы. В устройствах второго типа — либо вращающиеся транспортирующие диски с гнездами по периферии для размещения в них деталей, либо ползуны, приводимые в движение рычажно-кулачковыми приводами. Вращающиеся диски более производительны, так как не имеют обратного вспомогательного хода в отличие от ползунков.

Измерительные устройства являются главными узлами автоматов. Они содержат базирующие элементы и средства измерения, которые выбираются в зависимости от веса, габаритов, конфигурации измеряемой детали, от требований к точности измерения и схемы измерения. В качестве измерительных средств в автоматах применяют предельные калибры, клиновые калибры, электроконтактные, пневматические, индуктивные и фотоэлектрические преобразователи. Выбор принципа преобразования определяется требованиями к точности измерения, допуском на измеряемые размеры и производительностью автомата. Деталь при измерении может находиться в покое или перемещаться. Второй вариант более производителен, но менее точен. Измерительные преобразователи могут взаимодействовать с деталью непосредственно или с помощью промежуточных рычагов, подвешенных на плоских пружинах. При измерении нескольких параметров детали, в целях уменьшения габаритов и упрощения схемы, стараются измерения их провести на одной позиции.

Запоминающие устройства применяют в автоматах, где процесс измерения и сортировки происходит последовательно. Как правило, когда деталь подходит к сортировочному устройству, измерительную позицию уже прошло несколько деталей. Поэтому запоминающее устройство призвано сохранять информацию о размере конкретной детали до момента подхода ее к устройствам разбраковки или сортировки. Эти устройства могут запоминать время одного цикла работы автомата (кратковременные) или время нескольких циклов (долговременные). Вторые устройства применяют в автоматах, имеющих несколько измерительных позиций. Они осно-

ваны на электромеханическом, перфорационном и магнитном способах записи информации.

Исполнительные устройства предназначены для распределения деталей по лоткам, отсекам, бункерам в соответствии с результатами контроля. Наибольшее распространение получили исполнительные устройства с наклонными лотками, по которым детали перемещаются под действием собственного веса. В дне лотка расположены заслонки, управляемые электромагнитами. При получении команды соответствующая заслонка открывается и деталь проваливается в кассету (шахту, бункер), отведенную для деталей этого размера. В автоматах исполнительные устройства могут иметь вертикальные лотки и горизонтальные с принудительным перемещением. Иногда на горизонтальных лотках вместо заслонок применяют стрелки, которые по типу железнодорожных направляют детали по различным путям.

Приводы контрольных автоматов содержат электрическую часть и механическую. В электрическую часть входят электродвигатель и релейная схема. Механическая часть содержит передачи и управляющее устройство. Все автоматы предназначены, как правило, для контроля только одной конкретной детали и работают по жесткому циклу, т. е. последовательность и продолжительность всех операций и движений постоянны.

Управляют циклом с помощью кулачковых распределительных валов или специальных командоаппаратов. Кулачковые валы, вращаясь от электродвигателя, за время одного цикла делают полный оборот. Все движения исполнительных звеньев станка, их продолжительность, скорость, взаимная согласованность определяются профилями кулачков и их взаимным расположением на распределительном валу.

Командоаппараты в принципе те же кулачковые валы, но воздействуют они не на рычажные механизмы (как в первом случае), а на электрические контакты, включение и выключение которых кулачковым валом командоаппарата обеспечивает необходимую последовательность включения исполнительных электромагнитов и преобразователей.

На рис. 121 приведены схемы контрольных автоматов, работающих по разным принципам. Автомат (рис. 121, а) имеет механическую измерительную систему для сортировки шариков подшипников. Он содержит бункер 1, откуда шарики по одному попадают в гнезда транспорти-

