

***В.И.Щенковскій***

***ВИЗУАЛЬНО-  
ОПТИЧЕСКИЙ И  
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ  
КОНТРОЛЬ***

Запорожье  
Издательство ОАО «Мотор Сич»  
2004



УДК.535.  
Щ-58

**Щепковский В.И., "Визуально-оптический и измерительный контроль"**, Запорожье, Издательство ОАО «Мотор Сич», 2004г. – 316с.

*Учебное пособие предназначено для подготовки к аттестации специалистов выполняющих визуально-оптический и измерительный контроль.*

*Состоит из трех разделов:*

*Визуально-оптический контроль - рассматривает физические основы и требования к организации и проведению работ по визуально-оптическому контролю.*

*Основы измерительного контроля - рассматривает основные методы измерений и применение измерительных приборов в процессе технического контроля. Приведены сведения о погрешности измерений.*

*Специальный курс рассматривает сведения об основных видах соединения деталей, методику проведения визуально-оптического контроля, дефекты и причины их возникновения в различных соединениях, основные требования к материалам и соединениям.*

*Рассматриваются вопросы охраны труда и техники безопасности при визуально-оптическом и измерительном контроле.*



## Отзыв

### на учебное пособие "Визуально-оптический и измерительный контроль"

Предлагаемое к рассмотрению и изданию учебное пособие относится к области подготовки к сертификации специалистов по визуально-измерительному неразрушающему контролю.

Следует отметить, что только к двум специальностям из всех, используемых в производстве и ремонте деталей, изделий и конструкций, имеются требования к сертификации персонала, оговоренные международными и европейскими стандартами. Это специалисты - сварщики и дефектоскописты, занятые проведением всех видов неразрушающего контроля (НК). Относительно персонала, занятого НК, стандартами предусматривается обязательная подготовка (обучение) в объеме - в зависимости от уровня квалификации и вида НК от 14 (по течисканию) до 120 часов (например, по таким объемным методам контроля как рентгенпросвечивание и ультразвук).

В последнее время в связи со старением оборудования, работой опасных объектов, подведомственных Госнадзорохрантруда, в режиме постгарантийного срока, в связи с эксплуатацией авиационной техники по техническому состоянию особое значение придается подготовке персонала, который проводит внешний осмотр и техническое освидетельствование объектов. Рядом приказов по Госнадзорохрантруда Украины в 1997 году была введена обязательная аттестация персонала, занятого визуальным контролем котлов и сосудов, работающих под давлением, трубопроводов пара и горячей воды, магистральных трубопроводов нефти и газа. Приказами по департаментам авиации Российской федерации и Украины в 2002 году была введена обязательная аттестация персонала, занятого оценкой технического состояния, по визуально-измерительному контролю, который проводится при техническом обслуживании и продлении срока эксплуатации авиационной техники. В рамках выполнения этих приказов управлением подготовки кадров нашего объединения были обучены и получили сертификаты на право проведения визуально-измерительного контроля порядка 100 специалистов эксплуатационно-ремонтного отдела и специалисты, имеющие отношение к объектам Госнадзорохрантруда Украины.

Методические материалы для проведения подготовки по визуальному контролю практически отсутствуют. В различных учебниках имеются отдельные главы с требованиями к внешнему осмотру, что недостаточно для подготовки в полном объеме. Вопрос с

методическими материалами осложняется еще и тем, что, как правило, визуальный осмотр проводится параллельно с измерениями. Например, руководством по эксплуатации двигателя регламентируются: глубина допустимых забоин и вмятин, выработка и зазоры по отдельным узлам и т.д. В связи с этим в методических материалах должны быть освещены темы средств измерений, погрешности измерений и метрология. Конспект лекций по визуальному контролю, распространенный Евросоюзом в рамках программы Tasis, уделяет большое внимание физико-химическим процессам зрения, основным составляющим глаза - как главного оптического инструмента при визуальном контроле, и не отражает требований к визуальному осмотру при контроле различных видов продукции.

В предлагаемом к изданию учебнике собран большой методический материал по визуальному и измерительному контролю. Пособие адаптировано с требованиями по проведению квалификационного теоретического экзамена по неразрушающему контролю и состоит, как и экзамен, из общего и специального курсов:

#### 1. Общий курс

Визуально-оптический контроль - рассматривает физические основы и требования к организации и проведению работ по визуальному контролю.

2. Специальный курс — рассматривает сведения о материалах, основных видах получения заготовок и узлов, дефектах и причинах их возникновения. Подробно рассматривается методика проведения и оформления результатов визуально-измерительного контроля. Рассматриваются вопросы охраны труда и техники безопасности.

К достоинствам учебного пособия следует отнести большое количество иллюстрационного материала по всем темам.

На основании изложенного рекомендую данное учебное пособие издать в виде отдельной книги.

В.Г.Клочихин  
главный металлург ОАО «Мотор Сич»

П.А.Балакирев  
начальник бюро НМК

## Отзыв

### на учебное пособие «Визуально-оптический и измерительный контроль»

Данное учебное пособие предназначено для теоретической и практической подготовки к сертификации специалистов по визуальному методу неразрушающего контроля, который выполняется предшествуя другим методам неразрушающего контроля (ультразвуковой, вихретоковой, капиллярный, течеискание и т.д.) и обмерам, вследствие своей универсальности, низкой стоимости (не требует вложения капитальных затрат на оборудование) и простоты с точки зрения практического исполнения.

Визуально-измерительный метод контроля повсеместно применяется вследствие его использования на различных этапах изготовления продукции авиационной техники и товаров народного потребления:

а) заготовительное производство, выполнение механической обработки и специальных процессов (различные виды термообработки, нанесение лакокрасочных и защитных покрытий), окончательной приемке, сборке деталей в сборочные единицы и изделия, испытания готовой продукции;

б) при выполнении технического обслуживания, оценке технического состояния в процессе эксплуатации, с определением допустимых норм повреждаемости и приработки, и принятием решения о продлении срока службы изделия;

в) при поступлении изделия в ремонт, как основополагающий метод для принятия решения, после выполнения дефектиции, об объемах и необходимой методике восстановления изделия.

Из вышесказанного видно, какую огромную роль играет подготовка квалифицированного специалиста по неразрушающему контролю в области визуально-оптического и измерительного контроля, перед которым в процессе своей деятельности ставится задача не только безошибочного определения места расположения дефекта, его расшифровки и определения размеров, но и выполнения анализа по допустимости или критичности обнаруженного дефекта в соответствии с нормами повреждаемости и летной годности предъявляемым к изделиям авиационной техники и товарам народного потребления.

Помимо этого, контролю визуально-измерительным методом подлежат многие объекты, которые нашли широкое применение в инфраструктуре предприятия: котлы и сосуды работающие под давлением, трубопроводы пара и горячей воды, магистральные трубопроводы, нефтеналивные и газонаполненные емкости и т.д.

Предлагаемое к изданию учебное пособие обобщает информацию по методике выполнения визуально-оптического и измерительного контроля содержащуюся в различной нормативной документации (ДНАОПах, ГОСТах, СНиПах, РТМах и т.д.) и технической литературе в единую, построенную в закономерно-логической последовательности систему, содержащую как основные положения технологии визуально-измерительного контроля, так и представляющую основные понятия по физической природе света, критериям объектов контроля, строения человеческого глаза и его функциональной значимости в процессе обнаружения дефектов.

Одной из наиболее интересных находок в данном учебном пособии является то, что иллюстрации по всем темам к методическому материалу выполнены в виде отдельного приложения, которое позволяет при обучении более наглядно довести слушателям подаваемую информацию.

На основании изложенного рекомендую данное учебное пособие издать в виде отдельной книги.

К.В.Назаренко  
*зам. начальника цеха по техчасти  
(специалист 3 уровня по контролю течисканием)*



# **1. Сущность метода визуально-оптического контроля**

## **1.1 Общие сведения**

Большую часть поступающей из внешнего мира необработанной информации человек получает посредством визуального, т.е. зрительного "канала", или как мы говорим, - это органолептический метод контроля, т.е. контроль при котором информация воспринимается органами чувств.

подавляющее большинство экспериментов и испытаний, проводимых над материалами, выдают нам свои результаты, в конечном счете, в форме, воспринимаемой глазом. Обычно, такая информация является косвенной: чувство зрения позволяет воспринимать положение стрелок на счетчиках, диаграммы или другие графические изображения, а также передвижение точек по экрану осциллографа. И уже, исходя из этого, делаются выводы о физической действительности.

Зрение может предоставить первоначальную информацию, недостижимую для других способов.

На протяжении миллионов лет глаз не претерпел эволюции, и процесс видения происходит незаметно и настолько естественно, что часто мы не задумываемся над вопросом: "А как это происходит?". На деле, значительная часть суждений о каком-либо определенном объекте предполагает визуальную информацию, которая прошла незамечено, но служит упорядочению и приданию смысла данным, полученным другими методами.

Кроме того, визуальный контроль является неразрушающим методом контроля.

**Неразрушающий контроль (НК)** - это вид контроля, при котором не нарушается целостность объекта.

**Свет** - физический агент визуального контроля (ВК), не наносит вреда подавляющему большинству материалов. Важным, но очень конкретным исключением, являются фотографические материалы. Глазу же достаточно малой доли отраженного от объекта или передаваемого объектом света, чтобы получить точную информацию для передачи мозгу. Поэтому ВК является еще одним из методов **оптического**, т.е. связанного со светом, вида НК.

Другое дело, способен ли наблюдатель истолковать правильно и/или полностью эту информацию.

Хорошо известно, что "смотреть" и "видеть" далеко не одно и то же тоже. Чтобы "увидеть" надо не просто "смотреть", а смотреть по определенной методике, и даже этого недостаточно, если одновременно не используется толковательный код, который формируется в процессе накопления данных об исследуемом объекте. Поэтому грамотный дефектоскопист - это дефектоскопист, который не только может внимательно осмотреть объект, но и знает внешний вид всех встречающихся дефектов на этом объекте.

Тема визуального контроля важна сама по себе еще и тем, что ей не придается должного значения. С технической точки зрения ограничить ВК обычным рассмотрением простым глазом - было бы чрезмерным упрощением, и наоборот, объединить в понятие "визуальный контроль" все оптические методы по ГОСТ 23479-79- было бы несомненным преувеличением.

Исходя из этого, тема визуального контроля в данном курсе включает в себя:

- контроль простым глазом;
- простые вспомогательные средства для контроля простым глазом (лупы, зеркала и т.д.);
- понятия дополнительных средств для визуального контроля (микроскопы, эндоскопы и т.д.);
- подготовка и проведение контроля, а также оформление результатов контроля.

## ***1.2 Сущность метода визуального контроля***

Визуальная проверка, вероятно, была первым способом, используемым человеком для проверки деталей без разрушения. В настоящее время визуальная проверка по-прежнему остается первой среди испытаний по обнаружению и оценке дефектов. Она переросла во множество трудных и сложных оптических исследовательских процессов.

**Визуальный контроль (ВК)** проводится при дефектоскопии и контроле материалов и изделий с целью выявления поверхностных трещин, расслоений, закатов, недопустимых забоин, раковин, плен, шлаковых включений и др. несплошностей.

ВК сварных соединений (СС) проводится с целью выявления поверхностных трещин, усадочных раковин, недопустимых подрезов, поверхностных включений и скоплений и др.

Совместно с измерительным контролем ВК также проводится для проверки соответствия размеров деталей требованиям нормативной документации.

Изучение чувствительности методов дефектоскопии непременно должно включать также изучение возможностей зрения человека.

Наши ощущения и восприятия могут заметно обостряться и под влиянием эмоционально-волевых состояний человека, а также произвольного напряжения его внимания. Если, например, в данный момент мы очень заинтересованы в том, чтобы лучше увидеть или лучше услышать, нередко зрение и слух у нас фактически становятся более острыми.

Глаз является наиболее чувствительным из всех известных в настоящее время оптических приборов, способен эффективно действовать как в условиях малых и больших яркостей, так и в промежуточной области.

Построить прибор, который одновременно обладал бы такой чувствительностью, как глаз, такой же способностью различать цвета и такой же способностью различать особенности оцениваемого изображения, едва ли возможно. Это значит, что все визуальные методы дефектоскопии вряд ли можно заменить с большей эффективностью какими-либо другими, когда речь идет о поверхностных дефектах типа несплошности.

Визуально также определяют состояние защитных покрытий, контролируют качество изделий по их цвету и осуществляют другие контрольные функции.

Следует особо отметить, что визуальный контроль должен проводиться перед проведением любого другого неразрушающего контроля.

В оперативной цепи применения неразрушающих методов контроля ВК располагается следующим образом:



ВК сварных швов следует проводить с наружной и внутренней поверхности (при условии доступности).

ВК допускается проводить с применением луп увеличением до  $\times 7$ .

**Преимущества метода:**

1. Простота контроля;
2. Сравнительно малая трудоемкость.

**Недостатки метода:**

1. Недостаточно высокая чувствительность контроля.

По ГОСТ 23479-79 чувствительность ВК оценивается 0,1 мм.

Диапазон длин волн применяемого света должен быть 0,38...0,76 мкм  $\approx$  (4000...8000 ангстрем (А)).

### ***1.3 Визуально-оптический контроль***

Однако, возможности глаза ограничены, например: при осмотре удаленных объектов, предметов находящихся в условиях малой освещенности, а также быстро перемещающихся объектов. При осмотре предметов, находящихся в покое на расстоянии наилучшего зрения (**250 мм**) при нормальной освещенности (не ниже 300 лк), человек испытывает трудности из-за ограниченных разрешающей способности и контрастной чувствительности зрения.

Оптические приборы позволяют намного расширить пределы собственных возможностей глаза.

Вследствие преломления лучей в оптической системе приборов увеличивается угловой размер рассматриваемого объекта. Острота зрения и разрешающая способность глаза увеличиваются примерно во столько раз, во сколько увеличивает оптический прибор. Это позволяет видеть мелкие объекты, размеры которых находятся за пределами границы видимости невооруженным глазом объектов. При этом облегчается анализ их природы и вида.

Визуальный контроль с применением оптических приборов называют **визуально-оптическим**.

### ***1.4 Сущность визуально-оптического контроля***

**Сущность** визуально-оптического контроля заключается в увеличении углового размера рассматриваемого объекта вследствие преломления световых лучей в оптической системе приборов.

Визуально-оптический контроль (ВОК) предназначен для обнаружения различных поверхностных дефектов материала деталей, скрытых дефектов агрегатов, контроля закрытых конструкций, труднодоступных мест механизмов и машин (при наличии каналов для доступа приборов к контролируемым объектам). Контроль проводится путем наблюдения деталей и изделий в видимом свете. При контроле используются оптические приборы, создающие полное изображение проверяемой зоны, ее видимую картину.

ВО метод контроля используется также для анализа характера и определения типа поверхностных дефектов, обнаруженных при контроле деталей каким-либо другим методом дефектоскопии (например: люмконтроль, цветная дефектоскопия и др.).

В необходимых случаях эффективность ВОК может быть повышена, если контролируемый участок детали предварительно протравить раствором соответствующих сильных кислот. Под влиянием реактива проходит избирательное растворение металлических или других фаз, а также их пограничных участков вследствие различия в физико-химических свойствах. Как следствие этого образуется рельеф. При наблюдении участки лучше растворившиеся будут казаться более темными вследствие меньшего коэффициента отражения (протравленная поверхность имеет большую шероховатость). Таким образом, при травлении достигается большая контрастность дефекта с фоном. Кроме этого, травление позволяет выявлять дефекты типа неметаллических включений.

ВОК также как и визуальный наиболее доступный и простой метод обнаружения поверхностных дефектов деталей. Оптические средства контроля используют на различных стадиях изготовления изделий, деталей и конструкций, в процессе регламентных работ и осмотров, проводимых при эксплуатации техники, а также при ее ремонте.

**Простота контроля, несложное оборудование, сравнительно малая трудоемкость - основные преимущества** этого метода. Однако у вок **недостаточно высокие достоверность, чувствительность и невозможность выявлять даже относительно большие дефекты, имеющие малый контраст с фоном.** Поэтому такой способ контроля применяется в следующих случаях:

- для поиска поверхностных дефектов (трещин, коррозионных и эрозионных повреждений, забоин, язв, открытых раковин, пор и др.) при визуально-оптическом контроле, доступном для непосредственного осмотра, а также более мелких трещин (по

сравнению с трещинами, выявляемыми невооруженным глазом), при цветном, люминесцентном, магнитопорошковом и рентгенографическом контроле;

- для обнаружения крупных трещин, мест разрушения элементов конструкций, остаточной деформации, скрытых или удаленных элементов конструкций, течей, загрязнений, а также различных посторонних предметов внутри закрытых конструкций;
- для анализа характера и определения типа поверхностных дефектов, обнаруженных при контроле деталей каким-либо методом дефектоскопии (ультразвуковым, токовихревым, цветным и др.).

Однако следует помнить, что с увеличением оптических возможностей приборов существенно сокращается поле зрения и глубина резкости, а также снижаются производительность контроля и его надежность.

Для осмотра деталей применяют оптические приборы с увеличением в 20...30 раз.

## **1.5 Визуальный контроль среди других методов НК**

Все методы НК основываются на обнаружении или измерении колебаний какого-либо физического параметра материала. Любая физическая несплошность данного материала подразумевает локальную неправильность хотя бы одного из этих параметров. Установленная методом НК несплошность выдает характерное показание, свойственное примененному методу контроля.

*Например:* фотографическое пятно в радиографии.

Есть методы контроля, собственные показания которых более или менее точно напоминают визуальный вид несплошности.

*Например,* в контроле капиллярными методами, в магнитопорошковом контроле или в той же радиографии. Из этого можно сделать вывод, что визуальный контроль является вспомогательным при проведении других методов НК.

## **1.6 Интерпретация (истолкование) и оценка**

Интерпретация является ключевым вопросом. При этом опыт и умение дефектоскописта приобретают существенное значение.

Интерпретация является свидетельством об испытании, не позволяющем принимать решение о приемке или браковке. Для этого необходимы критерии технических условий, определяющие допустимые и недопустимые дефекты.

## **1.7 Глаз как средство контроля**

Основным средством проведения ВК является глаз, и поэтому уделим ему определенное внимание.

Центральная нервная система таким образом специализировала некоторые клетки, что, когда последние облучаются электромагнитным излучением с длиной волны от 4000 до 8000 ангстрем (зона видимого света), то они посылают электрические нервные сигналы в определенные области мозга. Мозг истолковывает эти сигналы как "свет".

Глаз является оптической системой. Система проецирует изображение внешнего мира на светочувствительные клетки.

С анатомической точки зрения глаз имеет почти шарообразную форму. Диаметр глаза составляет в среднем 2,5 см (рис. 1 и рис. 2).

Плотная наружная оболочка белого цвета, защищающая глаз и придающая ему постоянную форму называется **белковой оболочкой** или **склерой** (1).

Передняя часть склеры переходит в прозрачную слегка выпуклую **роговую оболочку** (2), которая действует как собирающая линза и обеспечивает 75% фокусирующей способности. Оптическая (преломляющая) сила роговицы почти постоянна и составляет примерно 43 дптр.

За склерой располагается **сосудистая оболочка** (3), переходящая в передней части глаза в **радужную оболочку** (4) с отверстием переменного диаметра - **зрачком** (5), который выполняет роль диафрагмы. При больших (дневных) освещенностях диаметр зрачка глаза равен 2...3 мм, а при низкой освещенности (менее 0,01 лк) увеличивается до 6...8 мм. Сужение и расширение зрачка рефлекторное, осуществляется за счет сокращения мышц. Радужная оболочка бывает коричневой, голубой, серой и других цветов (рис 1.1).

Непосредственно за зрачком расположен **хрусталик** (6), который представляет собой небольшое тело из прозрачной ткани, имеющее

форму двояковыпуклой линзы, простирающей изображение на сетчатку глаза. Хрусталик посредством скрепленных с ним мышц рефлекторно изменяет свою кривизну. Этим обеспечивается изменение оптической силы хрусталика от 19 до 33 дптр. и достигается **аккомодация** глаза, т.е. наводка на резкость. Если предмет удаляется или приближается к глазу, изображение предмета на дне глаза (сетчатой оболочке) остается четким.

Роговица и хрусталик - основные преломляющие элементы глаза.

Пространство между роговицей и радужной оболочкой заполнено прозрачной жидкостью **водянистой влагой** (7). За хрусталиком до задней стенки (глазного дна) находится студенистое вещество, называемое **стекловидным телом** (8), которое заполняет всю внутреннюю часть глаза.

Глазное дно покрыто **сетчатой оболочкой** (9) или **ретиной**, которая непосредственно связана с мозгом. Сетчатка, на которую фокусируется изображение, представляет собой разветвление зрительного нерва со светочувствительными клетками в виде палочек и колбочек (рис. 3 и 4).

Каждая колбочка соединена с отдельным нервным волокном, а палочки присоединяются группами (приблизительно по 100 палочек) к общему нервному волокну. Палочки более светочувствительны, чем колбочки. При темновой адаптации (приспособляемости) они позволяют отличать белую поверхность от черной при освещенности  $10^{-6}$  лк (сумерки или ночь). Но палочки не различают цветов. Палочек примерно 120 млн. клеток. Их диаметр  $2 \cdot 10^{-3}$  мм, длина  $60 \cdot 10^{-3}$  мм. Колбочки чувствительны к цветам, но менее чувствительны к освещенности. Они не работают при освещенности  $10^{-2}$  лк. Практически цветное зрение начинается при освещенности 1 лк.

При освещенности выше  $10^2$  лк...  $10^3$  лк зрение является почти чисто колбочковым.

Колбочек примерно 10 млн. клеток. Их диаметр  $7 \cdot 10^{-3}$  мм, длина  $35 \cdot 10^{-3}$  мм.

Палочки и колбочки распределены неравномерно: в средней части сетчатки преобладают колбочки, а по краям - палочки. Самая чувствительная часть сетчатки называется **желтым пятном** (10), которое представляет собой овальный участок вокруг центральной ямки с угловым размером  $6...7^\circ$  и площадью всего  $1 \text{ мм}^2$ . Здесь палочек почти нет, а колбочки расположены очень плотно. По мере удаления от желтого пятна число палочек возрастает, а число



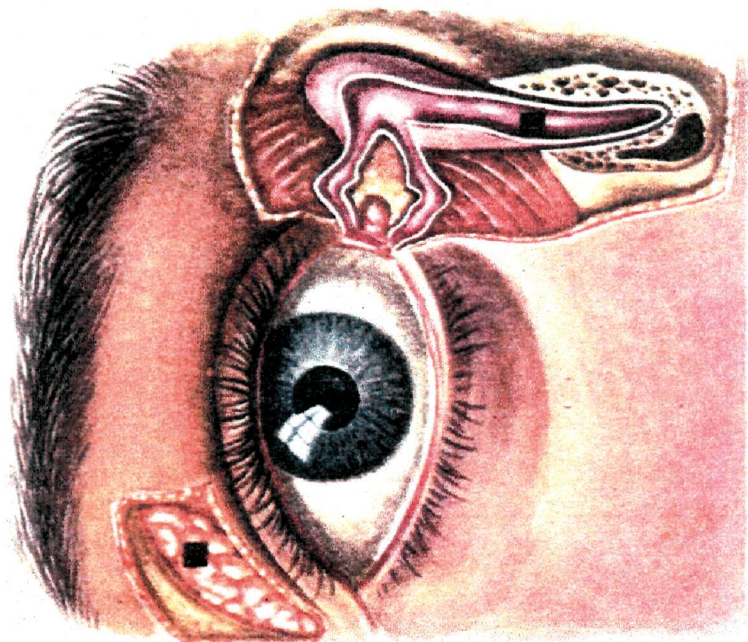
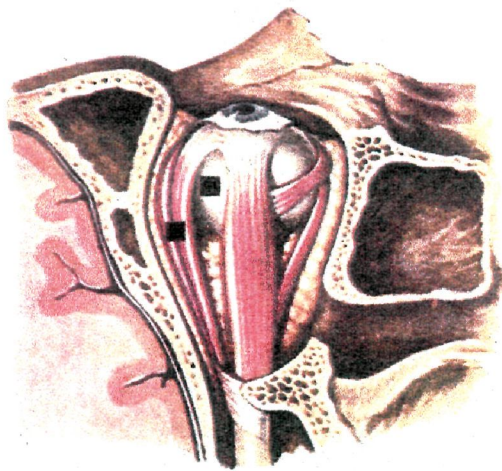


Рис. 1

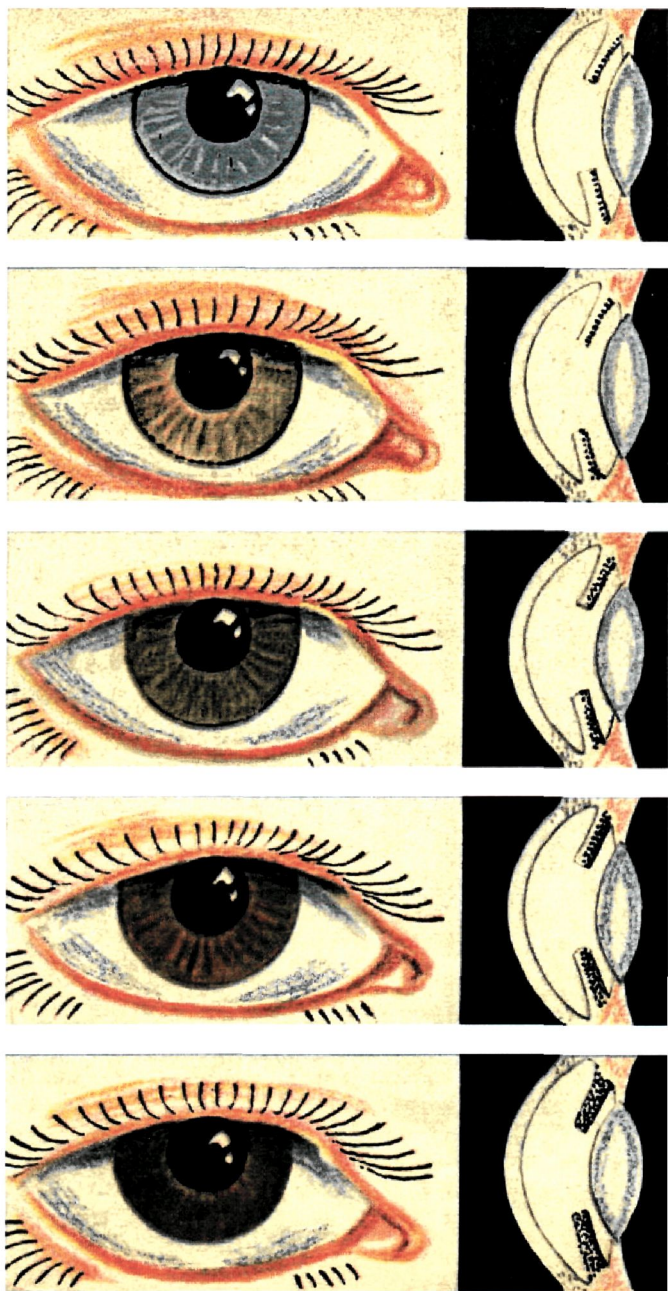
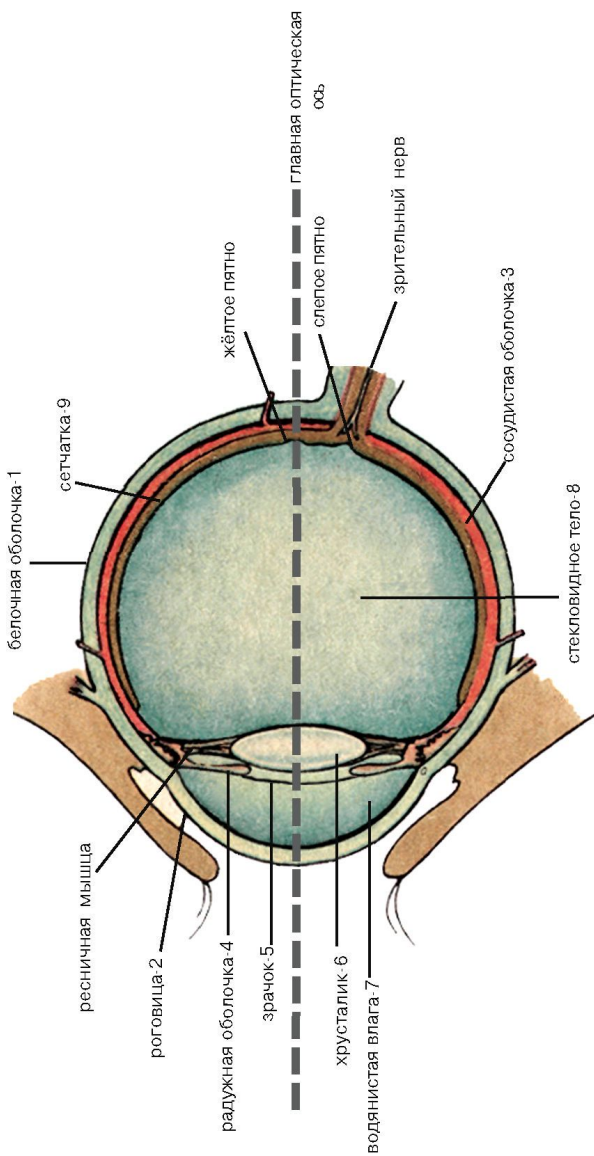
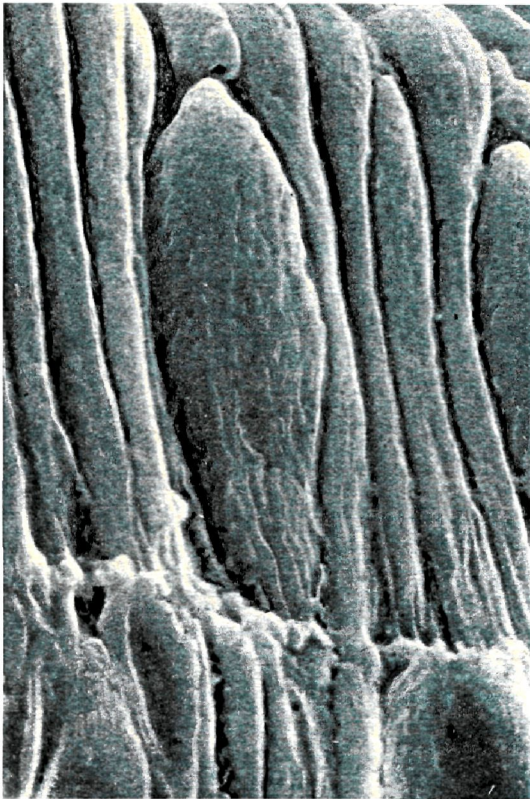


Рис. 1.1



Строение глаза

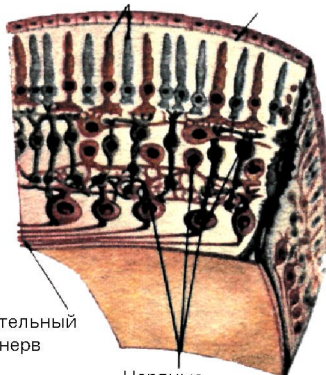
Рис. 2



Палочки и колбочки

Рецепторы

Сетчатка



Зрительный нерв

Нервные клетки

**Сетчатка**

**Рис. 3**

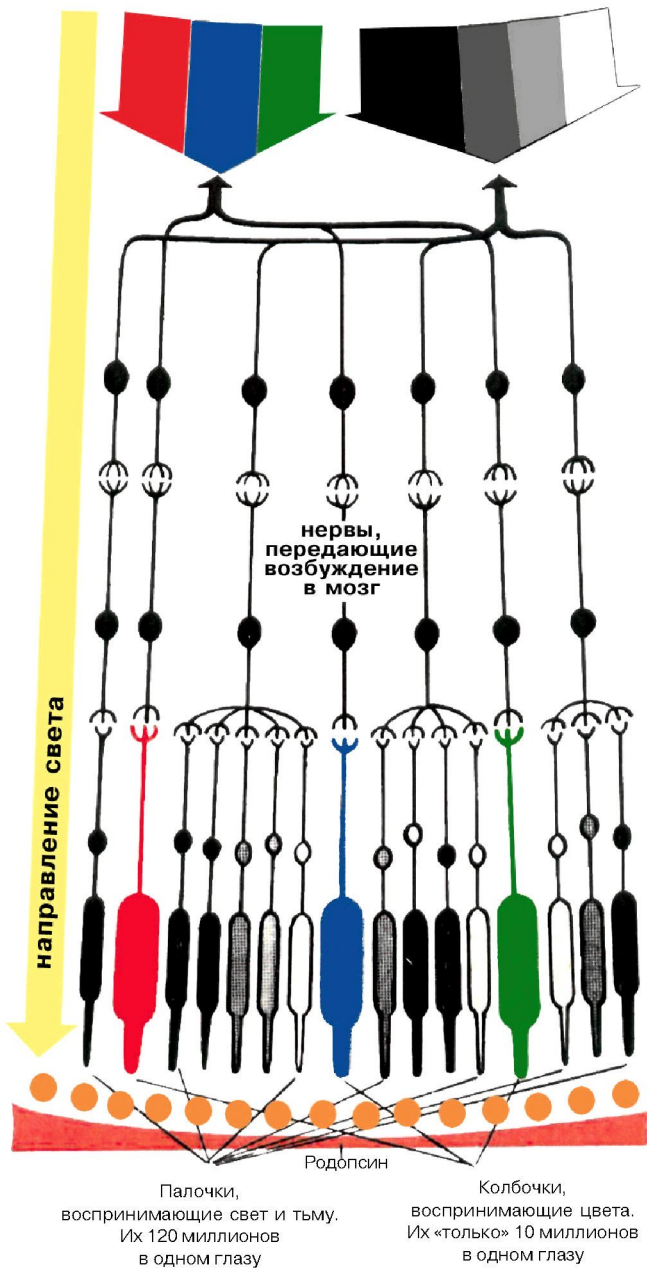
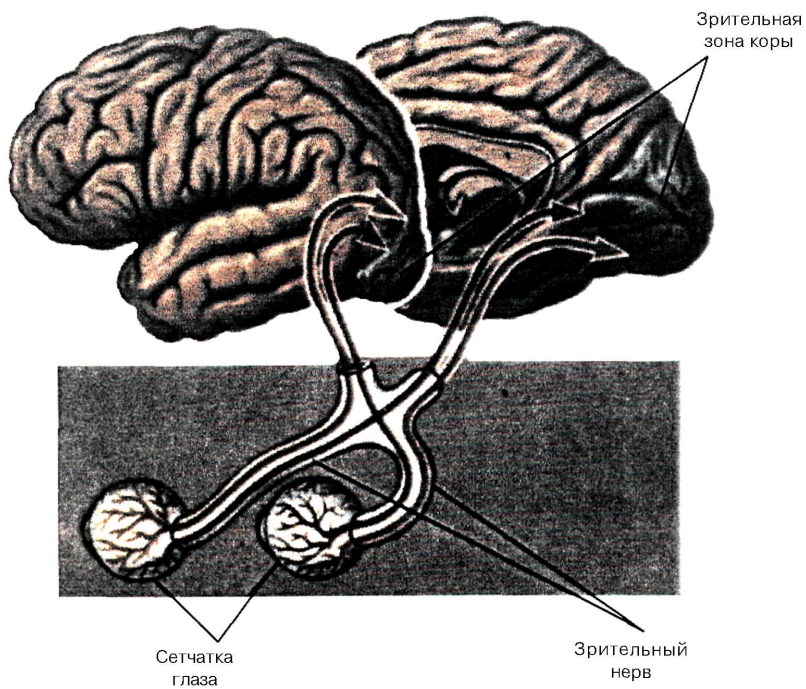


Рис. 4



### **Зрительный анализатор**

**Рис. 5**

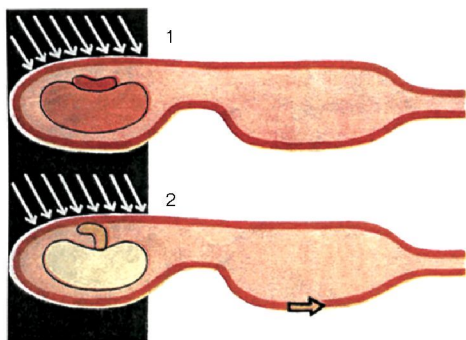
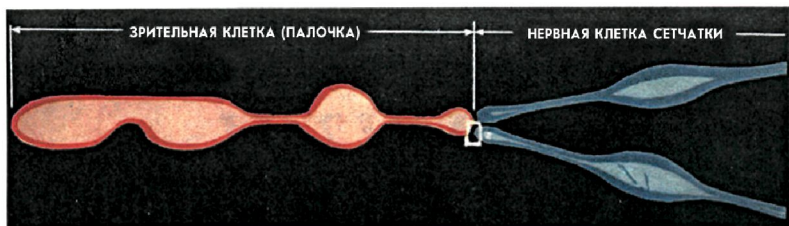
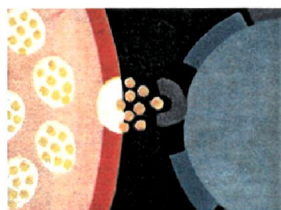
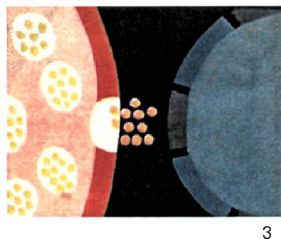


Схема работы рецепторных белков ответственных за восприятие и передачу светового сигнала.

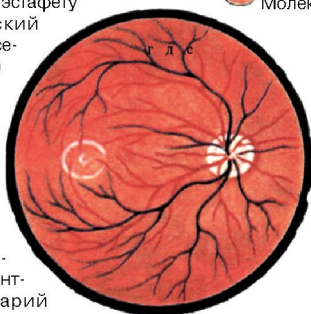
Сумеречным, бесцветным зрением мы обязаны зрительным клеткам-палочкам. Их исключительную светочувствительность в значительной мере определяет рецепторный белок родопсин. Его молекула — отправная точка светового сигнала в организме. Под действием света молекула родопсина претерпевает изменения: из розовой (1) она становится желтой (2). В процессе обесцвечивания рождается нервный фоторецепторный сигнал. Достигая синаптического окончания палочки он перелает эстафету медиатору. Этот химический

передатчик информации пересекает синаптическую щель (3) и взаимодействует с рецепторным белком, встроенным в мембрану нервной клетки сетчатки (4). В результате в нервной клетке возникает электрический сигнал.

Химический и электрический сигналы, сменяя друг друга, устремляются по нервным путям к зрительному центру в коре больших полушарий головного мозга, формируются зрительные образы.



- Медиатор
- Рецепторный белок
- Молекула родопсина



Глазное дно с сосудами сетчатки

Рис. 6

колбочек относительно убывает. Вместе с этим по мере удаления от желтого пятна снижается разрешающая способность зрения.

В соответствии с распределением в сетчатке палочек и колбочек поле зрения одного глаза условно можно разделить на три зоны:

- зона наиболее четкого видения - центральная с полем зрения около  $2^\circ$ ;

- зона ясного зрения, в пределах которой (при неподвижном глазе) возможно опознание предметов без различия мелких деталей, с полем зрения около  $30^\circ$  по горизонтали и около  $22^\circ$  по вертикали;

- зона периферийного зрения, в пределах которой предметы не опознаются. Эта зона имеет важное значение для ориентации. Величина поля периферийного зрения составляет  $150^\circ$  по горизонтали и  $125^\circ$  по вертикали (рис. 7 и 8).

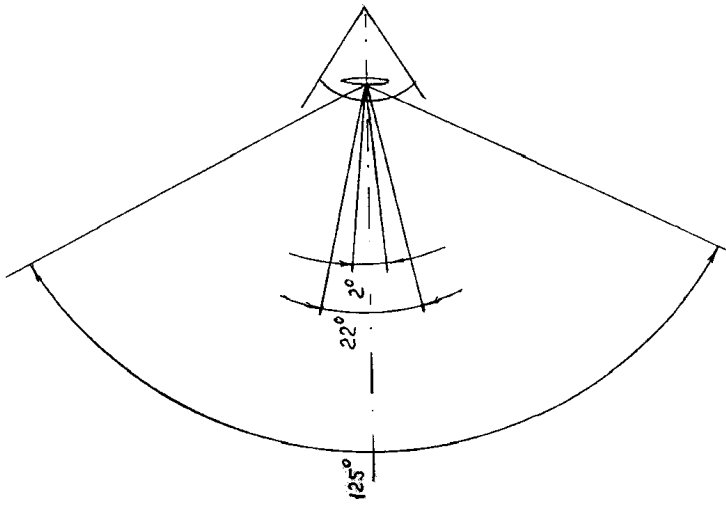
Первый синтез зрительной информации происходит на уровне сетчатки, а затем через сложную систему нервов в затылочной области мозга нервные стимулы превращаются в специфические зрительные ощущения (рис. 5). Свет, действующий на колбочки или палочки, вызывает в них химические превращения (рис. 6). Благодаря этому, в нервном волокне, соединяющем светоощущающие клетки глаза с мозгом, возникают электрические импульсы, которые все время подаются к мозгу, пока свет действует на глаз. Чем ярче отдельные части предмета, тем больше освещены соответствующие колбочки и палочки и тем сильнее импульсы, которые подаются в мозг. Они раздражают определенные участки мозга и дают нам зрительный образ предмета.

Расстояние от глаза до видимых предметов значительно больше, чем двойное фокусное расстояние преломляющих сред глаза (хрусталик, водянистая влага и стекловидное тело), поэтому мы рассматриваем глаз как одну собирающую линзу, в которой световые лучи, идущие от этих предметов, преломляясь, образуют на сетчатке действительное, уменьшенное и обратное изображение предмета (рис. 9).

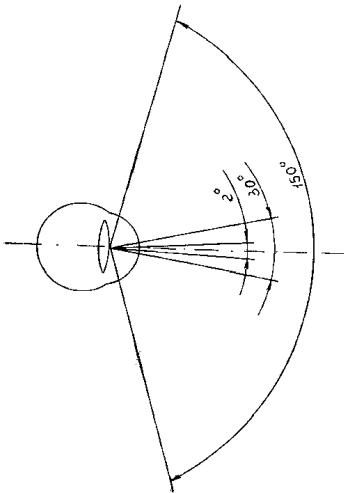
Глаз по принципу своего действия как оптическая система напоминает фотоаппарат. Роль объектива выполняет хрусталик вместе с водянистой влагой и стекловидным телом, роль диафрагмы - радужная оболочка с отверстием (зрачком).

Мозг человека обладает удивительной способностью "переворачивать" изображение, образующееся на сетчатке глаза. Если изображение на сетчатке перевернуто, то оно нам кажется прямым (рис.9).

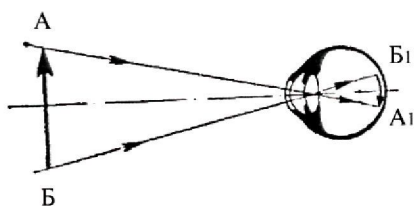




**Рис. 8**  
Поле зрения по вертикали

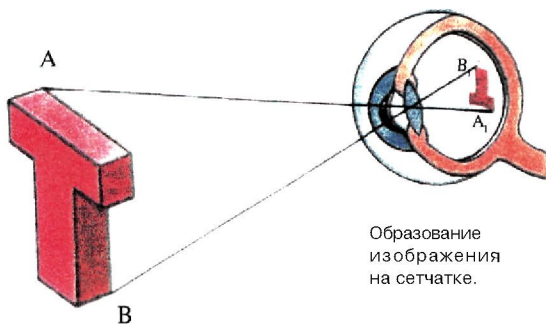


**Рис. 7**  
Поле зрения по горизонтали



**Рис. 9**

Схема получения изображения на сетчатке глаза (показан ход только двух лучей, идущих от крайних точек предмета и проходящих через оптический центр глаза).



Обнаружение слепого пятна.

**Рис. 10**

Нервные волокна, идущие от глаза, собраны вместе и образуют зрительный нерв. В том месте, где зрительный нерв входит в глаз, нет ни палочек, ни колбочек, и лучи, попадающие на эту область, не вызывают ощущения света, отсюда и название "слепое пятно" (рис. 2)

В существовании "слепого пятна" можно убедиться на следующем примере (рис. 10):

Если закрыть левый глаз и фиксировать правый на крест, то при расстоянии до глаза примерно 20 см от рисунка, белый диск справа перестает быть видимым: его изображение попадает на место входа зрительного нерва в глаз, где нет светочувствительных элементов.

Чтобы отчетливо видеть предмет, который мы рассматриваем, необходимо, чтобы на сетчатке создалось его четкое изображение.

Положение изображения зависит (для одной и той же линзы) от положения предмета. Чем дальше будет предмет, тем ближе к линзе и меньшим будет его изображение, чем ближе будет предмет, тем дальше от линзы и больше будет его изображение (рис. 11).

Переводя взгляд с предметов, находящихся вблизи на далекие, мы не замечаем удлинения или сокращения глаза, подобно изменению положения объектива в фотоаппарате.

*А как же создается четкое изображение на сетчатке глаза?*

Наш глаз устроен так, что хрусталик может изменять выпуклость при помощи мышцы, облегающей его со всех сторон. В спокойном состоянии, когда мышца не напряжена, хрусталик имеет наименьшую выпуклость и приспособлен для рассмотрения далеких предметов. По мере приближения предмета мышца напрягается, хрусталик становится более выпуклым, поэтому он больше преломляет световые лучи: следовательно, изображение предмета снова попадает на сетчатку и мы хорошо его видим.

Свойство глаза приспособляться к наблюдению близких или далеких предметов называется аккомодацией.

Во время наибольшего напряжения нормальный глаз может видеть предмет, находящийся от него на расстоянии около 12 см, но при этом он быстро утомляется.

Наилучшее для глаза расстояние до предмета, при котором глаз не утомляется около 25 см. Оно называется расстоянием наилучшего зрения.

Угол, образованный лучами, идущими от краев предмета к глазу, т.е. угол, под которым виден предмет называют углом зрения.

Два предмета, имеющие различные размеры, могут дать на сетчатке изображения одинаковой величины. Это бывает тогда, когда углы зрения равны. Например, монета в 1 копейку, расположенная на расстоянии вытянутой руки, может заслонить диск Луны.

Мелкие предметы, расположенные на расстоянии наилучшего зрения (25 см), глаз видит тогда, когда их размеры приблизительно не меньше 0,04мм. Это соответствует толщине очень тонкого волоска или паутины. В этом случае угол зрения составляет одну минуту: это **предельный угол зрения**. Более мелких предметов глаз не видит. Предельный угол зрения около 1 минуты дает на сетчатке изображение не менее 0,004 мм. Это угол, под которым виден отрезок в 1 см на расстоянии 34 м от глаза (рис. 12).