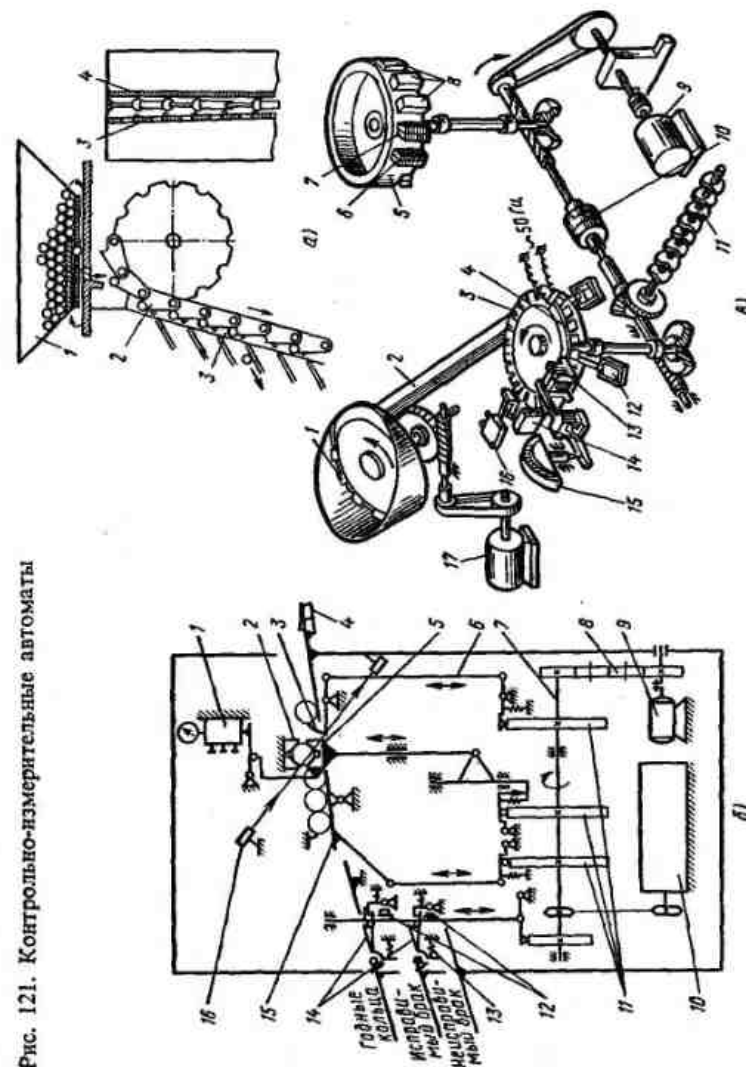


Рис. 121. Контрольно-измерительные автоматы

рующего устройства 2, выполненного в виде цепи. Цепь перемещается между двумя наклонными линейками 3 и 4. Линейка 4 выполнена с гладкой поверхностью, а линейка 3 имеет на поверхности наклонные ребра, расположенные через одинаковые интервалы. Поверхности линеек расположены под углом друг к другу и образуют сужающуюся к низу щель. Это устройство иногда называют клиновым калибром, так как расстояние между ребрами линейки 3 и плоскостью линейки 4 образуют щели, которые в принципе являются последовательно расположенными калибрами с убывающими предельными размерами. Настройка автомата на размер сортировочных групп производится изменением угла клина, образованного поверхностями линеек. Шарики, расположенные в гнездах цепи, перемещаются сверху вниз между линейками. Встречая ребро (расстояние от которого до гладкой линейки меньше диаметра шарика), шарик задерживается и по ребру скатывается в отводящий лоток. Перенастраиваемый автомат позволяет производить рассортировку шариков диаметром от 4 до 10 мм с разностью размеров сортировочных групп от 1 до 10 мкм с производительностью 15–18 тыс. шариков в час.

На рис. 121, б показан разбраковочный автомат, контролирующий кольца подшипников. Установленный непосредственно за бесцентрово-шлифовальным станком он может стать средством активного контроля, т. е. позволит осуществлять периодическую подналадку станка или (при измерении подряд 3–5 бракованных колец) останавливать станок. Поскольку принцип бесцентрового шлифования наружных поверхностей не предполагает ощутимого разброса размеров соседних колец, шлифуемых на проход, то контроль на автомате осуществляется выборочно, например каждое третье или (в зависимости от настройки) пятое кольцо.

Автомат работает следующим образом. Контролируемые кольца поступают по наклонному лотку с путевым выключателем 4. Измерение не начинается до тех пор, пока в лотке не наберется 3–5 колец и последнее не включит путевой выключатель. Количество колец в партии регулируют положением путевого выключателя. При срабатывании путевого выключателя 4 включается электродвигатель 9, который через зубчатую передачу 8 начинает вращать распределительный вал 7 с установленными на нем кулачками 11. Каждый из кулачков с помощью толкателей и рычагов управляет соответ-

ствующими органами. Так, первый кулачок справа через рычаг 6 управляет работой отсекателя 3, второй — перемещает измерительную призму 5, третий — поворачивает лоток 15 и четвертый — управляет работой сортировочного устройства. Распределительный кулачковый вал через цепную передачу связан с валом командоаппарата 10. После того как кулачковый распределительный вал начинает вращаться, отсекатель 3, управляемый первым кулачком, открывает путь кольцам. Они прокатываются на лоток 15, последнее кольцо оказывается на измерительной позиции и перекрывает луч света, направляемый на фотоэлемент источником света 16. Фотореле срабатывает, подтверждая наличие кольца на измерительной позиции, и автомат в этом случае продолжает работу. От второго кулачка измерительная подвижная призма 5 перемещается вверх, захватывает с лотка 15 последнее кольцо и подводит его к неподвижной измерительной призме 2. Относительное положение этих призм, определяемое размером кольца, контролируется трехпредельным электроконтактным преобразователем 1. Одновременно с началом перемещения призмы 5 приводится в движение отсекатель 3, который задерживает поступление колец в качающийся лоток 15. В зависимости от размера контролируемого кольца по команде от электроконтактного преобразователя включаются (или не включаются) электромагниты 12, управляющие заслонками 14. Если кольцо признано годным, то оба электромагнита включены и не дают заслонкам открыться. В этом случае вся партия колец скатывается по верхнему лотку в сборник годной продукции. Если кольца имеют диаметр больше предельного и могут быть обработаны вторично, то верхний электромагнит выключается, под действием пружины 13 верхняя заслонка открывается и партия колец проваливается на средний лоток и направляется в сборник деталей, подлежащих доработке. При размере кольца, меньшем предельно допустимого, оба электромагнита отключаются, открываются обе заслонки и кольца проваливаются на первый «этаж» в лоток исправимого брака.

Погрешность контроля на этом автомате не превышает 0,0015 мм, но требует регулярной его подстройки через каждые 4 ч работы.

Автомат (рис. 121, в) предназначен для контроля и последующей сортировки роликов на 14 групп: десять групп годных и четыре группы брака — исправимый по

длине и диаметру и неисправимый по длине и диаметру.

Ролики, подлежащие контролю, засыпают навалом в бункер 1, имеющий вращающийся от автономного электродвигателя 17 диск с ячейками для роликов. Из бункера ролики (по две штуки) попадают в наклонный накопитель 2, откуда по одной штуке поступают в пазы постоянно вращающегося диска 3 и подаются вначале на позицию 14, где осуществляется контроль ролика по длине, а затем на позицию 13 для контроля диаметра.

Информация о результатах контроля детали на 14 и 13 позициях передается на запоминающее устройство, выполненное в виде барабана 5, на цилиндрической поверхности которого закреплена кольцевая магнитная лента. Диск 3 и барабан 5 вращаются синхронно от электродвигателя 9 через две одинаковые червячные передачи, соединенные жесткой муфтой 10.