Передний главный фокус глаза лежит на расстоянии 13,75мм от роговой оболочки.

Показатель преломления роговой оболочки, водянистой влаги и стекловидного тела для средней части спектра равен 1,336; показатель преломления хрусталика равен 1,437 в среднем (хрусталик состоит из разнородных слоев).

Оптический центр глаза лежит внутри хрусталика у самой задней его поверхности (рис. 2).

Прямая, проходящая через оптический центр глаза и середину желтого пятна, называется **оптической осью глаза** или **глазной осью** (рис. 2).

## **1.8 Бинокулярное зрение**

Левый и правый глаз видят по-разному. Изображения на сетчатке немного отличаются, так как каждый глаз воспринимает и передаст в мозг обозреваемую картину независимо друг от друга. В зрительном восприятии эти картины накладываются друг на друга, поэтому предмет виден нам в трех измерениях, объемно стереоскопически. Такое объемное восприятие рассматриваемых объектов называется **стереоскопическим эффектом**. Способность человека воспринимать рассматриваемый предмет одновременно обоими глазами называется **бинокулярным зрением**. Бинокулярное зрение на расстоянии наилучшего зрения (25см) обеспечивает более точную оценку расстояний и взаимного расположения предметов. Кроме того, рассматривая предмет, мы располагаем оси

глаз под определенным углом. Инстинктивная оценка этого угла тоже служит мерой расстояния до предмета. Так, например, далеко расположенные предметы мы видим уменьшенными (см. рис. 13).

В оптимальных условиях точность бинокулярных оценок определяется минимально заметным различием параллаксов и составляет 10 секунд.

На расстоянии наилучшего зрения это соответствует 0,003...0,005%, а на расстоянии 100 м 5...7% расстояния до предмета.

**Параллактическое смещение** - это изменение направления на предмет при перемещении наблюдателя.

Посмотрите на вертикально поставленный карандаш сначала одним глазом, затем другим. Вы увидите как он при этом переменяет положение на фоне далеких предметов, направление на него изменилось. Чем дальше Вы отодвинете карандаш, тем меньше будет параллактическое смещение. Оценка на основе монокулярного зрения редко бывает точнее 10%. По этой причине при визуальном контроле бинокулярное зрение является предпочтительнее.

Чувствительность человеческого глаза к свету очень велика - она во много раз превосходит чувствительность современных фотопластин.

*Например:* в темноте при отсутствии атмосферных помех человек способен различить далеко расположенные предметы. Однако, такой огромной чувствительностью глаз обладает лишь тогда, когда человек длительное время (около 1 часа) находится в темноте. Если же человек сразу из освещенного помещения попадает в темноту, то его глаза первое время ничего не различают. Лишь постепенно начинают вырисовываться предметы. Такое приспособление глаза к темноте называется **адаптацией к темноте**.

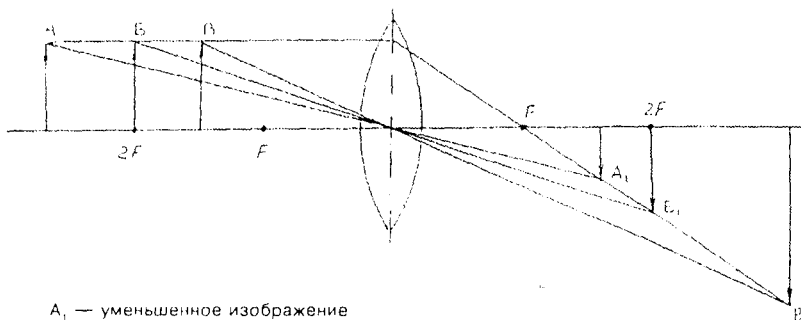
Привыкший к темноте глаз способен воспринимать световую энергию:

(при длине волны 500 нм - зелено-голубой) порядка  $1 \cdot 10^{-15}$  адж (аттоджоулей) - одна квинтиллионная - это энергия от 2 до 8 фотонов.

- Наименьшая освещенность воспринимаемая привыкшим к темноте глазом -  $10^{-9}$  лк.

- Наименьшая освещенность, при которой глаз, привыкший к темноте, отличает белую поверхность от черной -  $10^{-6}$  лк.

- Высота полета самолета, с которой летчик в ясную безлунную зимнюю ночь может видеть свет свечи - 4...9 км.

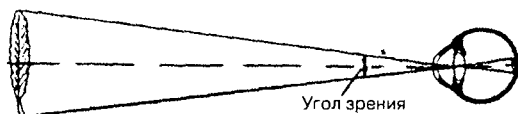
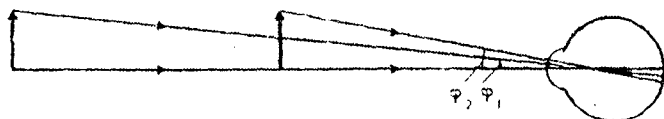


$A_1$  — уменьшенное изображение

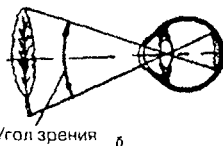
$A_2$  — натуральное изображение

$A_3$  — увеличенное изображение

Рис. 11

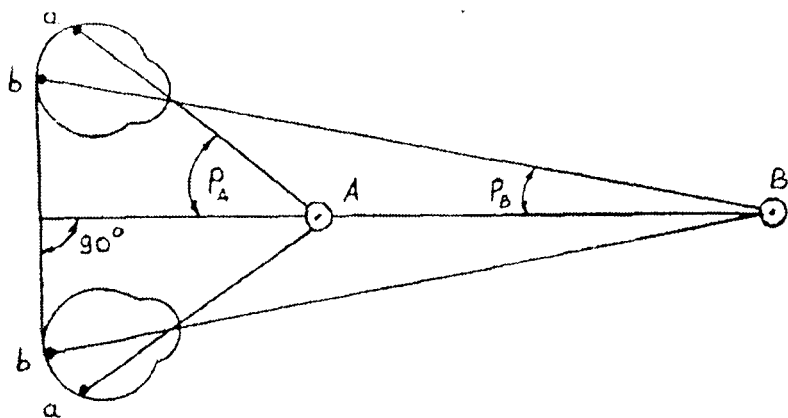


а



Когда предмет отдаляется, то величина его изображения на сетчатке глаза уменьшается.

Рис. 12



P — параллакс

$$P_A > P_B$$

Рис. 13

При выходе из темного помещения человек так же утрачивает способность хорошо различать предметы, и требуется некоторое время, чтобы глаз мог привыкнуть к яркому освещению. Приспособление глаза к освещенным предметам называется **адаптацией к свету**.



## **2. Основные параметры VT. Способы измерения основных параметров. Измеряемые характеристики и признаки обнаруженных дефектов**

### **2.1 Видимость объектов. Контрастная чувствительность зрения**

Под **видимостью** понимают степень различимости объектов при их наблюдении.

Для НК существенное значение имеет видимость близко расположенных объектов. Эта видимость, помимо психофизиологических свойств зрения, зависит от продолжительности рассмотрения, а также от следующих основных факторов:

- контраста;
- яркости;
- цвета;
- угловых размеров объекта;
- резкости его контура;
- условий освещения.

Каждому из указанных свойств соответствует свой абсолютный порог видимости, ниже которого предмет не может быть виден, сколь бы благоприятны ни были условия наблюдения с точки зрения других факторов (рис. 14).

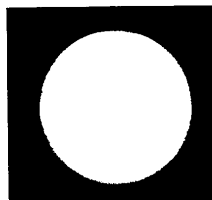
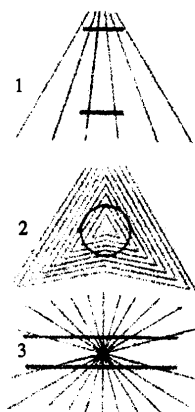
Например, при слишком малой яркости и очень малой контрастности предмет нельзя сделать видимым никаким увеличением угловых размеров или продолжительности рассматривания.

Видимость близко расположенных предметов зависит так же от:

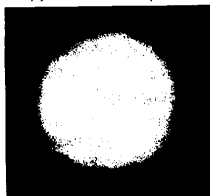
- положения источника света (при ослепляющем их воздействии видимость снижается);
- спектрального состава их излучения;
- усталости контролера;
- степени адаптации глаза к условиям освещения;
- монокулярности или бинокулярности зрения;
- степени приближения условий работы к комфортным (шум, вибрация, тепловое воздействие).

## Восприятие изображения зависит от фона, на котором он находится

Влияние характера изображения рисунков на формирование зрительного образа и зрительной иллюзии



Белый круг, четко очерченный на фоне синего квадрата кажется большим, чем такой же круг нечетко очерченный.



- 1 — верхняя линия кажется более длинной, чем нижняя;
- 2 — круг на фоне треугольников кажется неправильным;
- 3 — горизонтальные линии на фоне вертикальных кажутся непараллельными.

**Рис. 14**

Однако наиболее важными условиями видимости считаются **контраст и угловые размеры** объекта.

Под **контрастом** понимают свойство объекта выделяться на окружающем фоне благодаря различию их оптических свойств.

Способность глаза замечать различие нескольких одновременно видимых объектов называется **контрастной чувствительностью зрения**.

Контрасты, различаемые дефектоскопистом, разделяют на **яркостные и цветовые**.

В первом случае два излучения производят на глаз впечатления, одинаковые по цветности, но разные по яркости.

Во втором случае впечатления различаются по цветности.

За меру яркостного контраста принимают отношение:

$$K = \frac{B_{\phi} - B_o}{B_{\phi}}$$

**$B_o$**  - яркость рассматриваемого объекта (кд/м<sup>2</sup>)

**$B_{\phi}$**  - яркость окружающего фона (кд/м<sup>2</sup>)

При  $K > 0,5$  - контраст считается большим;  $0,2 < K \leq 0,5$  - средним;  $K \leq 0,2$  - малым.

Наиболее отчетливое восприятие изображения возможно при максимальном контрасте между объектом и фоном.

Максимального яркостного контраста можно достигнуть при использовании белого и черного цветов, которые имеют соответственно наибольший и наименьший коэффициенты отражения. При солнечном освещении коэффициент отражения составляет 65...80% для белого и 3...10% для черного цвета. Яркостный контраст 85...95%.

Сравнение величин контраста между черным и белым цветами и хроматическими (всеми остальными цветами спектра) показывает, что наибольший контраст белый цвет образует с красным цветом, а черный с желтым цветом, чем объясняется применение именно такого сочетания цветов в капиллярном контроле: в цветном контроле это красные индикаторные следы на белом фоне проявителя; в люминесцентном - желто-зеленые индикации на черном фоне.

В работе глаза существенную роль играет минимальная величина яркостного контраста, которую дефектоскопист еще способен различать.

Эта предельно малая величина контраста называется **порогом контрастной чувствительности глаза** ( $K_{пор}$ ).

Порог контрастной чувствительности для большинства людей составляет 0,01...0,02 (т.е. 1...2%) при наблюдении в дневных условиях объектов с угловыми размерами не менее 0,5 градусов при оптимальных условиях осмотра. В реальных условиях  $K_{пор} =$  примерно 0,05 (5%).

Отношение величины наблюдаемого контраста ( $K$ ) к величине порогового контраста ( $K_{пор}$ ) в данных условиях определяет **видимость объекта** ( $V$ ) - это степень различимости объектов при их наблюдении.

$$V = \frac{K}{K_{пор}}$$

Например:  $K=15-20\%$

$K_{пор} = 5\%$ , тогда видимость дефектов на поверхности деталей составляет 3-4.

Под **цветовым контрастом** понимают меру различия цветов по их цветовому тону, насыщенности и яркости. **Контраст по цветовому тону** ( $K_t$ ) характеризуется степенью различия цветов на цветовом круге Ньютона (см. схему расположения цветов, цветная вклейка II).

Наиболее сильным будет восприятие двух цветовых полей, если цвета расположены в круге диаметрально.

Примерный интервал в градусах между сравниваемыми цветами на цветовом круге при

"большом" контрасте  $110^\circ < K_t \leq 180^\circ$

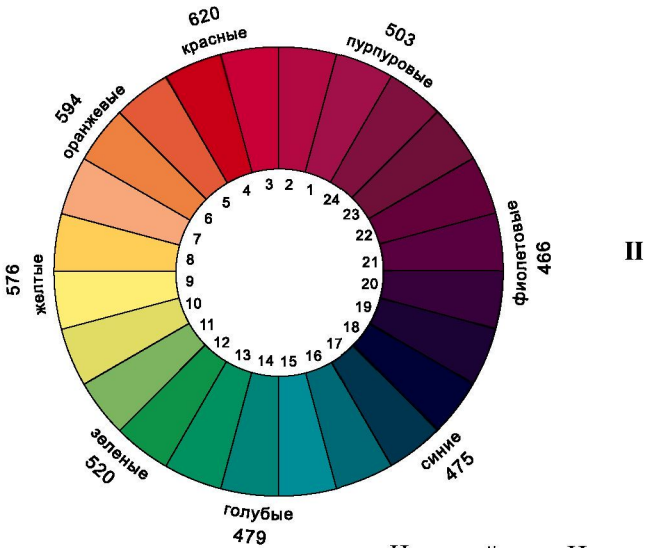
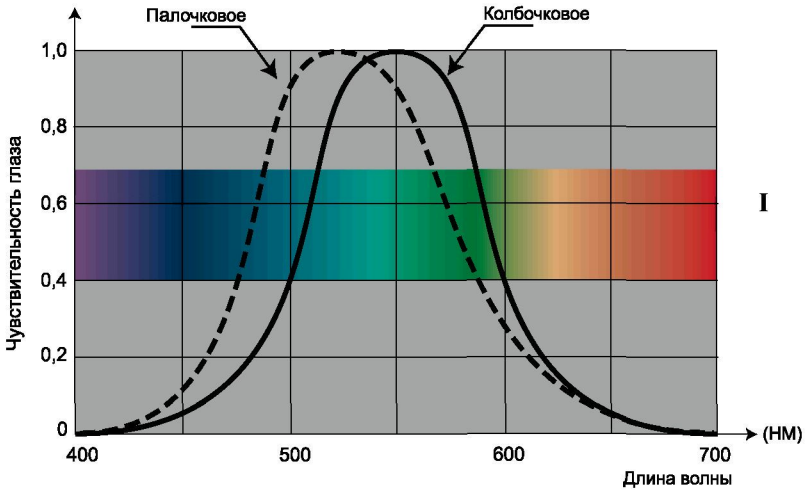
"среднем"  $70^\circ < K_t \leq 110^\circ$

"малом"  $70^\circ > K_t$

**Контраст по насыщенности краски** ( $K_M$ ) характеризует отношение разности величины насыщенности двух красок к большей насыщенности:

$$K_M = \frac{M_1 - M_2}{M_1}, \text{ где}$$

## Чувствительность глаза в зависимости от спектра



Цветовой круг Ньютона

$M_1$  и  $M_2$  - насыщенность сравниваемых цветов  $M_1 > M_2$ .

При осмотре крупных цветных объектов оптимальные условия для работы глаза - при среднем цветовом контрасте между объектом и фоном. При поиске мелких дефектов на поверхности детали цветовой контраст между ними и поверхностью должен быть максимальным.

## **2.2 Разрешающая способность и острота зрения**

Значительная часть информации, которую можно получить из показаний, зависит от нашей способности различить ее "форму". Особенно это важно, когда необходимо отличить значимое показание от ложного, вследствие, например, случайной тени или пятна. Поэтому разрешающая способность глаза и острота зрения играют существенную роль в визуальном контроле.

**Разрешающей способностью глаза** называют способность раздельно воспринимать (различать) близко расположенные друг к другу точки, линии или другие дефекты.

Разрешающая способность характеризуется величиной минимального угла между контурами раздельно воспринимаемых объектов или числом раздельно видимых линий на  $1^\circ$ . Способность глаза различать две точки с минимальным углом между ними в 1 минуту считается нормой.

**Остротой зрения** называют способность глаза замечать мелкие "детали" или различать их форму. Остроту зрения определяют величиной минимального углового размера объекта, воспринимаемого глазом при максимальном контрасте.

Для нормального глаза в оптимальных условиях осмотра острота зрения равна 2...4 минуты. При остроте зрения 2 минуты на расстоянии наилучшего зрения (250 мм) глаз может различать детали размером не менее 0,15 мм.

Острота зрения и разрешающая способность характеризуют возможность глаза видеть мелкие объекты.

Острота зрения и разрешающая способность зависят от:

- освещенности объекта;
- диаметра зрачка глаза;
- продолжительности осмотра;
- спектральной характеристики объекта и др. факторов.

Но в первую очередь эти свойства обусловлены структурой сетчатки и дифракцией света в глазных средах.

Если изображение предмета умещается в одном элементе сетчатки, глаз воспринимает этот предмет в виде точки, не различая его формы. Две точки глаз различает раздельно, если изображения их на сетчатке будут находиться на разных ее элементах, разделенных не менее чем одним нераздраженным элементом.

При дневном зрении разрешающая способность максимальна в центральной ямке сетчатки, где наиболее плотно расположены колбочки. Здесь разрешающая способность в оптимальных условиях составляет 50...70 линий на  $1^\circ$ .

При удалении от центральной ямки на  $5^\circ$  разрешающая способность составляет 0,33 максимальной. При  $20^\circ$  - 0,1 максимальной. Это связано с изменением структуры сетчатки, увеличением диаметра палочек и колбочек, а также с увеличением рецептивных полей: к одному нервному волокну здесь сходятся сигналы от сотен палочек и десятка колбочек. Кроме того, уменьшение разрешающей способности связано с меньшей резкостью изображения, создаваемого хрусталиком в периферийных участках сетчатки.

Каждая рассматриваемая точка вследствие дифракции и рассеяния света в глазных средах воспринимается глазом в той или иной степени не резко, в виде дифракционного кружка рассеяния.

**Дифракцией** называются огибание светом непрозрачных тел, выражающееся в отступлении от прямолинейного хода лучей (рис. 15).

Дифракционный кружок при средней освещенности и средней длине волны 550 нм составляет 0,009 мм. Так как диаметр самых маленьких рецепторов-колбочек в центральной ямке сетчатки составляет около 0,001 мм, то разрешающая способность глаза и острота зрения в таких условиях, как видно, ограничиваются только дифракцией света.

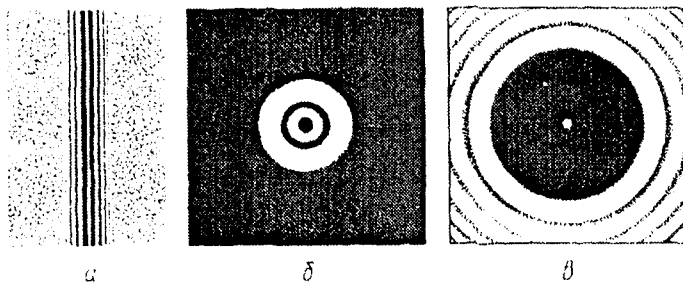
Наиболее высокая острота зрения наблюдается при диаметре зрачка 3...4 мм, что соответствует общей освещенности от 100 до 1000 лк.

При диаметре зрачка более 4 мм острота зрения снижается из-за погрешности (абберации) оптики глаза, при диаметре 2,5...3 мм (что соответствует общей освещенности 2000...2500 лк) она падает из-за дифракции света.

**Примечание:**

Если свет представляет собой волновой процесс, то, кроме интерференции, должна наблюдаться и дифракция света. Ведь дифракция - огибание волнами краев препятствий - присуща любому волновому движению. Но наблюдать дифракцию света нелегко. Дело в том, что волны заметным образом огибают препятствия, размеры которых сравнимы с длиной волны, а длина световой волны очень мала. Пропуская тонкий пучок света через маленькое отверстие, можно наблюдать нарушение закона прямолинейного распространения света. Светлое пятно против отверстия будет большего размера, чем это следует ожидать при прямолинейном распространении света. В 1802 г. Юнг, открывший интерференцию света, поставил классический опыт по дифракции. В непрозрачной ширме он проколол булавкой два маленьких отверстия В и С на небольшом расстоянии друг от друга. Эти отверстия освещались узким световым пучком, прошедшим, в свою очередь, через малое отверстие А в другой ширме. Именно эта деталь, до которой очень трудно было додуматься в то время, решила успех опыта. Интерferируют только когерентные волны. Возникшая в соответствии с принципом Гюйгенса сферическая волна от отверстия А возбуждала в отверстиях В и С когерентные колебания. Вследствие дифракции из отверстий В и С выходили два световых конуса, которые частично перекрывались. В результате интерференции световых волн на экране появлялись чередующиеся светлые и темные полосы. Закрывая одно из отверстий, Юнг обнаруживал, что интерференционные

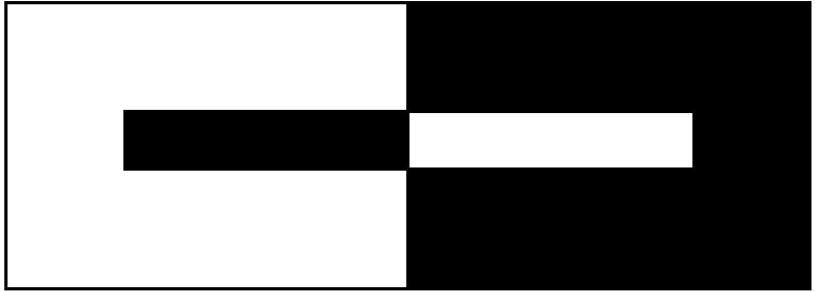
полосы исчезали. Именно с помощью этого опыта впервые Юнгом были измерены длины волн, соответствующие световым лучам разного цвета, причем весьма точно.

**Рис. 15**

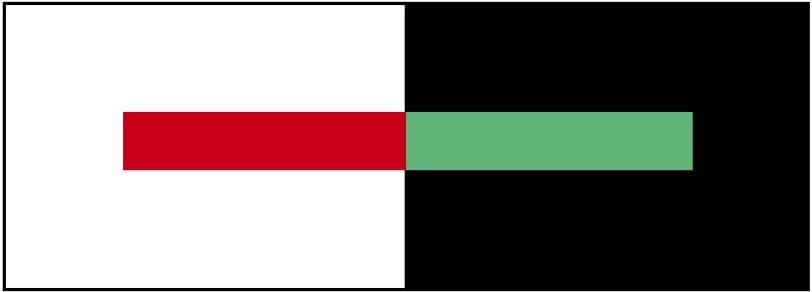
Показано, как выглядят на фотографиях дифракционные картины от различных препятствий:

- а) тонкой проволоочки;
- б) круглого отверстия;
- в) круглого экрана





а)



б)

а) - иррадиация света в глазу человека;

б) - цветная схема люминесцентного и цветного методов регистрации дефектов с помощью дефектоскопических материалов.

**Рис. 16**

**Абберрацией (сферической)** называется пересечение преломленных глазом лучей в разных точках сетчатки.

**Абберрацией (хроматической)** называется неравно-мерное преломление различных по длине волны лучей спектра с фокусировкой каждого из них на отдельной плоскости. Наблюдаемое изображение имеет радужный ореол.

Минимальное расстояние между точками, воспринимаемыми глазом раздельно определяется формулой:

$$R = l \sin\alpha, \text{ где}$$

$l$  - расстояние от глаза до плоскости точек,

$\alpha$  - минимальный разрешаемый угол поля зрения.

Для нормального глаза с разрешающей способностью 1 ( $\alpha=1$  минуте,  $l = 250$  мм) при хорошей освещенности расстояние между раздельно воспринимаемыми точками составляет 0,075 мм. Приблизительно эту величину принимают равной 0,1мм. (По ГОСТ 23479-79 "Методы оптического вида")

На разрешающую способность и остроту зрения оказывает влияние **иррадиация**, которая заключается в кажущемся увеличении размеров светлых предметов на темном фоне. Чем светлее предмет, тем он кажется крупнее. Это явление при нормальном освещении повышает остроту зрения, однако, снижает разрешающую способность глаза. Мелкие светлые одиночные

объекты, например, тонкая трещина при люминесцентном контроле, из-за иррадиации легко обнаружить. Однако, две близко расположенные линии могут быть восприняты как одна (рис. 16).

Острота зрения входит в обязательные параметры зрения дефектоскописта и контролируется ежегодно при медицинском осмотре.

## **2.3 Цветощущение**

Цвет приобретает значение при осмотре в зависимости от поставленной перед наблюдателем задачи. Помимо тех заданий, в которых цвет является главным критерием качества (как, например, при оценке красок), существует множество промышленных проблем, в которых цвет может оказаться одним из важных показателей

фиксирования и опознавания несплошностей. *Например:* классификация продуктов окисления на металлических поверхностях почти всегда основывается на их расцветке.

**Прежде всего цвет - "явление"**. В этимологическом смысле это означает: нечто "кажущееся нам таким". Т.е., мы имеем дело с субъективным фактором, соответствующим физическим понятием которого является частота электромагнитного излучения или другими словами - свет.

Нормальный человек отождествляет некоторые цвета как "чистые", а другие кажутся ему смешанными, т.е. "не чистыми", "загрязненными".

Все тела в природе разделяются на **светящиеся** и **несветящиеся**. Светящиеся являются источником света. Несветящиеся тела не излучают свет, а становятся видимыми только в присутствии других светящихся тел за счет отражения от их поверхности.

Если луч белого света пропускать через стеклянную призму, то он, преломляясь, дает на экране удлиненное изображение с радужным чередованием цветов (см. рис. 17).

Такая радужная полоска называется **спектром**, а явление разложения белого цвета на составляющие цветные лучи И.Ньютон назвал **дисперсией** света (от латинского "дисперсус" - рассеянный), (В 1666 - 1667гг.)

Цвет окружающих нас тел значительно отличается от чистых спектральных цветов. Некоторые цвета, такие как черный, белый, различные оттенки серого, коричневого и пурпурного, вообще не встречаются в спектре.

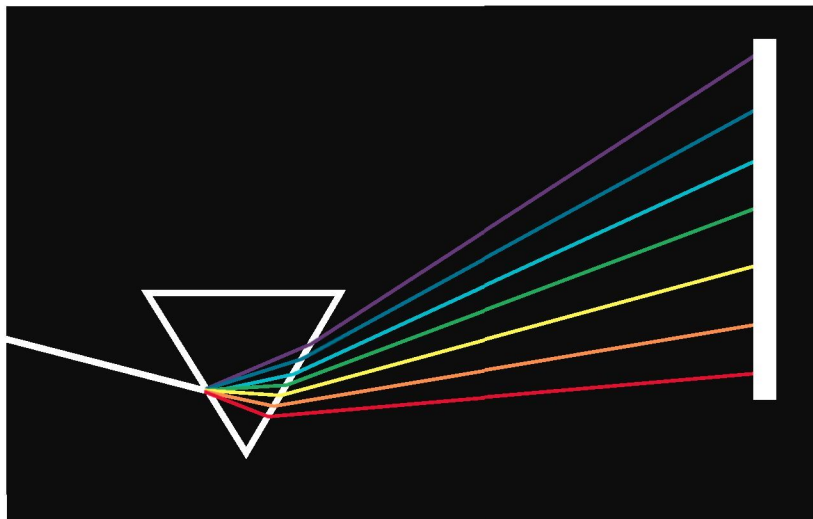
Цвета делят на ахроматические (черный, белый, серые) и хроматические (все остальные цвета спектра).

Хроматические цвета отличаются цветовым тоном, яркостью (светлотой) и насыщенностью.

Под **насыщенностью** цвета понимают степень отличия данного цвета от одинакового по светлоте серого цвета.

При некотором повышении освещенности объекта находящегося первоначально в полной темноте, он становится видимым. Наименьшее значение освещенности, создаваемой объектом на зрачке наблюдателя, при котором объект становится заметным, называется **световым порогом** ( $E = 10^{-6}$ лк).

При дальнейшем увеличении освещенности глаз начинает различать цвет. Наименьшее значение освещенности на зрачке



I. Схема разложения белого света в спектр с помощью призмы.

II. Разложение и синтез белого света с помощью призмы.

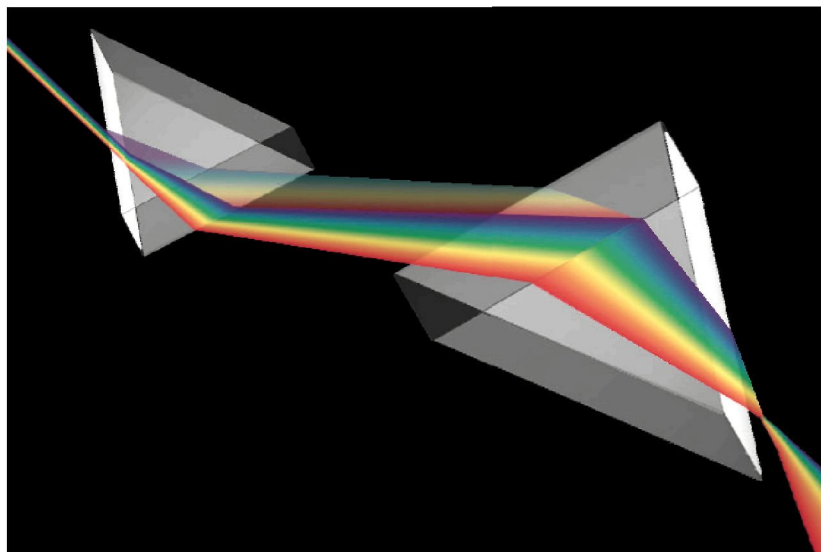


Рис. 17

наблюдателя, соответствующее этому моменту, называют **цветовым порогом** ( $E = I_{лк}$ ).

Оказывается, что цветовой порог для красного цвета совпадает со световым порогом, а для остальных цветов лежит выше светового порога. Это значит, что очень слабый зеленый или синий цвет наблюдатель не будет различать до наступления цветового порога.

Для красных лучей, кроме совпадения порогов чувствительности, характерна сравнительно большая проходимость в атмосфере, кроме того, красный цвет имеет соответствующие психологическое воздействие, поэтому он и выбран в качестве запрещающего сигнала.

Для слабого света кривая видности смещена в сторону более коротких длин волн (пунктирная кривая на графике относительной спектральной чувствительности "стандартного зрения" (см. цветную вклейку I)). Поэтому при переходе от яркого света к слабому синие и фиолетовые цвета выигрывают в яркости по сравнению с красным, оранжевым и желтым (эффект Пуркинье).

Приборы для проверки насыщенности цвета (колориметры):

- зрительный,
- фотоэлектрический.

Каждой длине волны света соответствует разное значение светового порога: раньше других становятся заметными синие объекты, позже всех красные.

**Длина световой волны ( $\lambda$ )** - определяет цвет света

$$\lambda = c / \nu \text{ (м), где}$$

$c$  - скорость света  $3 \cdot 10^8$  (м/с),

$\nu$  - частота колебаний ( $c^{-1}$ ) = (Гц).

Область видимой части спектра заключена в границах длин волн от 760 до 380 нм.

Опыт показывает, что для получения белого света достаточно смешать лучи всего двух определенных цветов, например, синий и желтый или оранжевый и голубой. Такие два цвета, образующие при смешивании белый цвет, называются **дополнительными**. Все другие цвета можно получить при смешивании цветных лучей по два, по три, по четыре и т.д. Опыты показали, что для получения всевозможных цветов достаточно смешать лучи только трех определенным образом, выбранных цветов - **синего, зелёного и красного** (см. цветную вклейку III).

Эти данные легли в основу трехцветной теории зрения, заложенной еще в 1767 году М.В. Ломоносовым и развитой затем академиком П.П. Лазаревым и Г. Гельмгольцем.

По этой теории в глазу существуют три рода окончечностей нервов отзывающихся: один род - только на красные лучи; другой - только на зеленые; третий - только на фиолетовые.

Пока попадает в глаз только один из перечисленных выше цветов он и приводит в действие соответствующие окончечности. Если же попадает какой-нибудь промежуточный луч, то он приводит в действие окончечности нервов, отзывающиеся на оба основных соседних луча, притом в различной степени. Так, все цвета, лежащие в спектре между красным и зеленым, возбуждают те органы, которые отзываються на красное и зеленое, только в каждом случае в различной степени. При попадании в глаз сложных цветных лучей отзываються одновременно в разных степенях все три рода окончечностей нервов.

### *Почему тела нам кажутся окрашенными?*

Если на поверхность предмета падают лучи белого света, то часть из них отразится, а часть проникнет вглубь предмета и будет им поглощена.

Если предмет в одинаковой степени отражает большую часть лучей всех цветов, входящих в состав белого цвета, то он кажется белым, если в одинаковой степени поглощает только часть лучей, то серым; если же поглощает почти все лучи - черным.

Если же все лучи пройдут сквозь предмет без поглощения (например, через воду, воздух, стекло), то он будет бесцветным.

Направим на красную бумагу и красное стекло пучок белого света. Бумага и стекло поглотят все лучи из состава упавшего на них света, за исключением красных. Но красная бумага отразит красные лучи, а красное стекло пропустит их. Поэтому бумага будет казаться красной в отраженном свете, а стекло будет красным на просвет.

Также объясняется окраска и других предметов.

Таким образом, окраска тел объясняется избирательным поглощением, т.е. свойством тел поглощать в неодинаковой степени лучи разных цветов.

Цвет объекта и фона оказывает влияние на психические процессы человека, его работоспособность и чувствительность зрения. Поэтому цветоощущение является второй важной характеристикой зрения, которую проверяют у дефектоскописта.

## **2.4 Временные характеристики зрения**

Время, необходимое для возникновения зрительного ощущения, зависит от яркости объекта и длины волны и в среднем колеблется от 0,025 до 0,1 секунды.

При осмотре объектов, его детали, привлекающие внимание, поочередно проецируются на центральную часть сетчатки, обладающую максимальной разрешающей способностью.

Глаз, как и любая реагирующая система, обладает инерцией. Возникшее световое ощущение исчезает не сразу. Поэтому быстро движущаяся точка видна в виде светящейся линии. Критическая частота слияния зависит от амплитуды колебаний (контраста) и обычно не превышает 50 Гц.

Глаз в процессе наблюдения то относительно неподвижен, то резким скачком поворачивается на угол 10...20°. В среднем происходит от 2-х до 5-ти скачков в секунду. При этом скорость луча зрения, скользящего по детали достигает 300...400 мм/с. Трещины длиной 2...5 мм при такой скорости осмотра могут быть не обнаружены. т.к. продолжительность их осмотра мала (0,005-0,01 сек) и зрительное ощущение не успевает сформироваться.

Эти ограничения должны учитываться при контроле деталей.

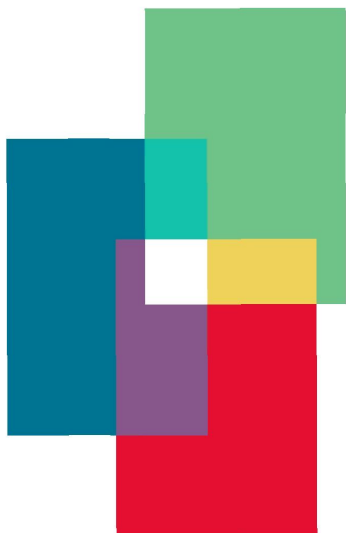
## **2.5 Усталость**

Визуальное обследование становится нередко тяжелой нагрузкой для глаза, поэтому рано или поздно появляется усталость.

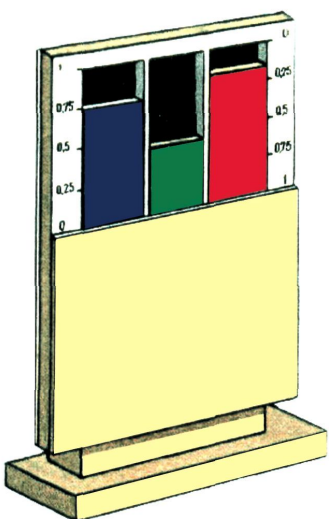
Самым заметным следствием визуальной (зрительной) усталости считается появление ошибок и пропусков в работе дефектоскописта. С медицинской точки зрения самыми частыми симптомами усталости являются покраснения глаз и головные боли.

По результатам работ, изучающих визуальную усталость, можно сделать следующие выводы:

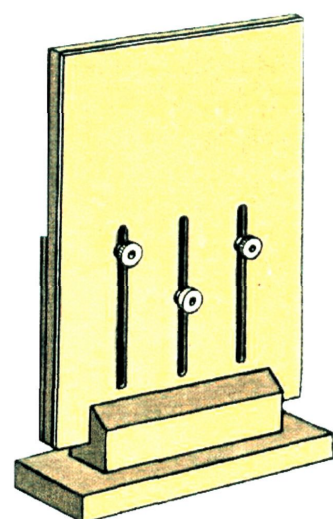
- 1) усталость растет по мере понижения освещения в рабочей зоне;
- 2) неправильное освещение с сильными всплесками яркости и/или густой затемненности тоже увеличивают усталость;
- 3) монотонность работы;



Оптическое смешение



Механическое смешение



III

IV



4) зависит от состояния здоровья, личных или связанных с работой забот, предварительной усталости.

Поэтому при планировании работ по визуальному контролю, необходимо учитывать сказанное выше, устанавливая правильное время длительности наблюдений и интервалов для отдыха.

## **2.6 Единицы измерения света и энергии**

**Освещенность (E)** - плотность светового потока на определенном расстоянии от центра источника. Измеряется световым потоком, приходящимся на единицу площади поверхности

$$E = \frac{\Phi}{S} \text{ (лк)} \text{ люкс от лат. «свет» лм/м}^2, \text{ где}$$

$\Phi$  - световой поток (лм «люмен»)

$s$  - площадь на которую падает свет ( $\text{м}^2$ )

**Световой поток (Ф)** - общая мощность света, излучаемая источником.

$$\Phi = E \times S \text{ (лк} \times \text{м}^2 = \text{лм)}$$

$$1 \text{ лм} = 1 \text{ кд} \times 1 \text{ ср} \text{ (кандела на стерадиан)}$$

**Стерадиан** - телесный угол, равный единице (омега)  $\Omega$

$$\Delta\Omega = \frac{\Delta S}{r^2}, \text{ где } \Delta S \text{ - площадь поверхности шарового сегмента.}$$

1 кандела равна 1/60 силы света в направлении нормали, получаемой с  $1\text{см}^2$  поверхности черного тела при температуре затвердевания платины  $2042^\circ\text{K}$

$$(1^\circ\text{K} = 273,15^\circ\text{C})$$

1 кандела - старое название 1 свеча.

## Освещенность плоской поверхности

$$E = \frac{I \cos \alpha}{r^2} (\text{лк}), \text{ где}$$

**I** - сила света (кд) в канделах

**r** - расстояние до освещаемой поверхности (м)

**$\alpha$**  - угол между направлением светового потока и нормалью к поверхности (град)

**Сила света (I)** - называется световой поток, излучаемый точечным источником света в единичный телесный угол.

$$I = \frac{\Phi}{\Omega} (\text{кд}), \text{ где}$$

**$\Phi$**  - световой поток (лм)

$$\Omega - \text{телесный угол (ср)} = 4\pi = \frac{4\pi R^2}{R^2} = \frac{S}{R^2} = \Omega$$

**Яркость (B)** - мера излучения светящейся поверхности.

$$B = \frac{I}{S} \text{ кд} / \text{м}^2 = \text{нт (нит)}, \text{ где}$$

**I** - сила света (кд),

**S** - величина видимой поверхности ( $\text{м}^2$ ).

**Энергетический поток** - это общая мощность, излучаемая источником света и выражаемая в ваттах ( $1\text{Вт} = \text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-3}$ ).

**Энергетическая сила света (сила излучения)** - ватт на стерадиан ( $\text{Вт/ср} = \text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-3} \cdot \text{ср}^{-1}$ ).

## **2.7 Уровни освещенности и приборы для ее измерения**

Достоверность визуально-оптического контроля определяется многими факторами, среди которых большое значение имеют условия труда. Рабочее место для ВОК должно быть рассчитано, как правило, на работу сидя. Вентиляция, отопление, освещение должны обеспечивать условия труда близкие к комфортным. Обычно для осмотра деталей естественного света недостаточно, поэтому даже в дневное время приходится пользоваться искусственным освещением.

В производственных условиях используют следующие системы искусственного освещения:

**Общее равномерное** - светильники равномерно распределены по всей площади помещения и создают во всех точках примерно одинаковую освещенность.

**Общее локализованное** - светильники распределены неравномерно или снабжены лампами разной мощности и создают в различных частях помещения неодинаковую освещенность.

**Местное** - светильники (стационарные или переносные) расположены только на рабочем месте. При таком освещении в разных точках помещения создается резко различающаяся освещенность.

**Комбинированное** - на рабочем месте имеется местное освещение, и по всей площади помещения - общее, создающее освещенность не менее 10% от нормируемой.

С экономической точки зрения выгодно местное освещение, с гигиенической - общее. Поэтому на участках контроля применяется общее, локализованное или комбинированное освещение.

В любой методике визуального контроля необходимо указывать уровень или уровни освещения для данного контроля, а это зависит от характера того, что должно быть зафиксировано. Крупные разрывы на крупногабаритных деталях могут быть обнаружены при освещенности прядка 160...200лк. Однако большинство трудностей связано с восприятием малых или малоcontrastных разрывов. В этих случаях уровень освещенности должен быть не ниже 300лк (**по ГОСТ 23479**).

Различают прямое, отраженное и полумонохромное освещение объектов контроля (см. таблицу 1):

**Прямым** называют такое освещение, когда лучи света попадают от источника света непосредственно на рабочее место и объект контроля.

**Отраженное** - когда лучи света попадают на объект контроля после диффузного отражения от какой-либо поверхности, а лампы помещают под непрозрачными рефлекторами.

**Полуотраженное** - когда часть лучей попадает от источника света непосредственно на рабочую поверхность, а часть - после отражения от какой-нибудь поверхности.

Прямое освещение - самое неблагоприятное для глаз, так как получается большая неравномерность освещения и резкие тени, а источник часто попадает в поле зрения и слепит дефектоскописта.

Отраженное освещение для глаз более благоприятно, однако, при нем происходит значительная потеря света вследствие его поглощения отражающими поверхностями.

Поэтому при ВОК наиболее целесообразно применять полуотраженное освещение.

В качестве источников света более совершенными являются люминесцентные лампы, спектральный состав которых ближе к естественному, чем у ламп накаливания. Однако, у них есть существенный недостаток - колебание светового потока (стробоскопический эффект), который устраняется установлением на рабочем месте 3-х ламп, подключенным к разным фазам электрической цепи или использованием дросселей.

Рабочие места для осмотра деталей целесообразно освещать ртутными люминесцентными лампами типа ЛД (ГОСТ 6825-74 - лампами дневного света).

К ним можно добавить лампы ЛДЦ (лампы дневные для правильной цветопередачи) в количестве 30...40% общего числа ламп. Лампы ЛД можно применять также в сочетании с лампами накаливания.

Лампы накаливания должны быть только в "молочной" или матированной колбе.

Для временного освещения рабочей зоны подвешивают переносные сетевые светильники РПО-220, РВО-220, ОП-6-3-220 и др. (ГОСТ 7110-75), а также источники света низкого напряжения ПЛ-36-10, ПЛ-64, РВО-36, РВО-36.

Контроль деталей во взрывоопасных помещениях производят с применением ручных светильников СПВ-9 (ГОСТ 5.884-71) с напряжением питания 12 вольт.


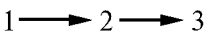
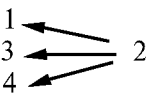
Материал и цвет покрытия рабочей поверхности столов выбирают так, чтобы уменьшить яркостные контрасты в поле зрения дефектоскописта, а также не допустить слепящего действия света, отраженного от покрытия.

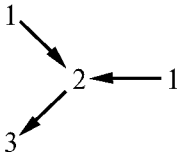
Желательно покрывать столы светло-зеленым или светло-голубым неблестящим пластиком. Поверхность стола не должны быть белой, ее нельзя покрывать стеклом.

Для измерения электромагнитного излучения каким является свет в видимой полосе спектра используются различные приборы. Наиболее распространенный - люксметр. Используемая на практике модель состоит из фотоэлемента, снабженного корректирующими фильтрами, чтобы привести ответ в соответствие со зрительным ответом. Шкалы люксметра неравномерные, градуированы в люксах. Например: люксметр мод. Ю-116.

Для этих же целей используются спектрорадиометры (СПИ-86), болометры, фотометры и др.

**Таблица 1. Схема контроля методами оптического вида (по ГОСТ 23479-79 "Методы оптического вида")**

Способ освещения	Схема контроля	Область применения
В отраженном свете	 <p>A diagram illustrating reflected light control. It shows a light source labeled '1' on the left, a surface labeled '2' on the right, and an observer labeled '3' at the bottom. An arrow points from '1' to '2', and another arrow points from '2' to '3'.</p>	Контроль поверхностных дефектов непрозрачных материалов, измерение линейных размеров
В проходящем свете	 <p>A diagram illustrating transmitted light control. It shows a light source labeled '1' on the left, a surface labeled '2' in the middle, and an observer labeled '3' on the right. Arrows point from '1' to '2' and from '2' to '3'.</p>	Контроль внутренних напряжений, наличия включений в прозрачных материалах, измерение линейных размеров
В рассеянном свете	 <p>A diagram illustrating scattered light control. It shows a light source labeled '1' on the left, a surface labeled '2' on the right, and two observers labeled '3' and '4' at the bottom. Arrows point from '1' to '2', and from '2' to both '3' and '4'.</p>	Контроль диффузно отражающих изделий, обнаружение включений по методу темного поля, измерение блеска, цвета и яркости

Комбинированное освещение		Контроль кристаллов, полупрозрачных материалов, анализ структуры и микрорельефа поверхности изделий
---------------------------	---	---

*Обозначения:* 1 - источник излучения, 2 - объект контроля, 3 - приемное устройство, 4 - зеркальная составляющая отраженного потока.

*Примечания:*

1. Схема контроля зависит от размера и формы объекта и выбирается с учетом оптимальных условий выявляемости конкретного типа дефектов.

2. Параметры источника излучения (интенсивность, спектр, поляризация, пространственно-временное распределение интенсивности, степень когерентности) следует выбирать так, чтобы обеспечить максимальный контраст изображения.

## **2.8 Подготовка к проведению контроля**

Исходя из системы зрительного восприятия, рассмотрим поэтапно требования и условия, необходимые для правильного проведения визуального контроля:

- 1) Выбор персонала;
- 2) Идентификация обследуемого объекта;
- 3) Уровень освещения;
- 4) Блеск и геометрия деталей;
- 5) Геометрия и характеристики освещения;
- 6) Используемая техника наблюдения.