Длина роликов контролируется трехпредельным электроконтактным преобразователем 16. Информация о соответствии размера по длине конкретной группе разбраковки записывается в виде сигнала на одной из дорожек магнитной ленты с помощью соответствующей записывающей головки блока записи 6. Фотоэлектрический многодиапазонный преобразователь 15 с помощью рычажной передачи измеряет диаметр ролика. Данные этих измерений записываются в виде сигнала на определенной дорожке соответствующей головкой второго блока записи 7. Взаимосвязь электрических цепей автомата осуществляется кулачковым валом 11 командоаппарата.

В момент подхода ролика к сортировочному устройству 4 одна из головок 8 считывает с магнитной ленты результаты контроля этой детали и (в зависимости от размеров диаметра и длины) происходит включение и выключение электромагнитов переменного тока, управляющих заслонками. Ролики направляются в приемные отсеки 12 в соответствии с размерной группой.

**Координатно-измерительными машинами (КИМ)** называют автоматические средства для измерения линейных и угловых размеров, а также для измерения отклонения формы и расположения поверхностей и осей сложных корпусных деталей.

КИМ позволяет осуществлять перечисленные виды измерений в двух координатах  $x$  и  $y$  (рис. 122, а), в трех координатах  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  (рис. 122, б) и в четырех координатах  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  плюс поворот на угол  $\varphi$  в плоскости  $XOY$ .

КИМ работают в двух режимах. Они либо переме-

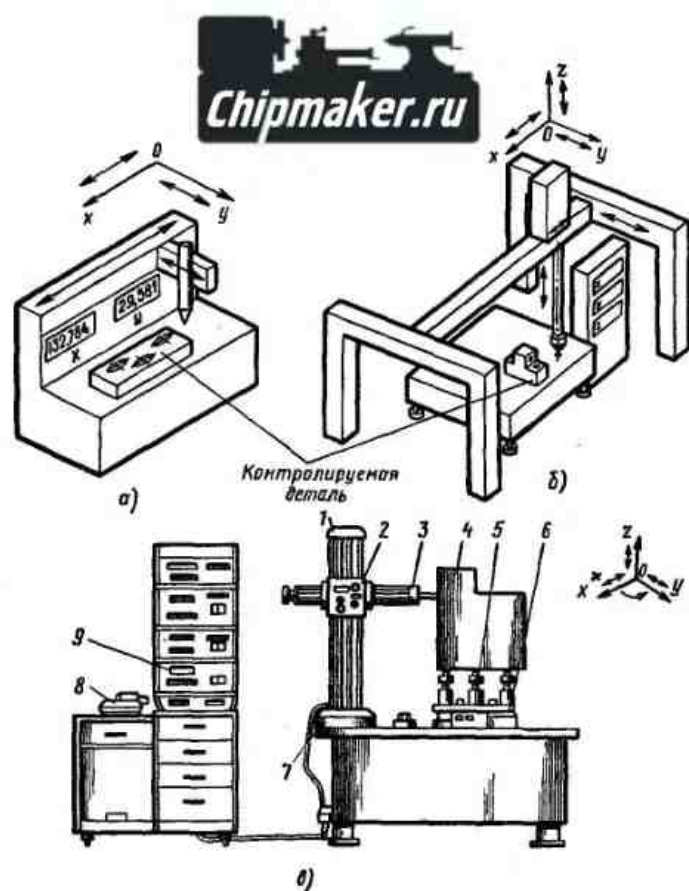


Рис. 122. Координатно-измерительные машины

щают измерительный наконечник до контакта с измеряемой поверхностью и с помощью счетных устройств определяют ее положение в системе координат, либо измерительный наконечник по заданной программе перемещается в точки, соответствующие номинальным значениям измеряемых размеров, а отсчетные устройства позволяют оценить отклонения положения действительных поверхностей от номинального значения. Чаще КИМ работают в первом режиме.

Основными узлами машин являются направляющие, по которым перемещается измерительная каретка с наконечником, отсчетные и счетно-решающие системы.

Для уменьшения погрешности измерения КИМ имеют либо направляющие качения, либо аэростатические направляющие. Аэростатические направляющие высокоточных машин иногда изготавливают из твердых каменных пород, не подверженных (в отличие от металлических) температурным деформациям.

В качестве отсчетных устройств в КИМ используют специальные устройства — индуктосины. Они представляют собой электрическую машину, у которой статор развернут в виде линейки с нанесенными печатным способом обмотками на ее поверхности. Для этих же целей могут применяться и растровые фотоэлектрические преобразователи.

Современные КИМ оснащены ЭВМ, которые осуществляют обработку результатов измерений, пересчет значений измеренных размеров в зависимости от положения произвольно расположенной на столе машины измеряемой детали, печатание результатов измерений с указанием действительных значений измеренных размеров или их отклонений от заданных значений и их цифровую индикацию на специальных табло. Кроме этого, ЭВМ руководит перемещениями каретки с измерительным наконечником, обеспечивая последовательное автоматическое касание измерительного наконечника всех поверхностей, подлежащих контролю.

Раньше эта операция осуществлялась в соответствии с предварительно составленной программой, введенной в ЭВМ. Существенным недостатком этого метода являлись затраты времени на написание программы, ее запись на программноноситель и отладку. Все это требовало привлечения к процессам измерения программистов.

Программы составлялись для каждого типоразмера деталей. Современные конструкции машин позволяют оператору без программы быстро обучить машину измерениям интересующих параметров конкретной детали. Для этого надо вручную переместить каретку с измерительным наконечником, касаясь поверхностей, которые необходимо проконтролировать. Машина запоминает эти движения и сама записывает их в виде управляющей программы, которую потом использует для измерения аналогичных деталей. При необходимости эта программа записывается в память машины и может быть использована в любое время. Координатно-измерительные машины находят широкое применение и при разметке корпусных деталей по программе.

Координатно-измерительная машина ВЕ-111 (рис. 122, е) позволяет проводить измерения и разметку по четырем координатам. Измеряемую деталь 4 устанавливают на самоустанавливающихся домкратах 5 поворотного стола 6, осуществляющего только поворот детали вокруг вертикальной оси. Перемещения по осям  $X$  и  $Z$  устройства 3 с измерительным наконечником или разметочной головкой осуществляются с помощью каретки 2, которая поднимается и опускается по направляющим колонки 1. На ней имеются направляющие, которые обеспечивают перемещение штанги с устройством 3 в горизонтальном направлении по оси  $Y$ . Для измерений по оси  $X$  вся колонка перемещается по направляющим основания 7. Перемещение каретки 2 по оси  $Z$  осуществляется вручную, а по осям  $X$  и  $Y$  — с помощью электродвигателя. Значения измеренных размеров по четырем координатам считывают с цифрового отсчетного устройства 9 ЭВМ или печатаются на бумажной ленте пишущей машинки 8.

Данная машина позволяет измерять или размечать детали размером  $750 \times 460 \times 630$  мм.

Существующие модели координатно-измерительных машин позволяют измерять и размечать детали размерами от 400—500 мм до 10—16 м. Наибольшее распространение имеют машины для измерения деталей не более 500—1000 мм.

#### Контрольные вопросы

1. В чем разница между механизированным, полуавтоматическим и автоматическим контролем?
2. На чем основано действие пневматических средств измерений?
3. На чем основана работа пневматических приборов манометрического типа?
4. Как устроены дифференциальные приборы?
5. Какие вы можете привести варианты применения пневматических приборов для различных схем измерения?
6. Какую функцию выполняют электроконтактные преобразователи и какие типы этих приборов существуют?
7. На чем основан принцип работы индуктивных преобразователей и какие схемы преобразования они используют?

#### 10. ТЕХНИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ

Техническое перевооружение промышленности требует внедрения новых, более совершенных измерительных средств, использующих современную электрон-



ную и вычислительную технику, цифровую индикацию измеряемых величин и систему активного воздействия на точность и стабильность технологических процессов. Основная задача, стоящая сегодня перед работниками технического контроля, — это предупреждение брака. Поэтому они должны знать не только основы метрологии и технику измерения, но и хорошо ориентироваться в тонкостях механообработки и слесарного дела, чтобы вовремя выявить причину возможного появления брака.

### 10.1. Особенности контроля в сборочных цехах

Слесарные работы осуществляются рабочими вручную с применением разнообразного инструмента, в том числе и механизированного. Наиболее распространенными видами работ при этом являются: плоская и простанственная разметка, рубка, правка, гибка, разрезание металла, опиливание, сверление, зенкерование, развертывание, нарезка резьбы, распиливание, припасовка, шабрение, притирка и доводка.

Основной особенностью контроля в сборочных цехах является необходимость контроля самого процесса сборки и поэлементной проверки качества каждой из слесарных операций. Поскольку брак при слесарной обработке детали, прошедшей уже механическую обработку, обходится дорого и очень часто является неисправимым, основное внимание контролеров должно быть направлено на его предупреждение. Для этого контролер должен четко представлять, какие виды брака возможны на каждой из слесарных операций, чем они могут быть вызваны и как их предупредить. Кроме изделий контролеру приходится контролировать инструмент, которым пользуется слесарь, а иногда и приемы, используемые им, при выполнении той или иной операции. Рассмотрим основные виды брака и методы их предупреждения при слесарных работах.

При разрезании металла возможен косой разрез, несоблюдение заданных размеров, в том числе и из-за ошибок, допущенных при разметке, разрезание не по риске, повреждение поверхности заготовки при зажиме ее в тисках. Для предупреждения последнего рекомендуется зажимать заготовку в тисках, оборудованных накладными губками из мягких металлов.

Наиболее распространенными видами брака при опи-

ливании деталей и распиливании отверстий являются неровности поверхности и завалы краев. Это происходит из-за неправильного выбора напильника, из-за отсутствия определенных навыков или вследствие слабого зажима заготовки.

При сверлении отверстий их поверхность может получаться грубой и иметь следы обработки. Такое происходит, как правило, при использовании тупого или неправильно заточенного сверла, при большой или неравномерной подаче, недостаточном охлаждении сверла. Во избежание этих дефектов необходимо работать заточенным и проверенным по шаблону сверлом, уменьшить величину подачи и обеспечить подвод охлаждающей жидкости к сверлу.

Если отверстия при сверлении получаются больше, чем задано, то необходимо, в первую очередь, проверить размер сверла микрометром, проверить симметричность заточки и положение поперечной кромки. Она должна находиться по центру относительно режущих кромок. Кроме этого, причиной такого дефекта может стать биение или люфты шпинделя сверлильного станка или дрели. Чтобы предупредить этот вид брака, необходимо пользоваться правильно заточенными сверлами требуемого номинального диаметра и отрегулировать зазоры в шпинделе.

В результате неправильной разметки, неправильной установки детали или ее слабого закрепления может произойти смещение оси отверстия. Смещение оси может быть вызвано также биением сверла в шпинделе. Чтобы предотвратить смещение оси, необходимо правильно разметить деталь, делать с помощью керн и сверла центровые углубления меньшего диаметра, проверять правильность закрепления детали, биение и заточку сверла.