**Выбор персонала.** Как и при любом другом методе НК, отбор персонала производится, следуя определенным критериям:

- теоретические знания;
- опыт;
- общие физические способности;
- специфические физические способности;
- психологическая характеристика;
- экономические факторы.

Для визуального контроля самыми значимыми являются специфические физические способности и опыт.

Естественно, когда мы говорим о специфических физических данных, мы имеем в виду зрительные способности дефектоскописта. Невозможно проводить работу, не будучи уверенным в том, что персонал имеет хорошее зрение.

Совершенного зрения не бывает. Это значит, что необходимо учитывать несовершенства зрения, которые, разумеется, должны находиться под контролем и корректироваться, если глубина нарушения того требует.

Рассмотрим некоторые дефекты зрения, которые должны быть учтены и если потребуется, скорректированы.

**Дальнозоркость** (гиперметропия) - обычно болеют после 40 лет, зрительная усталость (рис. 18)

Корректируется двояковыпуклыми линзами

**Близорукость** (рис. 18) Корректируется двояковогнутыми линзами

**Астигматизм** - изменения кривизны хрусталика относительно меридианов.

Корректируется цилиндрическими очками.

**Косоглазие** - с понижением зрения одного глаза.

**Скотомы** - слепые участки сетчатки.

**Альбинизм** - отсутствие темных пигментов. Дефект при адаптации к свету.

**Ахроматопсия** - абсолютная слепота к цветовой гамме (105 случаев в мире).

**Дальтонизм** - (1% женщин и 6,6% мужчин).

• **дефтеранопы** - не различают оттенков, но воспринимают яркость, не отличают красный от зеленого;

• **протонопы** - не воспринимают красный цвет;

• **триганопы** - не воспринимают синий цвет.

**Катаракты** - помутнение хрусталика и др.

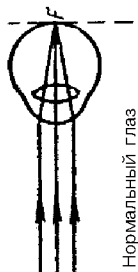
Острота зрения проверяется с 6 метров по таблице с буквами Снеллена или кольцами Ландиота.

Хроматические дефекты выявляются по тестам Исихары - опознавание цифр, образуемых цветными точками на фоне точек нейтральных цветов.

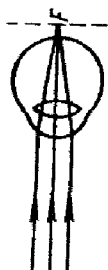
**Идентификация обследуемого объекта** - другими словами: что мы пытаемся обследовать и что пытаемся найти.

Интересно, что непосредственность и обиходность этого метода контроля как бы избавляет от таких уточнений. В таких случаях

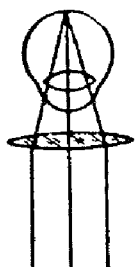
ДАЛЬНОЗОРКОСТЬ (гиперметропия)



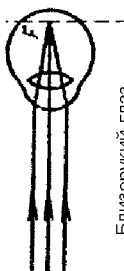
Нормальный глаз



Дальнозоркий глаз



БЛИЗОРУКОСТЬ (миопия)



Близорукий глаз



Рисунок 18



принято начинать смотреть " вдруг что-то увидишь". Очень важно располагать реальными примерами или хорошего качества фотографиями, которые необходимо изучить перед началом контроля. Затем должна быть составлена отчетная анкета, в которой должны быть зарегистрированы:

- присутствие окислов;
- дефекты вследствие производственного процесса;
- дефекты вследствие манипулирования (транспортировки и т.п.).

Контролер должен в протоколе произвести регистрацию выше перечисленных пунктов и сделать свои выводы.

**Уровень освещенности** устанавливается в соответствии с характером разыскиваемых дефектов:

- размер отыскиваемых дефектов;
- их визуальный контраст;
- расцветка и комплексный коэффициент отражения обследуемого тела в %.

*Например:*

чистая сталь - 55-60 %

чистый алюминий - 65-75 %

гладкая бронза - 15-20 %

серебро блестящее - 85-92 % и т.д.

## **2.9 Блеск и геометрия изделия**

Блеск материалов с высокой отражаемостью может вызвать ослепление и зрительную усталость (металлы и неметаллы).

Блеск уменьшают применением поляризованных стекол. Геометрия. Цилиндрические выпуклые части дают большое отражение (блеск), поэтому необходимо использовать рассеянный свет.

Ровные или вогнутые части дают отблеск, который устраняется правильным расположением источника света.

## **2.10 Геометрия и характеристики освещения**

- Блестящие поверхности освещаются лампами с большими поверхностями рассеянного света.
- Для освещения и одновременной манипуляции в зоне

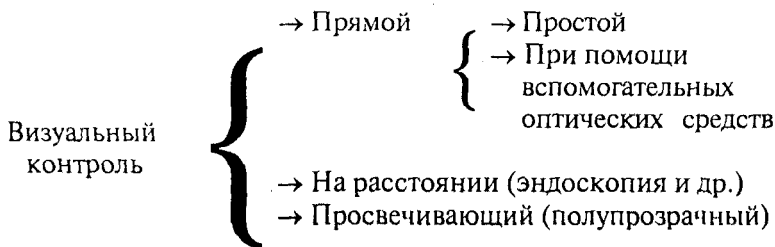
осмотра местный эллиптический фокус должен быть адаптирован к устройству манипуляции;

- Наклонное освещение предпочтительно применять для выявления рельефов;

- Очень темные материалы осматривать желательно при наклонном источнике света, который был бы расцвечен и проходил через источник рассеивания.

## **2.11 Используемая техника и методы наблюдения**

Перед контролем деталь должна быть очищена от грязи. Визуальный контроль может проводиться следующими способами:



**Прямой** - может проводиться только при условии, если глаза наблюдателя находятся на расстоянии не более 600мм от обследуемого предмета и всегда под углом  $\alpha$  более  $30^\circ$  (см. норму ASME).

**На расстоянии** может применяться только если он способен дать разрешающую способность равнозначную, по крайней мере, той, которая достигается при визуальном прямом контроле.

При прямом вспомогательные средства:

- зеркала;
- увеличительные линзы (лупы);
- призматические бинокли;
- световые фонари и т.д.

На расстоянии вспомогательные средства:

- телекамеры;
- фиброскопы;
- видеоэндоскопы;

- жесткие эндоскопы;
- перископы и т.д.

При любых обстоятельствах, выбранный способ и технические средства (освещение, вспомогательные оптические инструменты, способности контролера и т.д.) должны позволить хорошо рассмотреть черную линию толщиной 0,75 мм на 18% нейтральном сером фоне, и все это размещенное в тех же условиях, что и подготавливаемая к контролю поверхность.

## **2.12 Оформление результатов контроля**

Результаты контроля должны быть зарегистрированы в отчетной документации, которая включает следующие данные:

- а) Используемая форма записи:
  - дата проведения контроля;
  - состояние поверхностей;
  - способ подготовки поверхности под контроль;
  - используемый способ контроля (прямой или на расстоянии);
  - освещение;
  - вспомогательные оптические средства;
  - последовательность проведения контроля;
  - образцы документов.
- б) Идентификация контролера:
  - личная идентификация;
  - техническая идентификация;
  - изначальная годность;
  - дата прохождения последней медкомиссии;
- в) Критерии допустимости или браковки;
- г) Полученные результаты;
- д) Графическая регистрация (фотографии, рисунки и т.д.).

### **3. Аппаратура и измерительные инструменты для визуально-оптического контроля**

Аппаратура должна разрабатываться и изготавливаться в соответствии с требованиями **ГОСТ 12997-76**.

Основными характеристиками аппаратуры оптического вида контроля должны быть:

- диапазон контролируемых параметров,
- разрешающая способность,
- поле зрения,
- увеличение,
- основная и дополнительная погрешности.

Величины погрешности аппаратуры должны определяться по технической документации на конкретные типы аппаратуры, а виды нормируемых характеристик средств измерений должны соответствовать **ГОСТ 8.009-72**.

Аппаратура оптического вида контроля должна обеспечивать качество изображения дефектов (яркость, цвет, контраст, размер, время анализа), необходимое для обеспечения оптимальных условий их наблюдения.

Для защиты от попадания в глаз дефектоскописта мешающих наблюдению световых лучей аппаратура должна иметь защитные устройства (диафрагмы, бленды и т.п.).

При выборе аппаратуры следует предпочитать (при одинаковых характеристиках) приборы с экранным методом наблюдения, вызывающее меньшее зрительное утомление.

Для проверки аппаратуры непосредственно перед проведением контроля объектов, а так же для контроля методом сравнения с объектом могут быть использованы образцы, специально изготовленные потребителем аппаратуры, с внесением определенного вида дефектов.

Наименьший размер выявляемых дефектов должен не менее, чем в три раза превышать величину микронеровностей рельефа поверхности объекта контроля.

*Примечание:* Допускается использование имитаторов.

### **3.1 Вспомогательные оптические средства в визуальном контроле**

Хотя визуальный контроль и проводится главным образом простым глазом, а глаза и используемое освещение являются единственными основными средствами, зачастую бывает необходимо применять определенные вспомогательные средства, которые сделают возможным или улучшат получение ожидаемых результатов. Надо подчеркнуть, что в любом случае, данные вспомогательные средства должны передавать изображение, качеством и видом сходное с получаемым простым глазом или при слабом увеличении: до  $\times 30$  максимально, а обычно от  $\times 2$  до  $\times 20$  с помощью луп с фокусным расстоянием от 125 до 12,5 мм соответственно.

С некоторыми оговорками можно было бы включить сюда и те средства с увеличением до  $\times 100$ , которые вследствие своей портативности и прочности могут сразу использоваться на месте, не требуя особых условий или специальной подготовки подлежащих обследованию поверхностей.

Приборы для визуально-оптического контроля по назначению разделяют на три группы:

1) **средства увеличения** - приборы для контроля мелких близко расположенных объектов, т.е. деталей и изделий, расположенных от глаза дефектоскописта в пределах расстояния наилучшего зрения 250мм (лупы до  $\times 20$ ), микроскопы (до  $\times 100$ ).

2) **средства приближения** - приборы для контроля удаленных объектов, т.е. расположенных далее 250 мм (телескопические лупы, зрительные трубы, бинокли).

3) **приборы для обследования недотягаемых точек** - приборы для контроля скрытых объектов, внутренних поверхностей отверстий, полых деталей и конструкций, исследование объектов в зонах, опасных для дефектоскопистов (например: некоторые зоны атомных реакторов и др.) - эндо- и бороскопы, перископические дефектоскопы, зеркала.

Также применяются электронные системы телевидения.

### **3.2 Средства увеличения**

Лупы и микроскопы позволяют обнаруживать трещины различного происхождения, поверхностные коррозионные и эрозийные повреждения, забоины, открытые раковины, язвы, поры, выкрашивание материала деталей, риски, надиры трущихся поверхностей и другие поверхностные дефекты деталей, а также различные дефекты лакокрасочных и гальванических покрытий. При анализе характера дефектов эти приборы позволяют отличать усталостные трещины от хрупких, трещины от рисок, примятых заусенцев, сколов, окисной пленки, нитевидных загрязнений (волокон ветоши, щетины от кисти и др.).

**Лупы** - простейшие оптические инструменты, дающие небольшую степень увеличения обычно не более  $\times 20$ . Лупы, дающие увеличение свыше  $\times 20$  крат, принято называть простыми микроскопами, хотя они могут включать и составные линзы.

При определении, какую лупу выбрать, учитывают следующие параметры:

- мощность - увеличение лупы;
- фокусное расстояние;
- линейное поле зрения (широта и степень плоскости);
- коррекция хроматической аберрации;
- вид зрения: монокулярное или бинокулярное.

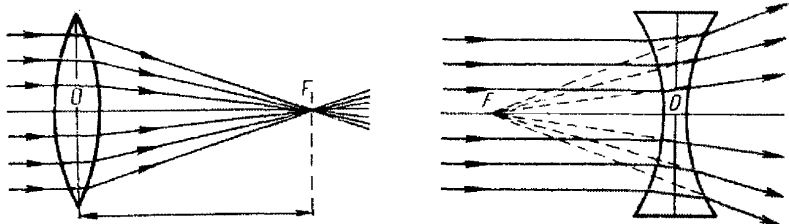
К сожалению улучшение одних из указанных параметров неизбежно ведет к ухудшению других таких же важных. Например: невозможно воспользоваться бинокулярной системой при малом фокусном расстоянии; нельзя увеличить мощность, не сокращая поле зрения и усиливая хроматическую аберрацию.

Простая лупа состоит из собирающей, обычно двояковыпуклой линзы с малым фокусным расстоянием (рис. 19).

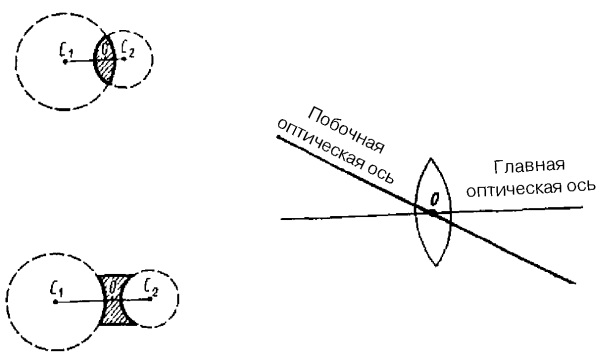
Прямая, проходящая через центры  $S_1$  и  $S_2$  сферических поверхностей, ограничивающих линзу, называется **оптической осью линзы** (рис. 20).

Точку  $O$ , лежащую на оптической оси в центре линзы, называют **оптическим центром линзы**.

Если направить на линзу поток лучей, параллельных ее оптической оси, мы увидим, что лучи дважды преломляются при переходе из воздуха в линзу и при выходе из нее в воздух. В результате этого они изменяют свое направление и пересекутся в одной точке, лежащей на оптической оси линзы. Эту точку



**Рис. 19**



**Рис. 20**

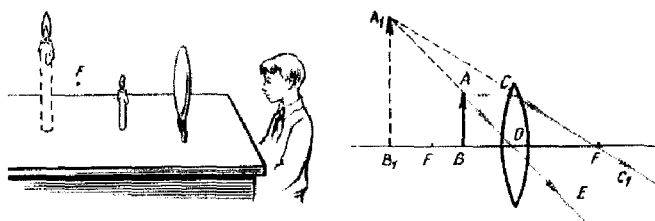


Рис. 21

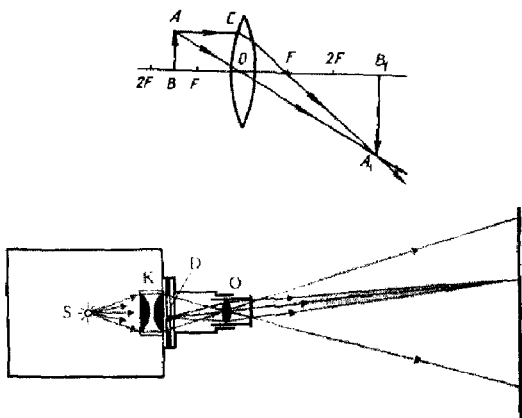


Рис. 22

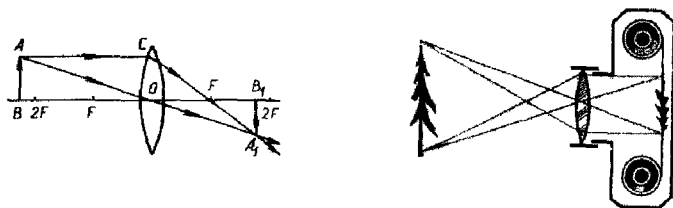


Рис. 23



называют **фокусом линзы** (F) (рис. 19).

Расстояние от оптического центра линзы до этой точки называется **фокусным расстоянием линзы**. У каждой линзы два фокуса по одному с каждой стороны.

В зависимости от того на каком расстоянии от линзы находится предмет зависит его изображение.

Рассмотрим подробные условия, при которых возникает то или иное изображение, и свойства каждого из них:

1) Предмет находится между линзой и ее фокусом (рис. 21).

Получаем изображение - увеличенное, мнимое, прямое и расположено оно от линзы дальше, чем предмет. Такое изображение получают лупой. За счет того, что оно увеличенное и прямое его удобно рассматривать.

2) Предмет находится между фокусом линзы и ее двойным фокусом (рис.22).

Получаем увеличенное, перевернутое действительное изображение, расположенное по другую сторону от линзы по отношению к предмету, за двойным фокусным расстоянием.

Такое изображение используется в проекционном аппарате (например, в кинотеатре). Чтобы изображение на экране было прямым, диапозитив в аппарате устанавливается в перевернутом виде.

3) Предмет находится за двойным фокусным расстоянием линзы (рис.23).

Получаем уменьшенное, перевернутое действительное изображение, лежащее по другую сторону линзы между ее фокусом и двойным фокусом.

Такое изображение используется в фотоаппаратах.

Величину обратную фокусному расстоянию линзы называется **оптической силой линзы (D)**

$$D = \frac{1}{F} \text{ (дптр)}$$

1 диоптрия - это оптическая сила такой линзы, фокусное расстояние которой равно 1 м.

## Увеличение линзы

$$Гл = \frac{250}{F}, \text{ где}$$

F - фокусное расстояние лупы (мм).

**При визуально-оптическом контроле применяют следующие лупы:**

**Обзорные лупы.** Складные лупы ЛПК-470 и ЛПК-471 предназначены для контроля деталей с относительно большой поверхностью. Осмотр можно производить двумя глазами, что повышает достоверность контроля. Они дают увеличение до  $\times 2$ , имеют фокусное расстояние 199,4 мм, расстояние от поверхности лупы до объекта 140...150 мм, расстояние от поверхности лупы до глаз 100...700 мм, световой диаметр (размер окна) ЛПК-470 50x95 ЛПК-471 диаметр 78 мм.

В качестве обзорных используют также бинокулярные налобные лупы БЛ-1 и БЛ-2 (имеет осветитель) с увеличением  $\times 1,5...2$ . Бинокулярные лупы предназначены для осмотра объектов двумя глазами. Благодаря стереоскопичности эти лупы позволяют рассматривать объекты объемно, что невозможно в монокулярную лупу.

**Складные карманные лупы по ГОСТ 25706-83 с увеличением  $\times 2,5...7$  (ЛП) используют в основном для поиска дефектов, лупы с увеличением  $\times 7...20$  (ЛИ) - для анализа обнаруженных дефектов, а также для поиска дефектов на небольших участках поверхности.**

ЛП - лупа просмотровая

ЛИ - лупа измерительная.

Лупы ЛП-1, ЛА-3, ЛАН-4 в зависимости от конкретного типа дают увеличение 2,5...16, имеют фокусное расстояние 15,6...1000 мм, линейное поле зрения 6,5...95 мм, расстояние от предмета до поверхности линзы 7...98 мм.

Лупы ЛП-1 простые однолинзовые, ЛА-3 - апланатические, склеенные из трех линз, ЛАН-4 - анастигматические, склеенные из 4 линз. У последних типов луп хорошо скорректирована оптика, что дает возможность получать изображение хорошего качества.

**Микроскопы** используемые в визуальном контроле обычно отвечают следующим параметрам:

- это комбинированные микроскопы, имеющие систему окуляров и систему объективов;

- бинокулярные микроскопы, позволяющие воспользоваться бинокулярными возможностями наблюдателя, столь необходимыми при обследовании рельефа;

- микроскопы дающие увеличение от х5 до 100 как максимум.

Увеличение микроскопов, используемых для осмотра деталей, не намного превышает увеличение луп. Однако, даже при использовании микроскопа с увеличением, равным увеличению лупы, эффективность применения микроскопа из-за хорошего качества изображения и надежности обнаружения дефектов выше. Применяемые для контроля деталей микроскопы дают прямое стереоскопическое изображение контролируемой поверхности, что облегчает поиск дефектов. Достоинством микроскопов является их относительно большое рабочее расстояние. Это позволяет использовать их для осмотра различных углублений, пазов на деталях. *Например:* рабочее расстояние лупы х20 составляет 10 мм, а микроскопа МБС-2 - 64мм при любом увеличении.

Основными частями микроскопа являются объектив и окуляр (рис.24).

**Объектив - короткофокусная линза,**

**Окуляр - длиннофокусная линза.**

Объектив дает действительное увеличенное изображение предмета, которое служит предметом для окуляра. Окуляр дает мнимое, обратное относительно предмета увеличенное изображение предмета.

Вследствие существенного снижения поля зрения и глубины резкости, при больших увеличениях для осмотра в цеховых условиях применяют в основном микроскопы с увеличением от х8 до х40...50.

Микроскопы с малым увеличением в цеховых условиях используют в основном для определения характера дефектов, обнаруженных ранее каким-либо методом дефектоскопии.

### **Увеличение микроскопа**

$$\Gamma_{\text{м}} = \frac{\Delta}{F_{\text{об}}} * \frac{250}{F_{\text{ок}}}, \text{ где}$$

**F<sub>об</sub>** - фокусное расстояние объектива (мм);

**F<sub>ок</sub>** - фокусное расстояние окуляра (мм);

$\Delta$  - расстояние от заднего фокуса объектива до переднего фокуса окуляра (мм).

**При ВОК применяются микроскопы:**

**Биноккулярный микроскоп БМ-51-2** - предназначен для рассмотрения мелких предметов обоими глазами. Основные технические данные БМ-51-2:

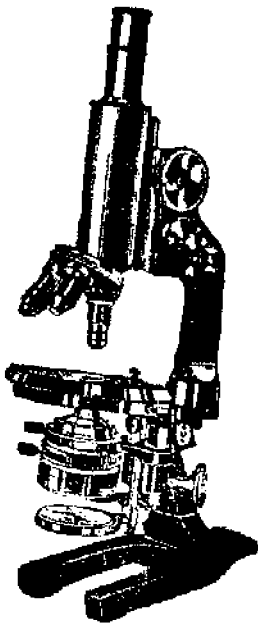
- увеличение микроскопа  $\times 8,75$
- увеличение объектива  $\times 0,7$
- увеличение окуляра  $\times 12,5$
- поле зрения 25 мм
- рабочее расстояние 140 мм
- размеры 160x160x300 мм

Оптическая система микроскопа дает возможность наблюдать стереоскопическое прямое изображение объекта. Микроскоп имеет большое рабочее расстояние, что обеспечивает удобную работу с деталями.

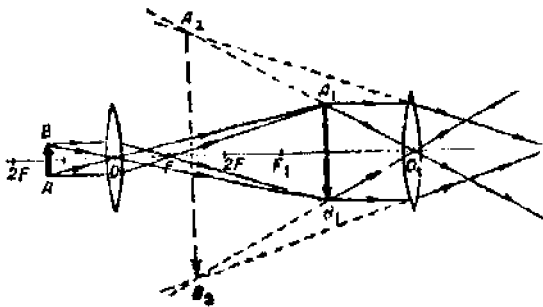
**Стереоскопические микроскопы МБС-1, МБС-2, МБС-3, МБС-10** предназначены для наблюдения прямого объемного изображения предметов в отраженном и проходящем свете. Микроскоп МБС-1 обеспечивает увеличение до  $\times 88$ , имеет системы Галилея, переключением которых достигается быстрое изменение увеличения микроскопа, имеет окулярный микрометр, позволяющий применять микроскоп для измерения микрообъектов (цена деления 0,015 мм). Микроскопы МБС-2 и МБС-3 имеют универсальные штативы, позволяющие придавать оптической головке любые положения в пространстве.