Биение сверла и зазоры в шпинделе могут привести к появлению овальных отверстий. Неправильная установка детали в приспособлении, ее перекося и чрезмерно большой нажим сверла могут привести к отклонению оси отверстия от перпендикулярности к поверхности детали. Особенно часто этот дефект наблюдается при сверлении отверстий дрелью, когда последнюю устанавливают «на глаз». С целью предупреждения этого вида брака необходимо тщательно проверять установку и крепление детали и положение дрели.

При развертывании отверстий не допускается жесткое крепление разверток в патронах. Это может привести ли-

бо к овальности обработанных отверстий, либо к поломке развертки. Крепить их нужно в специальных плавающих патронах. При ручном развертывании нельзя чрезмерно давить на развертку в осевом направлении — это вызывает покачивание развертки и приводит также к овальности отверстия.

При нарезании резьбы может произойти поломка метчика в отверстии из-за невнимательности рабочего, вследствие забивания канавок стружкой или из-за работы затупившимся метчиком. Для предотвращения поломки необходимо пользоваться заточенным метчиком, чаще вывинчивать его для удаления стружки и пользоваться смазкой. Извлекать сломанный метчик чрезвычайно сложно и это, как правило, приводит к порче резьбы и к браку детали. При поломке метчика в нержавеющей стали обломок можно удалить, растворив его кислотой, тщательно соблюдая при этом меры безопасности. При отсутствии смазки или затуплении метчика (плашки) резьба получается иногда рваной. Неполная резьба получается из-за неправильной предварительной обработки: либо отверстие под резьбу было просверлено большего диаметра, либо вал был проточен до меньшего диаметра. Ошибки же в другую сторону приведут к срыву резьбы. Для предотвращения этих видов брака необходимо перед резьбонарезанием тщательно контролировать диаметр вала или отверстия.

Качество поверхности при шабрении зависит от навыков и внимательности рабочего. Тем не менее необходимо помнить, что при чрезмерно сильном нажиме на шабер и длинных рабочих ходах (более 10—15 мм при черновом шабрении и более 5—10 мм — при чистовом) проверка на краску может показать неравномерное расположение пятен по поверхности. Плохая заправка шабера и неправильные движения им при работе приведут к образованию рисок, заусенцев и шероховатостей на обработанной поверхности. Чрезмерный нажим на шабер вызывает появление впадин на поверхности. Слишком толстый слой краски на поверочной плите приведет к полному покрытию шабренной поверхности краской, либо к пятнам большого размера. Своевременное устранение перечисленных причин и использование предложенных советов обеспечит хорошее качество шабренной поверхности. Особое внимание при шабрении следует уделять состоянию поверочных плит и линеек, своевре-

менно проверяя их точность и бережно относясь к их хранению и транспортировке.

В процессе притирки из-за неправильно выбранной смазки и применения абразивных порошков с крупным зерном притертая поверхность может получиться негладкой, с большим числом рисок и неровностей. Неточность размеров и искажение геометрической формы может произойти из-за применения неправильных притиров, неправильной установки притира или детали и большом припуске на притирку. Нагрев детали в процессе притирки может привести к короблению тонких деталей. Предупредить перечисленные виды характерных для притирки дефектов можно своевременным устранением названных выше причин.

Кроме текущего контроля отдельных слесарных операций необходимо тщательнейшим образом контролировать соблюдение технологии сборки, предписанной технической документацией, не допускать никаких отклонений от нее без предварительного согласования с технологами.

## 10.2. Организация технического контроля на предприятии

Отдел технического контроля (ОТК) является самостоятельным отделом предприятия, на который возлагается осуществление контроля качества и комплектности выпускаемой продукции в строгом соответствии с действующими стандартами. Начальник ОТК подчиняется непосредственно руководителю предприятия. Работники отдела технического контроля состоят в штате ОТК и подчиняются непосредственно главному контролеру — начальнику ОТК.

Основными задачами отдела технического контроля являются: контроль качества и комплектности выпускаемых предприятием полуфабрикатов, деталей, узлов и изделий в соответствии с требованиями государственных стандартов и технической документации; окончательная техническая приемка и испытание (участие в испытаниях) готовой продукции и проверка правильности заполнения сопроводительной документации; учет и анализ брака и претензий по видам, причинам и виновникам, разработка совместно с цехами и отделами предприятия мероприятий по ликвидации брака, а также контроль за выполнением этих мероприятий; техническая

приемка (контроль качества) поступающих на предприятие материалов, полуфабрикатов и комплектующих готовых изделий с предприятий-поставщиков и оформленные документации по качеству, а также актов-рекламаций; учет и анализ работы цехов и участков предприятия по обеспечению качества продукции, составление соответствующих отчетов.

Контролеры ОТК осуществляют технический контроль за качеством и комплектностью принимаемой ими продукции по установленному технологическому процессу на своем участке согласно чертежам, техническим условиям, эталонам, стандартам, рабочим нарядам и другим документам. Контролеры имеют право и обязаны браковать на своем участке производства материалы, заготовки, детали и изделия, не соответствующие перечисленным документам; не принимать на контроль продукцию при отсутствии установленной сопроводительной документации и при некомплектном предъявлении продукции; проставлять личное клеймо на принятой продукции и маркировать забракованную; следить за своевременной сдачей забракованных деталей, узлов и изделий в изоляторы брака; выписывать акты о браке и передавать их для окончательного решения и подписи контрольному мастеру. Контролер несет ответственность за правильность оформления документации, связанной с принятой и забракованной им продукцией, за необоснованный отказ от приемки продукции и за неправильную оценку качества продукции.