**Биноккулярный стереоскопический микроскоп МССО** предназначен для наблюдения прямого стереоскопического изображения предмета в проходящем и отраженном свете. Применяется для контроля деталей на металлообрабатывающих предприятиях. Обеспечивает переменное увеличение  $\times 3,3 \dots 206$  при постоянном рабочем расстоянии 109 мм. Имеет высококачественную оптическую систему и дает резкое четкое изображение контролируемого объекта. Однако, из-за отсутствия универсального штатива непригоден для осмотра крупногабаритных деталей.

**Стереомикроскопы DZ-160, DZ-240** имеют встроенные объективы переменного фокусного расстояния, на которые устанавливаются линзы. В микроскопах имеется механизм для изменения расстояния между линзами объектива, что позволяет



Микроскоп



Ход лучей в микроскопе

Рис. 24

плавно менять увеличение микроскопа в широких пределах. Микроскоп можно применять с простыми или универсальными штативами. Эти микроскопы облегчают поиск и анализ дефектов.

Предел увеличения микроскопов: DZ-160 от  $\times 5$  до  $\times 160$ , DZ-240 от  $\times 5$  до  $\times 240$ .

### **3.3 Средства приближения**

Эти средства не применяются столь широко в визуальном контроле, как микроскопы и лупы, но могут оказаться полезными при обследовании относительно отдаленных предметов.

Самыми распространенными среди них являются телескопические приборы прямого зрения

- телескопические лупы;
- зрительные трубы;
- бинокли и др.

После прохождения через эти приборы лучи света не изменяют своего первоначального направления. Такие приборы применяют для контроля деталей сложной формы (с глубокими выемками, отверстиями, пазами), деталей и силовых элементов конструкций, деталей с повышенной температурой, находящихся в пределах прямой видимости, но расположенных от глаз контролера на расстоянии, превышающем расстояние наилучшего зрения.

**Телескопическая лупа ЛПШ-474** представляет собой призмный монокуляр с увеличением  $\times 4$ , на объектив которого надевают сменные объективы-насадки разного увеличения. В зависимости от применяемых насадок увеличение лупы увеличивается до  $\times 40$ , а расстояние до поверхности объекта контроля от 15 до 2250 мм. В лабораторном варианте лупы монокуляр крепят на настольный штатив; в полевом варианте в комплект входят монокуляр с насадками от  $\times 0,25$  до  $\times 10$  и съемная ручка с рукояткой.

**Телескопическая лупа ТЛА** по конструкции аналогична лабораторному варианту лупы ЛПШ-474. Лупа ТЛА представляет собой призмный монокуляр с увеличением  $\times 6$  или  $\times 8$ , на объектив которого надевают сменные объективы, дающие общее увеличение до  $\times 30$  и  $\times 40$  соответственно. Эта лупа дает возможность рассматривать объект, расположенный на расстоянии до 4 м. Монокуляр устанавливают на штатив, на котором его можно

перемещать вручную в вертикальном и горизонтальном направлении. Точная наводка по высоте осуществляется механизмом подъема.

**Бинокли** используют в цеховых и полевых условиях для осмотра деталей и конструкций авиационной техники, химических установок, линий электропередач, экскаваторов и других крупных механизмов и машин.

Бинокли наиболее эффективны для осмотра объектов, находящихся в пределах видимости на расстоянии 3,5...6 м, угол поля зрения 5...25 градусов.

Бинокли имеют устройства для изменения фокусировки, которое позволяет получать отчетливое изображение объектов, находящихся на разных расстояниях от дефектоскописта. Биноклями можно пользоваться при температурах -40...+45 °С (рис. 25).

Некоторые бинокли используют для осмотра деталей с относительно близкого расстояния (1...1,5 м). В таких случаях между объективом и окуляром бинокля вставляют промежуточные удлинительные кольца шириной 5...10 мм.

Увеличение бинокля

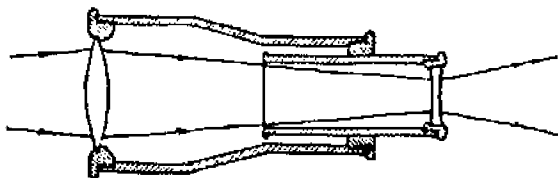
$$\Gamma_{\text{б}} = \frac{F_{\text{об}}}{F_{\text{ок}}}, \text{ где}$$

**F<sub>об</sub>** - фокусное расстояние объектива (мм);

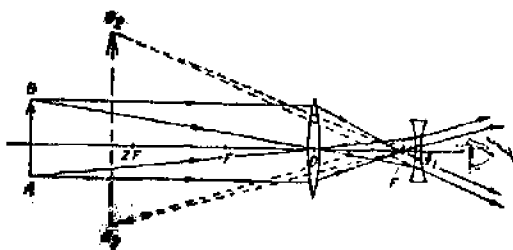
**F<sub>ок</sub>** - фокусное расстояние окуляра (мм).

### **3.4 Приборы обследования недосягаемых точек**

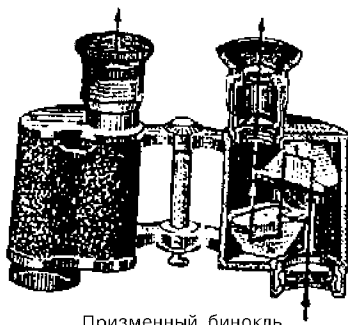
Телескопические приборы применяют для дефектоскопии объектов, физически недоступных для глаз наблюдателя - скрытых или удаленных деталей, крупных трещин, поверхностных пористостей, надрывов и задиrow, возникших при деформации металла на внутренней поверхности полых деталей, остаточной изгибной деформации силовых элементов конструкций, течи емкостей и трубопроводных систем (по следам жидкости на осматриваемых поверхностях), мест перегрева электросетей и элементов конструкций (по изменению цвета и потемнению лакокрасочных покрытий), поверхностной коррозии, загрязнений, а также различных



Разрез театрального бинокля



Ход лучей в трубе Галилея



Призменный бинокль

Рис. 25



посторонних предметов внутри закрытых конструкций. Эти приборы позволяют также определить визуально качество обработки и отделки внутренней поверхности разных полых деталей изделий и объектов контроля, представляющих риск для наблюдателя, проводящего непосредственный визуальный контроль.

Телескопические приборы позволяют получить увеличение от  $\times 1$  до  $\times 20 \dots 30$ , а когда необходимо увеличить поле зрения применяют приборы, которые дают уменьшенное изображение (от  $\times 0,5$  до  $\times 1$ ).

К телескопическим приборам относятся различные **эндоскопы** (от "эндо" - внутри), (**бороскопы**). Оптическая система эндоскопа состоит из телескопической системы и плоского зеркала или призмы, размещаемых перед объективом и отклоняющих лучи на определенный угол (рис. 29, а) В зависимости от назначения и направления, в котором должен проводиться осмотр, эндоскопы бывают:

- непосредственного видения, т.е. на одной линии с осью аппарата;

- под прямым углом (90 град.);
- под косым углом (менее 90 град.);
- обратного визирования ( более 90 град.);
- панорамного видения (под углом 180 град., поперечный);
- с увеличением более  $\times 2$  (микроэндоскопы);
- с применением УФС для наблюдения за показаниями, выдаваемыми проникающими или магнитными светящимися жидкостями;

- с применением стационарной оптики для наблюдения под водой или другой прозрачной жидкостью;

- с необходимостью охлаждать оптическую систему для короткого погружения при осмотре внутри печей, двигателей и т.д. (рис. 29, а; 30).

Для осмотра применяют эндоскопы, в конструкции которых используют оптические трубки специального назначения:

**Цистоскопы** применяют для осмотра полостей диаметром более 8 мм, глубиной до 200 мм при увеличении  $\times 1,1 \dots \times 1,8$ . Оптическая трубка цистоскопа представляет собой тонкую трубку, внутри которой размещена оптическая система. Цистоскоп М.548 имеет устройство для изменения положения объектива и направления осмотра, что позволяет использовать его для осмотра под различными углами внутренних поверхностей сложной формы.

**Техноэндоскопы** предназначены для осмотра полостей глубиной до 500 мм. Бронхоскоп М494 позволяет проводить прямое

наблюдение глубоких полостей (угол зрения прибора составляет от 162 до 180 град).

Бронхоскоп М.451 обеспечивает осмотр объектов с изменяемым углом наблюдения 45...115 град (рис. 26).

**Перископические микроскопы** предназначены для осмотра путем бокового обзора внутренней поверхности труб и закрытых конструкций большой длины, для определения качества обработки, выявления трещин, задиров, пористости и других дефектов. Перископический дефектоскоп ПД-60 предназначен для осмотра внутренней поверхности полостей диаметром более 35 мм глубиной до 900 мм при увеличении  $\times 4$ . В его конструкции использованы телескопическая зрительная труба с объективом и подвижным окуляром и прямоугольная оптическая призма, изменяющая направление лучей на 90 град. Дефектоскоп снабжен осветителем, помещенным в общем с призмой корпусе. Питание осветителя от источника тока напряжением 26 В (рис. 26).

**Перископический коленчатый дефектоскоп ПДК-60** – многоцелевой прибор. Используется тогда, когда из-за сложных подходов объект невозможно контролировать другими приборами. Он имеет два колена, изменяющих ход лучей на 90 град (75 град). Объективная часть прибора имеет переменную длину, в средней его части установлена подвижная оборачивающая система, перемещением которой вдоль оптической трубы осуществляют наводку на резкость. Оптическая система дефектоскопа ПДК-60 обеспечивает увеличение  $\times 0,5... \times 2,5$  в зависимости от длины объективной части и расстояния до рассматриваемого объекта. Поле зрения прибора 45...110 мм (рис. 26).

**Приборы типа РВП** предназначены для осмотра при увеличении до  $\times 15$  прямых участков труб, полых валов, камер, протяженных закрытых конструкций и других подобных объектов диаметром 9...870 мм, длиной до 16,5 метров.

Оптическая система приборов состоит из сменных объективов, окуляров и оборачивающих систем. Приборы РВП-467, РВП-469, РВП-478 выполнены в виде неразъемных труб, внутри которых расположены оборачивающая система. На одном конце трубы установлены осветитель и объектив, на другом - окуляр (рис. 30) В конструкции сборно-разборных приборов предусмотрены промежуточные трубы длиной 0,7...3,3 м, внутри которых размещены оборачивающие системы. Это позволяет собирать прибор необходимой длины в зависимости от размеров (протяженности)

рассматриваемых конструкций. Прибор РВП-473 снабжен дополнительным устройством для проектирования изображения контролируемой поверхности на фотокатод телевизионной трубки, что позволяет применять прибор не только для осмотра глазом, но также и для наблюдения с помощью телевизионной трубки. Оптические характеристики типовых смотровых трубок - смотри таблицу 2. Примеры использования смотровых трубок на рисунках 31 и 32.

**Зеркала** - наиболее простые средства контроля недоступных зон объектов контроля. Зеркала могут иметь достаточно длинные и гибкие державки. Источники подсветки располагаются отдельно. При известном умении можно осветить обследуемую поверхность при помощи света, проникающего из внешней среды и отражаемого зеркальцем (рис.27).

Используемые зеркала могут быть плоскими или слегка вогнутыми. В последнем случае они дают определенное увеличение обследуемой зоны.

**Эндоскопы на оптических волокнах** - гибкие телескопические приборы, включающие в себя наборы оптических (стеклянных) волокон. К ним относятся волокна, имеющие световедущую жилу из прозрачного материала с высоким показателем преломления и оболочку из материала с меньшим показателем преломления.

Лучи света, падающие на один торец такого волокна, благодаря полному внутреннему отражению на поверхности раздела жилы и оболочки будут распространяться вдоль волокон до противоположного торца (рис. 28).

В светофокусирующих волокнах показатель преломления материала изменяется вдоль радиуса волокна не скачками, а непрерывно по параболическому закону. В таких волокнах потери света уменьшены благодаря отсутствию потерь при каждом отражении от поверхности раздела двух сред - жилы и оболочки. Луч света, падающий на торец волокна, движется вдоль него по некоторой синусоидальной кривой. Для уменьшения потерь света волокна обычно покрывают металлической оболочкой из свинца, алюминий или индия.

Из оптических волокон составляют жгуты, на торцах которых волокна скрепляют методом горячего прессования или склеивают. В осветительных жгутах, предназначенных для передачи света, оптические волокна расположены беспорядочно.

Жгуты для передачи изображения представляют собой снопы волокон с регулярным и идентичным расположением световедущих

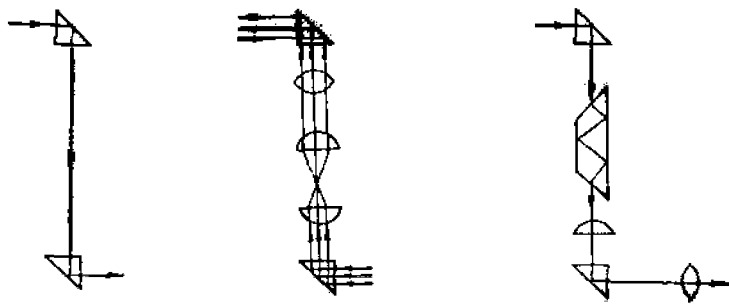


Рис. 26

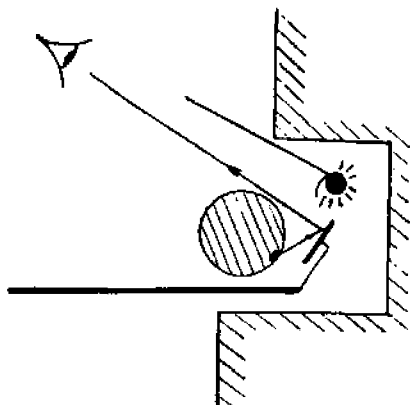
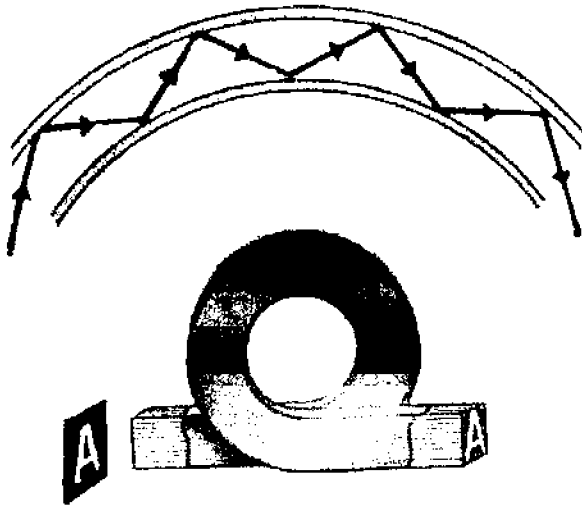


Рис. 27



**Рис. 28**

жил на обоих торцах жгута (рис. 29, б). Каждое волокно несет один элемент изображения. На выходном торце изображение, переданное жгутом, получается мозаичным. Коэффициент светопропускания жгута длиной 500...1500 мм для направленного белого света (угол расхождения 5 град) составляет 25...52%. Светопропускание лимитируется дискретной структурой волоконных элементов, светопоглощением исходных материалов и геометрией оптических волокон. Разрешающая способность жгутов длиной более 1 м составляет около 12...15 (1/мм), коротких - около 20 (1/мм). Максимальная разрешающая способность длинных жгутов из тонких световодов не превышает 40...45 (1/мм). Повышение разрешающей способности сопровождается снижением коэффициента светопропускания, увеличением степени неравномерности его по полю изображения.

**Гибкие осветительные жгуты типа ГОЖВ** собирают из оптических волокон диаметром 20...50 мкм. Жгуты ГОЖВ-А изготавливают в полихлорвиниловой оболочке с гладкими оправками из коррозионностойкого материала на концах. Жгуты ГОЖВ-Б имеют такую же оболочку и фасонные оправки. Гибкий осветительный жгут ГОЖВ-В имеет защитную оболочку из металлорукава и фасонные оправки из коррозионностойкого материала.

В гибких регулярных жгутах ГРЖВ, используемых в конструкции гибких эндоскопов для передачи изображения, в качестве световедущей жилы используют стекло ТК-16, а для светоизолирующей оболочки - стекло ЛК-6.

Гибкий регулярный жгут ГРЖВ-А изготавливается в защитной полихлорвиниловой оболочке с фасонными оправками на концах. Его размеры соответствуют размерам осветительного жгута ГОЖВ-Б для светового диаметра 2...15мм. Жгут ГРЖВ-В имеет оболочку из металлорукава и фасонные оправки. Его размеры соответствуют размерам осветительного жгута ГОЖВ-В для светового диаметра 2...15мм.

Регулярные жгуты ГРЖВ-Г и ГРЖВ-Д имеют световод квадратного сечения, уложенный в круглой защитной оболочке с фасонными оправками. Жгут ГРЖВ-Г - в полихлорвиниловой оболочке, ГРЖВ-Д - в оболочке из металлорукава.

Общая длина 1030мм, полезная - 870мм, диаметр наконечника 6...14мм, разрешающая способность 25...31 л/мм, угол обзора 35...50°, максимальная длина эндоскопа 2,5...5мм.

Существуют особо тонкие гибкие эндоскопы диаметром 3 мм. Жгуты таких эндоскопов собираются из волокон диаметром 12 мкм, что обеспечивает разрешающую способность приборов 37 л/мм. Полная длина эндоскопов 1000...1500мм, полезная 830...1300мм.

**Таблица 2**  
**Оптические характеристики типовых смотровых трубок**

Наименование приборов	Увеличение (на расстоянии 25 мм)	Угловое поле зрения, град	Разрешающая способность (на расстоянии 25 мм), лин/мм
РВП-467, РВП-496	1	70	14
РВП-496Л	1	70	14
РВП-469	3	50	20
Цистоскоп, бронхоскоп (завод "Красногвардеец")	0,5	45	6
АР16 (ЦИАМ)	10	19	60

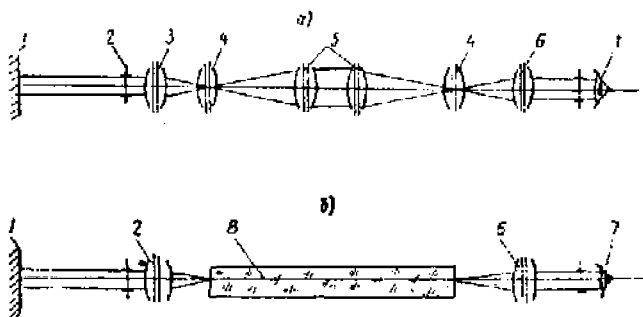
Бороскоп (США)	5	44	23
Файберскоп стекло-волокоиный (Япония)	1	34	2,5
Камероскоп (США)	9	20	120

Осмотр внутренних полостей изделий через криволинейные вводные каналы возможен гибкими стекловолоконными смотровыми приборами - файберскопами японской фирмы "Олимпас" (табл. 3), а в некоторых случаях линзовыми приборами с шарнирными сочленениями.

Файберскопы выполняются в вариантах прямого и бокового наблюдения. Посредством рукоятки, размещенной на окулярной части прибора, концевую его часть можно изгибать на  $\pm 120$  град. Приборы снабжены фотокамерами.

**Таблица 3**  
**Основные характеристики файберскопов фирмы "Олимпас"**

Характеристики	Показатели характеристик моделей для торцевого (бокового) осмотра		
	JF 11D1-10 (JF-11S1-10)	JF8D-1-10 (JF8S1-10)	JFGDI-10 (JF6S1-10)
Внешний диаметр, мм	11	8	6
Рабочая длина, мм	730	730	730
Угол поля зрения, град	51	52	52
Угол поворота концевой части, град	120	120	120
Длина поворотной части, мм	66.6	40	30
Фокусное расстояние объектива, мм	3.69	2.6	2.2
Диаметр волокна- проводника изобра- жения, мкм	17	17	12
Диаметр волокна- проводника света, мкм	30	30	30

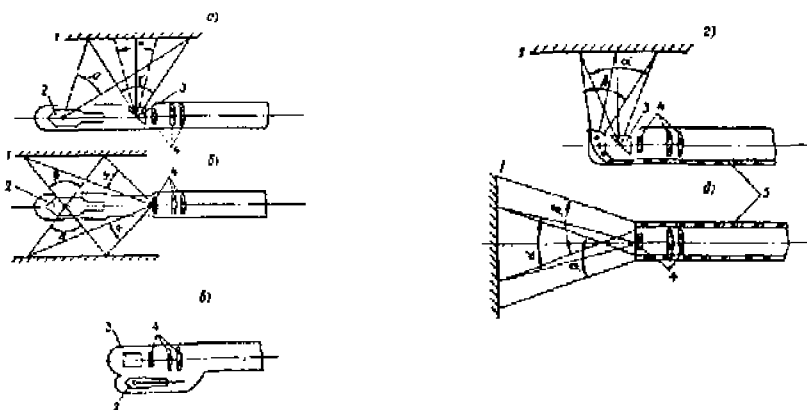


**Рис. 29**

Принципиальные схемы оптических смотровых устройств:

а - с линзовой оборачивающей системой; б - со стекловолоконным жгутом для передачи изображения

1 - предмет; 2 - входной зрачок прибора; 3 - объектив; 4 - коллектив; 5 - линзы оборачивающей системы; 6 - окуляр; 7 - глаз наблюдателя; 8 - стекловолоконный жгут.

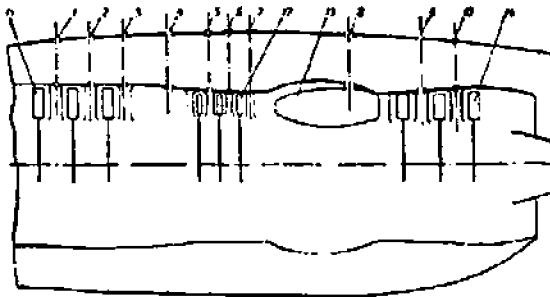


**Рис. 30**

Расположение источников света на смотровых приборах: а, б - ламповые источники, соосные для бокового и кольцевого контроля; в - боковой источник для бокового контроля; г, д - стекловолоконные источники освещения для бокового и торцевого контроля,  $\alpha$  - угол поля зрения;  $\beta$  - угол освещения;  $\gamma$  - угол обзора при наклоне призмы.

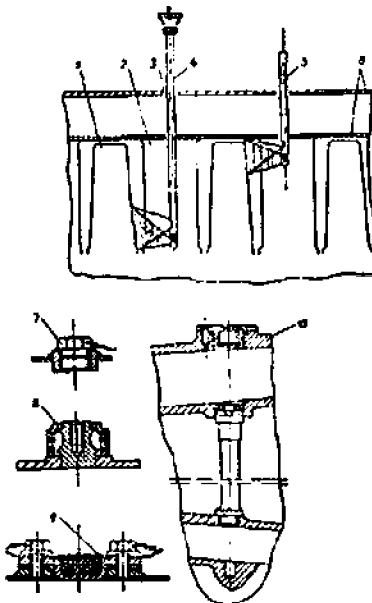
1 - предмет; 2 - источник света; 3 - призма; 4 - объектив; 5 - световод.





**Рис. 31**

Типовая схема расположения смотровых окон по газозвоздушному тракту двигателя; 1-10 - пояса расположения смотровых окон; 11 - рабочие лопатки компрессора давления; 12 - рабочие лопатки компрессора высокого давления; 13 - камера сгорания; 14 - рабочие лопатки турбины.



**Рис. 32**

Схема осмотра лопаток по высоте и типовое выполнение заглушек в смотровых окнах: 1 - рабочая лопатка; 2 - сопловая (спрямляющая) лопатка; 3 - окно; 4 и 5 - два положения прибора при осмотре рабочих лопаток; 6 - наружный и внутренний корпуса; 7 - разьбовая заглушка; 8 - вставная пружиненная заглушка; 9 - заглушка, прикрепленная несколькими винтами; 10 - выполнение заглушек в дужконтурном двигателе.

Жаростойкие эндоскопы предназначены для контроля горячих частей объектов контроля и могут работать при температуре до 1200°С. Эти эндоскопы охлаждаются проточной водой.

Общая длина - 1033 мм.

Полезная длина - 800 мм.

Диаметр наконечника - 12 мм.

Разрешающая способность - 31 л/мм.

Максимальная t° при длительной работе - 800°С.

Максимальная t° при кратковременной работе до 20 мин. - 1200°С.

Расход охлаждающей воды - 1 л/мин.

Основные характеристики оптических устройств на стекловолоконных жгутах фирмы "Олимпас" приведены в таблице 3.

### **3.5 Контроль изделий с применением оптико-электронных систем анализа изображения**

В оптико-электронных системах контроля глаз заменяют фотоэлементы - различные электронные приборы, преобразующие световую энергию в электрическую на основе фотоэлектрического эффекта. В общем случае оптико-электронная система контроля состоит из устройств восприятия изображения (сканирующих устройств), устройств передачи изображения, логических схем анализа изображения и механизма разбраковки проверяемой продукции.

По принципам сканирования обзорно-поисковые сканирующие устройства разделяют на:

**Устройства поэлементного сканирования.** В них сканирование осуществляется в любой последовательности по каждому элементу поля зрения. Такие устройства позволяют проводить полный осмотр контролирующего поля и в случае необходимости воспроизводить полное изображение поля.

**Устройства последовательно-зонального сканирования.** В них сканирование носит не дискретный характер, а непрерывный - это телевизионные системы, в которых развертка изображения осуществляется с помощью непрерывно перемещающегося луча. Эти устройства позволяют воспроизводить полное изображение сканируемого объекта.

**Устройства параллельно-зонального сканирования.** В них сканирование осуществляется одновременно с помощью двух взаимно перпендикулярных щелей. Каждая щель имеет свой светочувствительный элемент и свой канал передачи информации. Эти устройства не позволяют воспроизводить полное изображение сканируемого объекта.

По принципу действия сканируемые устройства бывают:

**Оптико-механические** - в которых используются подвижные сканирующие элементы отражающей и преломляющей оптики - зеркала (плоские, сферические, параболические и др.), клинья, многогранные барабаны, линзы, призмы и т.д. Эти элементы совершают вращательное, колебательное или возвратно-поступательное движения.

**Достоинства** - возможность использования чувствительных элементов со спектральной чувствительностью в диапазоне от инфракрасной до ультрафиолетовой области спектра.

**Недостатки** - наличие подвижных механических систем, повышенная сложность, пониженная скорость сканирования и малая надежность при длительной эксплуатации.

**Оптико-электрические** - в которых воспринимающим элементом являются один или несколько фотоприемников. Эти устройства просты, надежны, не боятся ускорений, вибраций и обеспечивают высокую четкость изображения. Разработаны электрические элементы, осуществляющие сканирование по изменяющейся траектории в зависимости от информации, получаемой от объекта контроля.

**Полупроводниковые** - имеют простую схему и не сложное исполнение. Эти устройства весьма перспективны.

**Фотоэлектронные вакуумные** - состоят из передающих телевизионных трубок, специальных передающих трубок, трубок прямого видения и т.д. У этих устройств самая высокая чувствительность.

**Волоконно-оптические** - позволяют осуществить разделение изображения, изменить его формат. Они обеспечивают максимальное упрощение процесса сканирования и обработки результатов в счетно-решающих устройствах. При этом может быть достигнута значительно большая разрешающая способность, чем в гибких волоконных эндоскопах (из-за снижения требований к светопропусканию).

## **4. Основы измерительного контроля**

### **4.1 Назначение. Возможности измерительного контроля. Классификация средств**

Операцию проверки (нахождения) размера можно разделить на измерение и контроль.

**Измерение** (ГОСТ 16263-70) - нахождение значения физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств.

**Контроль (технический)** (ГОСТ 16504-74) - проверка соответствия продукции или процесса, от которого зависит качество продукции, установленным техническим требованиям.

Таким образом, при измерении определяют действительный размер, а при контроле размерную группу детали.

В простейшем случае контроля детали сортируют на годные и бракованные (исправимый и неисправимый брак).

Так как, при любых измерениях, в том числе самых высокоточных, размер детали включает конечное число значащих цифр, то и при измерении возможное число размерных групп (к которым может быть отнесена деталь) является конечным. Более того, в каких-то случаях измерения число этих групп может быть меньше, чем в других случаях контроля и в этом смысле не удастся провести четкую границу между терминами "измерение" и "контроль". Поэтому в области линейных измерений в термин "контроль" вкладывается более узкое смысловое значение - разбраковка.

Приведем дополнительные данные, поясняющие эти понятия. Например, определение шероховатости на глаз или по образцам шероховатости - это пример балльной оценки (контроля), который не попадает под термин "измерение", а определение параметра Ra или Rz - пример измерения - попадает под термин "измерение". Переход от измерения к балльной оценке возможен ( $Ra_{1,6} = \sqrt{6}$ ), а обратный переход от такой оценки к точечному (не интервальному) результату измерения не возможен.

Среди методов измерений будем в дальнейшем различать метод непосредственной оценки и метод сравнения с мерой.

Метод непосредственной оценки производительнее, проще, и, кроме того, отпадает необходимость в установочной мере. При

использования метода сравнения с мерой возможно применение приборов с меньшим диапазоном измерений по шкале. Методу сравнения с мерой иногда приписывают большую точность, что не всегда правильно. Например, точные оптические приборы для линейных измерений предназначены как для метода сравнения с мерой (оптиметры, контактные интерферометры), так и для метода непосредственной оценки (длиномеры, измерительные микроскопы).

Необходимость сопоставления результатов измерений, выполненных в разных местах, в разное время с использованием разных методов и средств измерений требует их единства.

**Единство измерений** (ГОСТ 16263-70) - состояние измерений, при котором их результаты выражены в узаконенных единицах и погрешности измерений известны с заданной вероятностью.

Помимо обеспечения единства измерений, одной из важнейших задач измерительного контроля является достижение необходимой точности измерений.

**Точность измерений** (ГОСТ 16263-70) - это качество измерений, отражающее близость их результатов к истинному значению измеряемой величины; при этом высокая точность измерений соответствует малым погрешностям как систематическим, так и случайным. Таким образом, из определения следует, что это понятие качественное, а не количественное, как погрешность измерения.

Количественно точность измерений может быть выражена величиной, обратной модулю относительной погрешности. Например, если относительная погрешность измерений  $3 \cdot 10^{-1} \% = 3 \cdot 10^{-3}$ , то точность равна  $10^3/3$ .

Но результаты измерений зависят как от методов, так и средств измерений. Следовательно, необходимо обеспечить и единообразие средств измерений, т.е. состояние средств измерений, характеризующееся тем, что они проградуированы в узаконенных единицах и их метрологические свойства соответствуют нормам.

**Средство измерений** (ГОСТ 16263-70) - техническое средство, используемое при измерениях и имеющее нормированные метрологические свойства.

К средствам измерения относятся:

- меры
- измерительные приборы
- измерительные преобразователи
- вспомогательные средства

**Мера** (ГОСТ 16263-70) - это средство измерений, предназначенное для воспроизведения физической величины заданного размера.

К мерам относятся: **плоскопараллельные концевые меры длины** (рис. 21; 52а; 87) и **щупы, угловые** (рис. 52д) (угловые плитки (рис. 52в), многогранные призмы, угольники (рис. 60), синусные линейки (рис. 61)), **штриховые** (измерительные линейки, рулетки (рис. 1), шкалы приборов, шкалы для поверки микроскопов, объект-микрометры, окулярные шкалы (рис. 32г), ножи для измерительных микроскопов), **калибры** (для гладких цилиндрических деталей (рис. 43; 44), конические (рис. 47), резьбовые (рис. 45), шлицевые (рис. 50), профильные (рис. 48)), **образцы шероховатости поверхности, установочные меры для специальных приборов, контрольных автоматов, меры плоскостности, прямолинейности** (лекальные линейки, поверочные плиты) (рис. 59а,б,в; 63; 64).

**Измерительный прибор** (ГОСТ 16263-70) - это средство измерений, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателем.

К измерительным приборам не относятся контрольные автоматы и другие автоматизированные средства пассивного контроля, а также приборы активного контроля, так как для них шкалы и подобные по назначению элементы, обеспечивающие "непосредственное восприятие наблюдателем", не являются главными, обязательными, и, кроме того, в некоторых случаях они отсутствуют. Однако, если рассматривать понятие "прибор" шире, то контрольные автоматы следует относить к приборам управления, а приборы активного контроля - к приборам регулирования.

Измерительные приборы *по принципу действия* разделяют на:

- штангенприборы (рис. 4);
- микрометрические (рис. 8);
- оптические (рис. 91; 92);
- электрические (рис. 95б);
- пневматические и др. (рис. 95а);

Большую группу составляют измерительные головки и приборы на их основе (нутромеры, скобы, специальные приборы, в том числе многомерные и др.) (рис. 13; 15; 17; 23; 24).

По назначению приборы классифицируют:

- для внутренних и наружных измерений (рис. 5; 11; 13);
- измерения резьбы (рис. 74; 75; 80; 82; 83);
- углов и конусов (рис. 56; 57; 58);
- шероховатости (рис. 79);
- зубоизмерительные
- кругломеры и др. (рис. 84; 85).

Различают приборы универсальные и специальные.

**Измерительный преобразователь** (ГОСТ 16263-70) - средство измерений, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для передачи, дальнейшего преобразования, обработки и (или) хранения, но не поддающейся непосредственному восприятию наблюдателем.

По месту, занимаемому в системе передачи измерительной информации, преобразователи подразделяют на: **первичные**, к которым непосредственно подводится измеряемая физическая величина; **передающие**, предназначенные для дистанционной передачи сигнала измерительной информации; **промежуточные**, занимающие в измерительной цепи место после первичного.

Большое число средств неразрушающего контроля снабжено первичными преобразователями.

Преобразователи бывают:

- электроконтактные
- пневмоэлектроконтактные
- индуктивные и др.

входящие в состав контрольных автоматов и приборов активного контроля и т.п.

Отличие преобразователей от других узлов автоматизированных приборов (в широком понимании) состоит в том, что они подлежат самостоятельному метрологическому нормированию.

**Вспомогательные средства измерений** (ГОСТ 16263-70) - средства измерений величины, влияющей на метрологические свойства другого средства измерения при его применении или поверки.

К вспомогательным средствам относятся: термометры, вольтметры, секундомеры, частотомеры, измерители разности фаз и др., так как на их метрологические свойства оказывают влияние

различные физические величины - температура окружающей среды, относительная влажность, частота и напряжение тока питания сети и др.

Иногда для измерения какой-либо величины или одновременно нескольких величин бывает недостаточно одного измерительного прибора. В этом случае используют **измерительные установки** (ГОСТ 16263-70) - это совокупность функционально объединенных средств измерений и вспомогательных устройств, предназначенных для выработки сигналов измерительной информации в форме, удобной для непосредственного восприятия наблюдателем и расположенные в одном месте.

В случае, если необходимо сигналы измерительной информации получить в форме, удобной для автоматической обработки, передачи и (или) использования в автоматических системах управления, применяют **измерительные системы** (ГОСТ 16263-70) - это совокупность средств измерений и вспомогательных устройств, соединенных между собой каналами связи. Отдельные средства измерений, входящие в измерительную систему, могут быть значительно удалены друг от друга (иногда на сотни и даже миллионы километров) и соединены между собой каналами проводной или беспроводной связи.

## **4.2 Требования при проведении измерительного контроля**

Нормальные условия выполнения линейных и угловых измерений установлены ГОСТ8.050-73. Стандарт распространяется на линейные размеры от 1 до 500 мм и на угловые размеры с длиной меньшей стороны до 500 мм.

Нормальные условия измерений должны соблюдаться для практического исключения дополнительных погрешностей. Стандартом приняты следующие нормальные значения основных влияющих величин:

- температура окружающей среды - 20°C
- атмосферное давление - 101324,72 Па (760 мм рт.ст.)
- относительная влажность окружающего воздуха - 58% (нормальное парциальное давление водяных паров 1333,22 Па)
- ускорение свободного падения - 9,8м/с<sup>2</sup>



- направление линии измерения линейных размеров до 160 мм у наружных поверхностей - вертикальное, в остальных случаях горизонтальное
- положение плоскости измерения углов - горизонтальное
- относительная скорость движения внешней среды равна нулю
- значения внешних сил должны быть равны нулю.

Пределы допускаемого отклонения температуры объекта измерения и рабочего пространства от нормального значения в процессе измерения должны быть (в зависимости от размера и ряда точности) от 0,1 до 4°C ( по ГОСТ 8.050-73).

Средства измерений должны находиться в условиях, соответствующих требованиям ГОСТ 8.050-73, не менее 24 ч до начала измерений. В рабочее пространство не рекомендуется помещать объекты измерения с отклонением температуры на поверхности от нормальной более чем 1,5...5°C (для разных рядов точности). При этом время выдержки в рабочем пространстве до начала измерений должно быть не менее 2...36 ч (в зависимости от массы объекта и ряда точности). В процессе измерения допускаемые изменения температуры в любой точке рабочего пространства и находящихся в нем поверхностей объекта контроля и средств измерений составляют 0,02...0,5°C в течение 0,5 ч и 0,1...3,0°C в течение 12 ч. Допускаемая разность температур в двух точках 0,02...0,5°C, причем температура 0,02...0,1°C обеспечивается только при расположении оператора вне рабочего пространства.

*Освещенность контролируемых поверхностей должна быть достаточной для надежного выявления дефектов, но не менее 2500 лк для комбинированного освещения с использованием ламп накаливания и не менее 300 лк для общего освещения с использованием ламп накаливания согласно ГОСТ 23479-79.*

### **4.3 Погрешность измерений**

Физическая величина, которой по определению присвоено числовое значение, равное единице, называется **единицей физической величины**, (например, давление 1Па, сила 1Н, частота 1Гц и др.). Однако единицы некоторой величины различаются по своему размеру, например: фут и дюйм, являются единицами длины, но имеют различный размер (1 фут = 0,3048 м, а 1 дюйм = 25,4 · 10<sup>-3</sup> м).

**Значение физической величины** (Хизм), полученное при измерении, определяют по формуле:

$$X_{\text{изм}} = A \cdot X ,$$

которую называют основным уравнением измерения, где **A** - числовое значение, **X**- единица физической величины.

Таким образом, количественная оценка измеряемой величины содержит в себе число, выраженное в общепринятых для данной физической величины единицах. Так, выражение "длина детали равна 3 м" означает, что за единицу длины взят метр, а измеренная длина в 3 раза больше единицы длины.

При измерениях имеют место два понятия: истинное и действительное значение физической величины.

**Истинное значение физической величины** идеальным образом отражает в качественном и количественном отношениях соответствующее свойство объекта. Это значение всегда известно, оно является абсолютной истиной, к которой стремятся при измерениях.

На практике пользуются понятием **действительное значение физической величины**, найденным экспериментальным путем и настолько приближающееся к истинному значению, что для данной цели может быть использовано вместо него.

Из определений истинного и действительного значений физической величины ясно, что зарегистрировать физическую величину можно только с некоторой погрешностью. Заданная погрешность измерений достигается, как правило, применением определенных приемов измерений, соблюдением требуемых условий, а также применением и соблюдением установленных правил обработки полученных результатов измерений.

Разность между полученными при измерениях и истинным значением измеряемой величины представляет собой **погрешность измерения**

$$\Delta i = X_i - X_0, (i = 1,2,3...n) , \text{ где}$$

$X_i$  - значение измерения

$X_0$  - истинное значение

**n** - число измерений

По форме числового выражения погрешности измерений подразделяются на абсолютные и относительные.

**Абсолютная погрешность измерений** - алгебраическая разность между показанием  $A$  измерительного средства и истинным значением  $A_0$  измеряемой величины:

$$\Delta_x = A - A_0$$

Она имеет размерность измеряемой физической величины и может иметь положительное или отрицательное значение.

**Относительная погрешность измерений** - отношение абсолютной погрешности к истинному (действительному) значению измеряемой величины, выраженное в процентах:

$$\delta = \Delta_x / A_0 \cdot 100\%$$

Она дает возможность сопоставить значение погрешности со значением измеряемой величины, т.е. получить непосредственное представление о точности проведенных измерений.

Погрешности измерений по закономерности их появления, причинам возникновения и возможности устранения делятся на **систематические** и **случайные** погрешности.

К **систематическим погрешностям** относится составляющая общей погрешности, значение которой остается постоянным или закономерно изменяется при повторных измерениях одной и той же физической величины, производящихся одним и тем же методом, с помощью одних и тех же средств измерений. В зависимости от причин возникновения систематические погрешности подразделяют на:

- погрешности метода
- инструментальные
- погрешности, являющиеся функцией влияющих на результаты измерений величин
- субъективные (индивидуальные) погрешности

**Погрешности метода** - ошибочность в разработке метода проверки; - неоправданные упрощения при проведении измерений; - пренебрежение влияния измерительной аппаратуры или первичного преобразователя на результаты измерений.

**Инструментальные погрешности** - погрешность средств измерений.

**Погрешности, являющиеся функцией влияющих на результаты измерений величин**, могут возникать из-за плавного изменения температуры, влажности окружающей среды, изменения магнитных

и электрических полей, повышения или понижения напряжения источника питания и т.д.

**Субъективные (индивидуальные) погрешности** обусловлены: неправильным отсчетом десятых долей шкалы, неправильной установкой нуля прибора, неправильным направлением взгляда контролера на показывающий прибор и т.д.

К постоянным систематическим погрешностям приводят: неправильная градуировка и юстировка измерительных средств, неправильная установка начала отсчета.

Переменные систематические погрешности подразделяют на прогрессивные, т.е. монотонно возрастающие или убывающие во время измерений, и периодические. Периодическая погрешность характерна для измерительных средств с круговой шкалой, если, например, ось вращения стрелки не совпадает с центром окружности шкалы измерительного средства.

**Случайные погрешности** - составляющие общей погрешности измерений, изменяющиеся случайным образом при повторных измерениях одной и той же величины. Это небольшое изменение температуры и влажности окружающей среды, нерегулярные изменения трения в сопряженных элементах измерительного устройства, случайные и регулярные вибрации, периодическое изменение напряжения в сети и т.д.

Если погрешность измерений существенно превышает ожидаемую при данных условиях погрешность, она называется **грубой погрешностью**.

Погрешности, возникающие при неправильном обращении со средствами измерений и неаккуратном оформлении результатов, называются **промахами**. Промахами могут быть ошибочные отсчеты по шкале прибора, ошибки при записи цифр и т.д.

Для исключения (уменьшения) случайных погрешностей измерения применяют специальные методы, основанные на теории вероятности и математической статистики.

#### **4.4 Погрешности средств измерений**

Эти погрешности обусловлены несовершенством измерительных приборов. По характеру зависимости измеряемой величины от времени, погрешности средств измерений подразделяются на статические и динамические.

**Статические погрешности средств измерений** появляются при измерениях постоянных во времени физических величин. Все приборы, имеющие электронные блоки, требуют некоторого времени прогрева, указанного в его техническом описании; или выдерживание средств измерений в нормальных условиях перед началом измерения. Смысл операции прогрева (выдержки) состоит в том, чтобы за установленное время все переходные процессы в элементах средств измерений были завершены.

**Динамические погрешности средств измерений** обусловлены инерционностью средств измерений или преобразователей.

По форме числового выражения погрешности средств измерений подразделяются на абсолютные, относительные и приведенные.

**Абсолютная погрешность средств измерений** определяется разностью между показанием средств измерений и истинным значением физической величины:

$$\Delta_a = X_n - X_d, \text{ где}$$

$X_n$  - показания средств измерений (по ГОСТ 8.401-80)

$X_d$  - истинное (действительное) значение физической величины.

**Относительная погрешность средств измерений** - определяется отношением абсолютной погрешности средств измерений к истинному (действительному) значению измеряемой величины и выражается в процентах:

$$\Delta_o = \Delta_a / X_d \cdot 100\%.$$

**Инструментальная погрешность** - относится к систематическим погрешностям только при измерении постоянной физической величины с помощью одного и того же измерительного средства. Она включает в себя следующие основные составляющие:

*Теоретические погрешности* - обусловлены принципиальным несовершенством схемы прибора. К этим погрешностям относятся погрешности ряда рычажных механизмов. Теоретические погрешности поддаются расчету.

*Погрешности изготовления деталей прибора и его сборки* - неизбежны не только для деталей сложной формы (зубчатые колеса, специальные профили), но и для всех деталей даже простейшей

геометрической формы (валы, втулки, рычаги).

*Погрешности из за износа* деталей прибора в эксплуатации и засорения его механизма. Приборы, в том числе имеющие широкое применение (микрометры, индикаторы часового типа, и др.), разделяют на классы точности. Следует отметить, что приборы менее точных классов, не изготавливают. В эти классы переводят только приборы, которые находятся в эксплуатации.

*Погрешности вследствие трения* в механизме прибора - это прежде всего размах показаний (или ранее принятый термин "вариация"), который определяется при многократном измерении одного и того же размера. На размах показаний, кроме трения в механизме прибора, влияют люфты и другие факторы. Совместное действие упругих деформаций деталей с трением или люфтами вызывает погрешность обратного хода и является причиной порога чувствительности.

Погрешность, обусловленная средством измерения, применяемого в нормальных условиях, называется **основной погрешностью** (ранее был термин "погрешность показаний прибора"). Отклонение значений влияющих величин от нормальных, приводят к возникновению **дополнительной погрешности** средств измерений. Если в некоторой области значений влияющих величин дополнительная погрешность средств измерений не превышает пределов, допускаемых стандартами и техническими условиями значений, эта область называется расширенной областью. При этом условия эксплуатации средств измерений называются "рабочими". ГОСТ 8.401-80 предусматривает нормирование погрешностей путем задания пределов допускаемых основной и дополнительной погрешностей средств измерения. Эксплуатация средств измерений возможна только тогда, когда эти погрешности находятся в допускаемых пределах.

Пределы допускаемой **приведенной основной погрешности** (в %) устанавливаются по формуле:

$$\gamma = \Delta / X_H \cdot 100 = \pm p, \text{ где}$$

- $\gamma$  - пределы допускаемой приведенной погрешности в %
- $\Delta$  - пределы допускаемой абсолютной основной погрешности
- $X_H$  - нормирующее значение, имеющее ту же размерность, что и измеряемая величина
- $p$  - отвлеченное положительное число из  $1 \cdot 10^n$ ;  $1,5 \cdot 10^n$ ;

$(1,6 \cdot 10^n)$ ;

$2 \cdot 10^n$ ;  $2,5 \cdot 10^n$ ;  $(3 \cdot 10^n)$ ;  $4 \cdot 10^n$ ;  $5 \cdot 10^n$ ;  $6 \cdot 10^n$ ;

( $n = 1, 0, -1, -2$  и т.д.). Значения в скобках не рекомендуется устанавливать для вновь разрабатываемых средств измерений.