Основными документами для контролеров являются **операционная карта технического контроля** (ГОСТ 3.1502—74), в которой указаны (в соответствующих графах) номер цеха, где выполняется операция, номер участка (конвейера, рабочего места), номер операции по маршрутной карте; наименование операции, наименование и марка материала, обозначение стандарта или технических условий на материал, наименование оборудования, номер перехода, содержание перехода, приспособление, измерительный инструмент, процент контроля (отношение контролируемых изделий к общему числу поданных на контроль изделий), требования к контролируемым параметрам и эскиз изделия.

**Ведомость операции технического контроля** содержит данные о номере цеха, в котором выполняется операция, наименовании и марки материала, стандарте или технических условий на него, номере участка, конвейере или

рабочем месте, номере операции по маршрутной карте, наименовании и содержании операции, модели оборудования, измерительному инструменту, проценте контроля и требованиях к контролируемым параметрам.

**Технологический паспорт** (ГОСТ 3.1503—74) предназначен для указания содержания выполняемых при изготовлении изделий операций, а также для указания исполнителей и контролирующих лиц. Технологический паспорт является сопроводительным документом по всему указанному в нем технологическому маршруту изготовления изделия. Технологический паспорт, оформляемый на каждое особо ответственное изделие, содержит кроме общих сведений о номере цеха, рабочего места, наименовании операций, табельный номер исполнителя операции и подписывается непосредственно им, руководителем участка, контролером ОТК или исполнителем, работающим с личным клеймом.

**Карта измерений** (ГОСТ 3.1504—74) предназначена для регистрации результатов измерения контролируемых параметров с подписями исполнителя операций, руководителя участка и контролирующего лица. В соответствующие графы карты заносятся: наименование или обозначение контролируемого параметра, предельное или номинальное (с указанием отклонений) значения контролируемого параметра по чертежу или стандарту, измеренное значение параметра, ссылки на документы, разрешающие отступление от утвержденной технологии, табельный номер исполнителя (бригадира) операции, дата и подпись исполнителя операции, дата и подпись начальника участка, дата и подпись контролера или исполнителя, работающего с личным клеймом, порядковый номер изделия или измерения, эскиз или схема изделия с обозначениями контролируемых параметров.

При контроле технологического процесса изготовления первых деталей или изделий запись контролируемых режимов, характеристик и параметров этого процесса, а также подписи исполнителей, руководителя участка и контролируемого лица заносят в **журнал контроля технологического процесса** (ГОСТ 3.1505—75).

**Операционная карта технического контроля**, ведомость операции технического контроля и технологический паспорт являются для контролера ОТК основными нормативными документами. На основании требований, изложенных в этих документах, контролер определяет годность материала, детали, изделия.

Результаты измерений регистрируются в карте измерений, учет и хранение которых осуществляется в соответствии с правилами, установленными на предприятии.

### 10.3. Безопасность труда на предприятии

Принципы охраны труда в Советском Союзе вытекают из основных положений трудового права, направленных на создание благоприятных, здоровых и безопасных условий труда, способствующих высокой производительности.

На машиностроительных предприятиях руководство и ответственность за соблюдение охраны труда возложены на директора предприятия и главного инженера. Непосредственно организацией работ по обеспечению безопасных условий труда, по контролю за выполнением соответствующих норм, инструкций и распоряжений занимается отдел или старший инженер по технике безопасности.

В подразделениях предприятия, цехах, лабораториях и отделах ответственными за соблюдение правил безопасности труда являются руководители этих подразделений.

Рабочие места контролеров должны быть хорошо освещены. Для этих целей рекомендуется использовать люминесцентные лампы и комбинированное освещение, сочетающее общее и местное освещение рабочего места. Применять только местные осветительные приборы не разрешается. Люминесцентные лампы должны быть оснащены осветительной арматурой, а лампы местного освещения — отражателями из непросвечивающегося теплоустойчивого материала. При измерении или визуальном контроле изделий, имеющих блестящую поверхность, местное освещение должно оснащаться снизу матовым стеклом.

При работе с электрифицированными приборами возникает опасность поражения электрическим током, поэтому особое внимание необходимо уделять ограждениям открытых токоведущих частей, корпуса приборов должны быть заземлены в соответствии с действующими правилами эксплуатации электрических установок.

При обслуживании контрольных автоматов категорически запрещается проводить ремонт при неотключенном от сети электропитании. Дверцы электрошкафов, пультов управления и защитные кожухи должны осна-

щаться электроблокировками, выключающими автомат (или прибор) при их открытии или съеме.

Особую осторожность необходимо проявлять при работе с радиоактивными приборами. Ампулы с изотопами должны храниться в специальных защитных контейнерах, помещаемых в сейф.

Получение и заполнение емкости легковоспламеняющимися и взрывоопасными жидкостями должно проводиться вне рабочего помещения. Наличие таких жидкостей на рабочем месте разрешается в объеме, не превышающем сменного потребления, а по окончании работы эти материалы должны быть удалены из помещения.

Осветительные и измерительные приборы желательно использовать с безопасным напряжением 6, 12 и 36 В.

При частом контроле тяжелых деталей, масса которых более 20 кг, рабочее место должно быть оборудовано специальными подъемными приспособлениями.

Каждый работник обязан периодически проходить инструктаж по вопросам охраны труда и безопасным приемам работы. Существуют три вида инструктажа — вводный, на рабочем месте и повторный.

Вводный инструктаж проводят при оформлении работника на предприятие. Инструктаж проводит инженер по технике безопасности. Задача инструктажа — ознакомление со спецификой предприятия, с правилами внутреннего распорядка, с правилами пользования защитными средствами, с противопожарными мероприятиями, электробезопасностью и приемами оказания первой медицинской помощи.

Инструктаж на рабочем месте проводит мастер, начальник участка или лаборатории. Работника знакомят с рабочим местом, оборудованием, технологией производства и безопасными условиями труда, а также с заводскими инструкциями, относящимися к данной профессии.

Повторный инструктаж проводится администрацией с целью повышения знаний по безопасности труда и совершенствования безопасных приемов работы.

### 10.4. Прогрессивные формы организации и стимулирования труда рабочих на предприятии

Современное производство характеризуется огромными масштабами, высоким уровнем технической оснащен-

ности, сложностью технических средств, высоким образовательным и культурно-техническим уровнем рабочих, их стремлением к творческой деятельности и более активному участию в управлении производством. В таких условиях бригадная форма организации и стимулирования труда гораздо эффективнее, чем индивидуальная.

подавляющее большинство бригад, существовавших ранее, основывалось, по существу, на индивидуальных формах организации и оплаты труда. Каждый из членов бригады получал зарплату за выполнение тех операций, которые были за ним закреплены, независимо от результатов работы своих товарищей.

Научно-технический и социальный прогресс, характеризующий современный этап развития нашей экономики, создали предпосылки для создания принципиально новых по содержанию бригад. Сегодня рабочие объединяются в бригады для эффективной работы, растет их ответственность за результаты коллективного труда. Оплата и оценка труда в таких бригадах зависят от конечного продукта, а заработная плата начисляется по единому наряду с последующим распределением заработка между членами бригады по их личному вкладу в результаты работы коллектива. Такая форма бригадной организации и стимулирования труда помогает выявить и использовать большие производственные резервы.

Объединение рабочих в бригаду способствует не только изменению организации труда, но и влияет на формирование их интересов. Образующая цепочка рабочих — бригада — цех — предприятие — общество тесно связывает личные, коллективные и общественные интересы. Единство интересов всех членов бригады — качественно новое явление.

Бригадный метод организации и оплаты труда способствует повышению квалификации и росту мастерства, быстрому распространению передового опыта, совмещению профессий и взаимозаменяемости, воспитанию коллективизма и отношений взаимопомощи, укреплению трудовой и общественной дисциплины.

При создании бригад, способных решать эти и другие вопросы, недопустимо простое, формальное объединение. Прежде всего у всех членов бригады должна быть общая производственная цель, которая важна как для рабочего, так и для всей бригады. Такой целью является продукт конечного потребления — собранный станок, построенный дом и т. п.

В ряде случаев, когда бригада не может создать законченную продукцию, общей целью может стать создание части изделия (узла, бригадокомплектов, деталей, группы операций технологического процесса). Бригада, как правило, объединена и территориальным признаком для систематических контактов, взаимопомощи и взаимного контроля, что позволяет рационально использовать рабочее время, оборудование и материалы. Количественный состав бригады определяется конечным продуктом труда бригады, но чрезмерное увеличение численности бригады существенно усложняет ее управление.

Для выполнения различных технологических операций, связанных между собой, рабочих разных специальностей объединяют в комплексные бригады. Их можно создавать практически во всех производствах, так как это позволяет избежать дробления процесса на мелкие звенья, открывает большие возможности для совмещений профессий и рационального использования рабочего времени. Если технологический процесс нельзя закончить в одну смену, предпочтительнее создавать сквозные бригады, специализированные или комплексные.

Бригадный подряд предполагает хозрасчетную организацию труда, при которой бригада несет материальную ответственность за выполнение плана и величину затрат. Стимулирование работы осуществляется как за выполнение плановых показателей, так и за экономию ресурсов. Для эффективного использования бригадного хозрасчета необходимо строго учитывать расход материалов, инструментов, электроэнергии, т. е. всех видов материальных ресурсов, которые идут на изготовление продукции.

В настоящее время многие бригады имеют единый комплексный документ «Трудовой паспорт бригады», который характеризует коллектив с производственных и социальных позиций. Трудовой паспорт составляется на определенный период деятельности бригады (например, на пятилетку) и в него заносятся следующие сведения: состав рабочих; их квалификация; степень мастерства; техническая характеристика оборудования, закрепленного за бригадой; плановые показатели производства продукции, роста производительности труда, снижения трудоемкости, повышения качества продукции, экономии ресурсов; итоги выполнения плана; обязательства перед смежниками; расстановка рабочих по



технологической цепочке; варианты совмещения профессий; организация нормирования и оплаты труда; состав совета бригады; результаты работы каждого работника, Вся эта информация помогает создать необходимые условия для эффективной работы хозрасчетной бригады.

Оценка и оплата труда в бригадах по конечному результату на единый наряд при правильном распределении заработка между членами бригады создает коллективную и индивидуальную заинтересованность в выполнении плановых показателей. Одной из прогрессивных форм оплаты является распределение заработка с учетом коэффициента трудового участия (КТУ).

Для расчета КТУ оцениваются следующие показатели: выработка, качество и сложность работы, совмещение профессий, наставничество и помощь отстающим, передача опыта, использование оборудования, освоение новой технологии, экономия сырья и энерго-ресурсов, трудовая активность и трудовая дисциплина. Распределение зарплаток с учетом КТУ позволяет избежать ущемление интересов добросовестных работников и кроме всего прочего является хорошим воспитательным средством. При этом необходимо помнить, что применение в системе распределения КТУ требует обязательного учета. Величина КТУ для каждого работника утверждается советом бригады.

Таким образом бригадная форма организации и оплаты труда создает наиболее благоприятные условия для формирования социалистической предприимчивости, воспитания чувства хозяина, высокой коммунистической сознательности.

#### Контрольные вопросы

1. Какие виды брака возможны при слесарной обработке и сборке и каким образом их можно предупредить?
2. Какие основные задачи стоят перед службой технического контроля на предприятии?
3. Какие подразделения входят в состав отдела технического контроля?
4. Каковы права и обязанности руководящих работников отдела технического контроля?
5. Каковы права и обязанности контролера ОТК?
6. Какие документы являются основными для контролеров и какие документы заполняются ими по результатам контроля?
7. В чем состоят основные требования безопасности труда?
8. В чем состоит суть бригадного метода организации и оплаты труда?

#### СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- Васильев А. С. Основы метрологии и технические измерения. М., 1980.
- Волосов С. С., Педь Е. И. Приборы для автоматического контроля в машиностроении. М., 1975.
- Иванов А. Г. Измерительные приборы в машиностроении. М., 1981.
- Иванов О. А. и др. Специальные приборы для линейно-угловых измерений и их поверка. М., 1983.
- Коваленко А. В. Контроль деталей, обработанных на металлорежущих станках. М., 1980.
- Козловский Н. С., Виноградов А. Н. Основы стандартизации, допуски, посадки и технические измерения. М., 1979.
- Марков Н. Н. Взаимозаменяемость и технические измерения. М., 1983.
- Марков Н. Н., Ганевский Г. М. Конструкции, расчет и эксплуатация измерительных инструментов и приборов. М., 1981.
- Мельников В. Г., Казанов Л. С. Основы стандартизации, допуски, посадки и технические измерения. М., 1978.
- Палицын В. А. Что может бригада. М., 1983.
- Педь Е. И. и др. Активный контроль в машиностроении. М., 1978.
- Сорочкин Б. М. и др. Средства для линейных измерений. Л., 1978.
- Справочник по производственному контролю в машиностроении / Под ред. А. К. Кутая. Л., 1974.
- Тищенко О. Ф., Валединский А. С. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения. М., 1977.
- Точность и производственный контроль в машиностроении / Под ред. А. К. Кутая. Л., 1983.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение . . . . .	3
<b>1. Общие сведения о механосборочных работах . . . . .</b>	<b>5</b>
1.1. Краткие сведения о слесарно-сборочных работах . . . . .	6
1.2. Металлорежущие станки и их технологические возможности . . . . .	9
1.3. Сведения о качестве и точности . . . . .	12
1.4. Погрешности обработки и сборки . . . . .	14
<b>2. Основы технических измерений . . . . .</b>	<b>21</b>
2.1. Основные понятия . . . . .	21
2.2. Метрологические показатели средств измерения . . . . .	24
2.3. Погрешности измерений и их оценка . . . . .	26
2.4. Выбор средств измерения . . . . .	32
<b>3. Контроль линейных размеров при механической обработке и слесарных работах . . . . .</b>	<b>34</b>
3.1. Штриховые меры длины . . . . .	35
3.2. Плоскопараллельные концевые меры длины . . . . .	36
3.3. Предельные и нормальные калибры . . . . .	38
3.4. Штангенинструменты . . . . .	45
3.5. Микрометрические инструменты . . . . .	50
3.6. Рычажные микрометры и скобы с отсчетным устройством . . . . .	57
3.7. Индикаторные нутромеры и глубиномеры . . . . .	62
3.8. Измерительные головки . . . . .	65
3.9. Оптико-механические и оптические измерительные приборы . . . . .	88
<b>4. Контроль углов и конусов . . . . .</b>	<b>122</b>
4.1. Угловые меры и угольники . . . . .	124
4.2. Калибры для контроля конусов . . . . .	128
4.3. Угломеры . . . . .	131
4.4. Косвенные методы измерения углов и конусов . . . . .	139
4.5. Уровни . . . . .	142
<b>5. Контроль отклонения формы и расположения поверхностей . . . . .</b>	<b>147</b>
5.1. Контроль отклонения формы плоских поверхностей . . . . .	148
5.2. Контроль отклонений формы цилиндрических деталей . . . . .	160
5.3. Контроль отклонений расположения поверхностей и осей . . . . .	169
<b>6. Контроль шероховатости поверхности . . . . .</b>	<b>182</b>
6.1. Основные понятия и определения . . . . .	183
6.2. Бесконтактные методы контроля шероховатости . . . . .	186
6.3. Контактные методы контроля шероховатости . . . . .	192

<b>7. Контроль резьб . . . . .</b>	<b>196</b>
7.1. Поэлементный контроль резьбы . . . . .	197
7.2. Особенности контроля внутренних резьб . . . . .	207
7.3. Резьбовые калибры . . . . .	209
<b>8. Контроль зубчатых колес . . . . .</b>	<b>212</b>
8.1. Комплексный контроль зубчатых колес . . . . .	214
8.2. Поэлементный контроль зубчатых колес . . . . .	218
8.3. Кинематомеры . . . . .	226
<b>9. Механизация и автоматизация контроля . . . . .</b>	<b>228</b>
9.1. Пневматические средства измерения . . . . .	228
9.2. Электроконтактные средства измерения . . . . .	234
9.3. Индуктивные и емкостные средства измерения. Механотроны . . . . .	236
9.4. Фотоэлектрические и радиоактивные средства измерения . . . . .	240
9.5. Приборы автоматического и активного контроля . . . . .	243
9.6. Контрольные автоматы и координатно-измерительные машины . . . . .	248
<b>10. Технический контроль на предприятиях . . . . .</b>	<b>257</b>
10.1. Особенности контроля в сборочных цехах . . . . .	258
10.2. Организация технического контроля на предприятии . . . . .	261
10.3. Безопасность труда на предприятии . . . . .	264
10.4. Прогрессивные формы организации и стимулирования труда рабочих на предприятии . . . . .	265
Список рекомендуемой литературы . . . . .	269