Пределы допускаемой **относительной основной погрешности** (в %) устанавливают по формуле:

$$\delta = \Delta/X_d \cdot 100 = \pm g, \text{ где}$$

$X_d$  - показания прибора

$\Delta$  - абсолютная погрешность средств измерения

$g$  - величина, выбираемая из приведенного ряда чисел для **p**.

Приведенный перечень погрешностей, систематизированных по источникам их возникновения, не является исчерпывающим. Систематизировать все погрешности почти невозможная задача, если учесть разнообразие современных приборов по принципу действия, схеме, конструкции, технологии изготовления. Отношение некоторых составляющих погрешностей к погрешности инструментальной или не инструментальной является спорным вопросом.

Даже те погрешности, источник которых однозначен и ясен, получаются с естественными для всех измерений погрешностями (в этом отношении предпочтительнее расчетные погрешности, например: расчетные теоретические погрешности). Таким образом, погрешность тоже получается со своей погрешностью. Истинная погрешность, как и истинный размер, недостижима. Причины погрешности, с которыми определяют погрешности, по существу те же, что и причины погрешностей при измерении деталей.

На практике почти всегда удается путем надлежащей постановки экспериментов получить с достаточной точностью интересующую погрешность. На языке математической статистики при этом, находят не истинные значения погрешностей, а так называемые их оценки.

## **4.5 Основные метрологические характеристики приборов**

Рассмотрим некоторые метрологические понятия и соответствующие термины.

**Цена деления** - изменение измеряемой величины, соответствующее перемещению указателя на одно деление шкалы. Для большинства современных приборов линейных измерений цена деления составляет 1; 0,1; 0,05; 0,02; 0,01; 0,005; 0,002; 0,001; 0,0005; 0,0002; 0,0001мм. Понятие "цена деления" распространяется на все приборы линейных измерений.

**Длина деления шкалы** - расстояние (мм) между двумя ближайшими отметками шкалы. Для многих приборов линейных измерений длина деления шкалы составляет 1мм или близка к 1мм. При такой длине деления возможно наиболее точно на глаз отсчитать десятые доли деления шкалы при наименьшем утомлении контролера. Длина деления в этом смысле является оптимальной. Однако в оптических приборах с окулярным отсчетом длина деления шкалы обычно в несколько раз меньше 1мм, например, для оптиметровой трубки она составляет 0,08мм. Так как эта шкала рассматривается через окуляр с 12 кратным увеличением, то видят шкалу с длиной деления  $0,08 \cdot 12 = 0,96 \approx 1$ мм. Таким образом, для этих приборов следует рассматривать видимую длину деления шкалы, подчиняющуюся по значению общему правилу.

В ШЦ-1 - 125 -0,1 - длина между линиями нониуса составляет 1,9 мм

(19мм : 10 делений = 1,9 мм);

В ШЦ-11-250-0,05 - длина между линиями нониуса составляет 1,95 мм

(39мм : 20 делений = 1,95 мм);

В МК 30-1 - при диаметре барабана 18мм длина деления шкалы составляет 1,13 мм

(18мм : 50 делений = 1,13 мм).

**Чувствительность прибора** - комплексно охватывает цену деления и длину деления шкалы. По определению чувствительность прибора - это отношение перемещения указателя к вызвавшему его изменению измеряемой величины, т.е. отношение длины деления шкалы к цене деления. Для большинства приборов линейных измерений она составляет приблизительно 10, 20, 50, 100, 200, 500, 1000, 2000, 5000, 10000. Чувствительность приборов для линейных измерений является безразмерной величиной. Для шкальных измерительных приборов типа пружинных головок, индикаторов часового типа чувствительность численно равна передаточному отношению механизма прибора.



**Диапазон показаний** (измерений по шкале) - область значений шкалы, ограниченная ее начальным и конечным значениями. Например, для большинства микрометров диапазон измерений по шкале равен 25мм, для оптиметра  $\pm 0,1$ мм.

**Диапазон измерений** - область значений измеряемой величины, для которой нормированы допускаемые погрешности средств измерений. Например, диапазон измерения для микрометров 0...25, 25...50, 50...75мм и т.д., для проекционного вертикального оптиметра ИКВ-3 0...200мм (рис. 31а).

**Предел измерений** - наибольшее или наименьшее значение диапазона измерений.

**Точность измерений** - это качество измерений, отражающее близость их результатов к истинному значению измеряемой величины; при этом высокая точность измерений соответствует малым погрешностям всех видов, как систематических, так и случайных.

**Класс точности средств измерений** - обобщенная характеристика, обусловленная пределами допускаемых основной и дополнительной погрешностей и другими влияющими на их точность свойствами средств измерения, значения которых должны быть установлены в стандартах или технических условиях на конкретные средства измерения.

Класс точности средств измерений определяется их погрешностью, а форма его выражения зависит от способа установления пределов допускаемой погрешности. Класс точности присваивается средствам измерения по правилам, регламентируемым ГОСТ 8.401-80.

Установлены различия при обозначении классов точности средств измерений в документации и на самих средствах. Условные обозначения класса точности наносятся на циферблаты, щитки и корпуса средств измерений.

Класс точности средства измерения устанавливается его калибровкой по образцовому средству в нормальных условиях, причем показания образцового средства необходимо принимать за истинное значение измеряемой величины.

Если средства измерений характеризуются допускаемой приведенной погрешностью, им присваивается класс точности из ряда:  $[1; 1,5; (1,6); 2; 2,5; (3); 4; 5; 6] \cdot 10^n$ , где  $n = 1; 0; -1; -2$ ; и т.д.

При одном и том же показателе степени  $n$  для конкретного средства измерений можно устанавливать не более пяти различных пределов.

Для средств измерений с равномерной, практически равномерной или степенной шкалой, при выражении погрешности в виде приведенной основной погрешности ( $\gamma$ ), в документах и на средствах измерений устанавливаются одинаковые обозначения, например, при  $\gamma = \pm 1,5\%$  класс точности 1,5.

Для средств измерений с неравномерной шкалой, когда нормирующим значением выбирается вся шкала или ее часть, рекомендованы обозначения: например, при  $\gamma = \pm 2,5\%$  в документах класс точности 2,5, на средствах измерений 2,5.

Если точность средства измерений характеризуется основной относительной погрешностью ( $\delta$ ), то например, для  $\delta \pm 2\%$  устанавливаются следующие обозначения: в документации - класс точности 2,0; на средствах измерения - 2,0.

Для средств измерений с логарифмической, гипер-болической и другими неравномерными шкалами допускается наносить знак №% и знаки в виде точек или треугольников, указывающие часть шкалы, в пределах которой действует этот знак. Этот же знак является обозначением класса точности.

**Образцовые средства измерений** - это меры, измерительные приборы или преобразователи, служащие для контроля измерительных средств. Они периодически проверяются по эталонам. Их точность имеет большое значение для обеспечения единства измерений.

**Рабочие средства измерений** - это меры, устройства или приборы, применяемые для измерений, не связанных с передачей единицы физической величины (например, концевая мера длины, используемая для контроля размеров изделий или для наладки станков).

## **4.6 Средства измерительного контроля**

**Концевые плоскопараллельные меры длины (ГОСТ 9038-90)** - применяются для хранения и передачи единицы длины, для проверки и градуировки, различных мер и приборов, для проверки калибров, а так же для измерения размеров изделий и приспособлений, для точных разметочных и координатно-расточных работ, для наладки станков и т.п. (рис. 21; 52а,б).

Концевые плоскопараллельные меры длины представляют собой прямоугольные параллелепипеды из закаленной хромистой стали (120ХГ, ХГ, ШХ15) или твердого сплава (ВК6М), размер

которых определяется расстоянием между двумя строго параллельными плоскостями при температуре 20°C. Так как на практике невозможно получить идеальную плоскостность и плоскопараллельность измерительных поверхностей, то за замер концевых мер принимается ее срединная длина  $C$ , т.е. длина перпендикуляра, опущенного из середины одной из измерительных поверхностей меры (точки пересечения диагоналей на этой поверхности) на противоположную измерительную поверхность (рис. 22).

Разность между срединной длиной концевой меры  $C$  и длиной перпендикуляра, опущенного из любой точки поверхности меры на противоположную измерительную поверхность (например,  $A$  или  $A_1$ ), характеризует отклонение от плоскопараллельности данной меры. Требования от плоскопараллельности концевых мер длины оговорены в ГОСТ 9038-90 для 0...5 классов точности (см. таблицу 1).

Концевые меры длины выпускаются в 14 - различных наборах - от 7 до 116 плиток в наборе. Наиболее широкое применение имеет набор №1, состоящий из 87 плиток. В этот набор входят защитные плитки, применяющиеся с целью сохранения рабочих поверхностей концевых мер. В отличие от обычных мер, защитные меры имеют с одного края закругленные ребра или срез.

Для более широкого использования концевых мер к ним выпускаются наборы принадлежностей (по ГОСТ 4119-76), состоящие из различных боковичков: плоскопараллельные, радиусные, центровые и чертильные, державки и стяжки для крепления блоков концевых мер с боковичками (ПК-1, ПК-2, ПК-3). Кроме того, выпускаются дополнительные плоскопараллельные меры длины размером от 320 до 1500мм. Из плиток и радиусных боковичков можно собрать проходные и непроходные однопредельные скобы и пробки (для деталей 2-го и ниже классов точности) (рис. 52.1).

Способность концевых мер плотно слипаться при надвигании одной плитки на другую называется притираемостью.

При составлении блока отдельные плитки промывают чистым бензином и тщательно вытирают чистым полотном. Затем плитку накладывают на вторую примерно, на  $1/3$  ее длины и плотно прижимают одна к другой (рис. 87).

*Во избежание возможных ошибок рекомендуется:*

- предварительно рассчитать, какие меры нужно взять для

данного блока с учетом погрешностей отдельных плиток указанных в аттестате;

- составить блок не больше, чем из 5 плиток;
- плитки размером более 5мм класть на стол только на нерабочую поверхность;
- не притирать плитки рабочей поверхностью к нерабочей (следует помнить, что у плиток размером до 5,5мм маркируют рабочую сторону, а у плиток более 5,5мм - не рабочую (боковую) поверхность;
- сначала притирать между собой плитки небольших размеров, далее этот блок притирать к плитке среднего размера, а затем уже к плитке наибольшего размера;
- при работе непосредственно с блоком применять защитные плитки, которые находятся в наборе;
- после окончания работы блок разобрать, промыть бензином, вытереть насухо, смазать вазелином и уложить в соответствующую ячейку футляра.

Аттестацию и контроль концевых мер выполняют с высокой точностью (по ГОСТ 8.166-75) интерференционным методом с помощью стеклянных пластин.

**Таблица 1**

Допустимые отклонения (мкм) для классов точности (ГОСТ 9038-90)

До р-ра 250мм	0	1	2	3	4	5
От номинального значения ( $\pm$ )	0,1...0,6	0,2...1,2	0,4...2,5	0,8...5	2...10	4...20
До р-ра 250мм	0	1	2	3	4	5
От плоскопараллельности	0,09...0,15	0,16...0,25	0,3...0,4	0,3...0,4	0,6...0,8	0,6...0,8

Шероховатость рабочих поверхностей концевых мер по ГОСТ 2789-73

$$R_z = 0,065...0,050 \text{ мкм.}$$

**Линейки измерительные металлические** (ГОСТ 427-75). ГОСТ распространяется на измерительные металлические линейки с пределами измерений до 3000мм с ценой деления 1мм (рис. 16).

Пример условного обозначения измерительной линейки с пределом измерения 300мм:

*Линейка - 300 ГОСТ 427-75*

Правила выполнения измерений (рис. 18).

Отклонения от номинальных значений длины шкалы и расстояний между любым штрихом и началом или концом шкалы не должны превышать:

Общая длина, (мм)	Допустимое отклонение, (мм)
до 300	$\pm 0,10$
от 300 до 500	$\pm 0,15$
от 500 до 3000	$\pm 0,20$

**Рулетки измерительные металлические** (ГОСТ 7502-89) - предназначаются для измерения линейных размеров непосредственным сравнением со шкалой рулетки (рис. 1в,г).

Изготавливаются лентами из:

- нержавеющей стали (в условном обозначении рулетки - Н)
- углеродистой стали с защитным антикоррозионным покрытием (в условном обозначении рулетки - У)

Вытяжные концы лент рулетки изготавливают:

- с кольцом (в условном обозначении рулетки - К)
- с держателем для закрепления на предмете, подлежащем измерению (в условном обозначении рулетки - Д)
- с грузом (в условном обозначении рулетки - Г)
- с прямоугольным торцем (в условном обозначении рулетки - П)

Условное обозначение состоит из номинальной длины шкалы, материала ленты, класса точности, конструктивного исполнения вытяжного конца ленты и обозначения стандарта.

Пример условного обозначения:

**Р30Н2К ГОСТ 7502-89**

Рулетка с номинальной длиной шкалы 30м, лентой из нержавеющей стали 2-го класса точности, с кольцом на вытяжном конце ленты.

**Р5У3П ГОСТ 7502-89**

Рулетка с номинальной длиной шкалы 5м, лентой из углеродистой стали, 3-го класса точности, с прямоугольным торцем на вытяжном конце ленты.

**Штангенприборы** - применяются при измерении методом непосредственной оценки линейных размеров со сравнительно широкими допусками и при разметке. Принцип отсчитывания штангенприборов основан на совмещении штрихов двух линейных шкал - основной и шкалы нониуса.

К основным видам штангенприборов относятся:

- штангенциркули (штангендиномеры)
- штангенглубиномеры
- штангенрейсмусы (штангенвысотомеры).

**Штангенциркули** (ГОСТ 166-89) - используют для измерения наружных и внутренних размеров, глубин и уступов. Они являются наиболее распространенным видом штангенприборов.

Различают штангенциркули следующих типов:

**ШЦ-I** - с двусторонним расположением губок для наружных и внутренних измерений и линейкой для измерения глубин (рис. 2а; 4б; 5а,б).

Предел измерений - 0...125мм.

Предельная погрешность показаний  $\pm 0,1$ мм.

Величина отсчета по нониусу - 0,1мм.

**ШЦТ-I** - аналогичен ШЦ-I, только с измерительными поверхностями из твердого сплава.

**ШЦ-II** - с двусторонним расположением губок для наружных и внутренних измерений и для разметки (рис.2б; 4в; 5г, д; 7).

Предел измерений - 0...160мм, 0...250мм, 0...320мм.

Величина отсчета по нониусу - 0,05мм.

Предельная погрешность показаний  $\pm 0,05$ мм.

**ШЦ-III** - с односторонним расположением губок для наружных и внутренних измерений. Может быть с дополнительным разметочным устройством (рис. 2в; 4г; 5е).

Предел измерений - 0...160; 0...250; 0...400; 250...630; 320...1000; 500...1600; 800...2000; 1500...3000; 2000...4000мм.

Величина отсчета по нониусу - 0,02 - 0,05 или 0,1мм.

Предельная погрешность показаний  $\pm 0,02$ ;  $\pm 0,05$ ; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4 мм.

Нижний предел измерений штангенциркулей - ноль. Однако необходимо уточнить, что нижний предел внутренних измерений штангенциркулей **ШЦ-II** и **ШЦ-III** составляют не ноль, а определяется суммарной толщиной губок и равен (для новых) 10мм до предела измерений - 400мм и 20 мм для предела измерений свыше 400мм.

Нижний предел измеряемых наружных размеров больших штангенциркулей **ШЦ-III** не ноль, а 250, 320, 500, 800, 1500, 2000мм, причем хотя нулевая точка имеется, однако участка шкалы, начинающегося от ноля, не существует.

Вылет губок для измерения наружных размеров составляет 35...150мм, для измерения внутренних размеров 6...18мм.

Штангенприборы не оснащены устройством для стабилизации измерительного усилия, что влияет на их показания. Основными источниками погрешности штангенприборов являются: погрешность отсчитывания и погрешность при износе элементов штангенприбора.

**ШЦК** - штангенциркуль, имеющий круговую шкалу, т.е. вместо нониусного отсчетного устройства - индикаторное. Такой штангенциркуль имеет закрепленную на штанге зубчатую рейку, которая входит в зацепление с зубчатым колесом измерительной головки, установленной на подвижной рамке.

Предел измерений - 0...200мм.

Величина отсчета по шкале - 0,02; 0,05; 0,1мм.

Предельная погрешность показаний  $\pm 0,02; 0,05; 0,1$ мм.

К недостаткам штангенциркуля с индикаторным устройством относятся:

- повышенная стоимость
- сравнительно быстрый износ зубчатой рейки

**ШЦЦ** - штангенциркуль с цифровым отсчетным устройством. Шаг дискретности цифрового отсчетного устройства - 0,1мм. Японская фирма "Мицутойо" выпускает электронные цифровые штангенприборы, которые фиксируют результат измерения на табло цифрового счетчика, что обеспечивает легкое и точное отсчитывание.

При измерении штангенциркулем деталь должна иметь возможность перемещаться между губками с легким трением. При снятии отсчета целое число миллиметров отсчитывают по штанге по ближайшему штриху слева от нулевого штриха, а доли миллиметра - по нониусу в точке, где штрих нониуса наилучшим образом совпадает со штрихом штанги (рис. 4а).

Устройство микрометрической подачи штангенприборов применяют для тонкой установки рамки относительно штанги. При этом в случае наружных измерений сначала прибор устанавливается на размер несколько больший измеряемого, затем закрепляют рамку устройства микрометрической подачи, а далее при помощи этого устройства доводят губки до соприкосновения с измеряемой деталью и производят отсчет.

Штангенциркули со значением отсчета по нониусу 0,1мм и верхним пределом до 400мм, а так же штангенциркули с отсчетом по круговой шкале с ценой деления 0,1мм изготавливаются двух классов точности - 1 и 2.

Предел допускаемой погрешности при температуре окружающего воздуха  $20 \pm 4^\circ\text{C}$  при значении отсчета по нониусу:

0,05мм - должен соответствовать  $\pm 0,05\text{мм}$

0,1мм - для класса точности  $1 \pm 0,05\text{мм}$

для класса точности  $2 \pm 0,1\text{мм}$

*Пример условного обозначения:*

### **ШЦ-II-250-0,05 ГОСТ 166-89**

Штангенциркуль типа II с диапазоном измерения 0 - 250мм и значением отсчета по нониусу 0,05мм.

**Штангенглубиномеры** (ГОСТ 162-90) - служат для измерения различных глубин. Прибор состоит из основания и штанги. Одна из поверхностей основания является измерительной. Торец штанги, который перемещается перпендикулярно относительно измерительной поверхности основания, является другой измерительной поверхностью. Торец штанги может быть изготовлен с обратной губкой (рис. 3а; 4е; 5в).

Нижний предел измерений штангенглубиномеров - ноль, верхний - 160, 250, 400мм.

Цена деления по нониусу 0,05мм.

Предельная погрешность показаний  $\pm 0,1$ ; 0,15

При измерении прибор основанием устанавливается на базовую поверхность детали, а штангу выдвигают до соприкосновения с ее дном.

*Пример обозначения:*

### **ШГ-160-0,05 ГОСТ 162-90**

**Штангенрейсмусы** (ГОСТ 164-90) - применяют для измерения высоты деталей и разметки. От штангенциркуля этот прибор отличается тем, что вместо неподвижной губки он имеет массивное основание, а на рамке возможно устанавливать сменные ножки для измерения высоты (с двумя измерительными поверхностями) или ножки (с острием) для разметки (рис. 3б; 4д; 5ж).

Штангенрейсмус в отличие от других штангенприборов является настольным прибором.

Предел измерений - 0...125; 0...250; 40...400; 60...630; 100...1000; 600...1600; 1500...2500мм.

Величина отсчета по нониусу - 0,05; 0,1мм.

Погрешность показаний  $\pm 0,05$ ;  $\pm 0,1\text{мм}$ . Вылет ножки - 50...160мм.

*Пример обозначения:*

### **ШР-400-0,05 ГОСТ 164-90**



### **Специализированные штангенприборы.**

Помимо перечисленных универсальных штангенприборов, имеются специализированные.

**ШЦР** - центроискатель - разметочный, для разметки плоскостей на разных высотах и от базовых отверстий.

Предел измерений - 15...300мм.

Величина отсчета по нониусу - 0,1мм.

Предел погрешности показаний  $\pm 0,1$ мм.

ГОСТ 166-89

**ШЦЦ** - штангенциркуль-центромер для измерения межцентровых расстояний отверстий или шпилек круглого, овального, прямоугольного, Т-образного и других сечений, имеющих ось симметрии.

Предел измерений - 6...150мм.

Величина отсчета по нониусу - 0,05мм.

Предел погрешности показаний  $\pm 0,1$ мм.

ГОСТ 166-89

**ШЦО-III** - штангенциркуль с односторонним расположением губок, для измерения отверстий при расточке деталей без вывода борштанги из контролируемого отверстия.

Предел измерений - 14...320мм.

Величина отсчета по нониусу - 0,1мм.

Предел погрешности показаний  $\pm 0,1$ мм.

ГОСТ 166-89

**2ШГ** - штанген глубиномер с острием на конце штанги - для измерения в труднодоступных местах и **3ШГ** - с уступом на конце штанги - для измерения размеров выступов и Т-образных пазов. В этих приборах цена деления составляет 0,05 или 0,1мм, и они имеют устройство микрометрической подачи. ГОСТ 162-80.

Критерием предельного состояния, является износ элементов штангенприбора, приводящий к невыполнению требований по пределу допускаемой погрешности и усилиям перемещения рамки по штанге.

**Микрометрические приборы** - применяют при измерении линейных размеров как правило методом непосредственной оценки.

Принцип отсчитывания основан на взаимодействии двух шкал - основной шкалы на стебле и шкалы на конической поверхности барабана. Микрометрические приборы имеют винтовую пару, преобразующую вращательное движение микрометрического винта в поступательное.

К приборам этой группы относятся:

- микрометры
- микрометрические глубиномеры
- микрометрические нутромеры.

Такой же принцип действия положен в основу работы микрометрических головок инструментальных микроскопов, проекторов.

Микрометрические приборы обеспечивают большую точность измерений, чем штангенприборы, при меньшей производительности. Последнее очевидно, если сравнить скорость перемещения рамки по штанге (скольжение) со скоростью перемещения микрометрического винта, шаг которого обычно равен 0,5мм.

**Микрометры** - предназначены для наружных измерений (ГОСТ 6507-90), (рис. 8ж; 11). Различают микрометры следующих типов:

**МК** - гладкий микрометр, для измерения наружных размеров, имеет плоские измерительные поверхности и является наиболее универсальным и распространенным микрометром. Детали, образующие измерительные поверхности микрометров, выполняют из закаленной инструментальной стали или твердого сплава (рис. 6а; 8б).

Предел измерений - 0...15; 0...25; 25...50; 50...75; 75...100; 125...150; 150...175; 175...200 и т.д. 300...400; 400...500; 500...600мм. Интервал 100мм образуется вследствие перемещения переставной удлиненной пятки (до 75мм). Имеются и большие микрометры.

К микрометрам, имеющим нижний предел измерений выше 25мм, прилагают установочные меры, рабочие поверхности которых выполнены из твердого сплава.

Цена деления - 0,01мм.

Погрешность показаний	0 кл	$\pm 0,002\text{мм}$	0...100мм
	1 кл	$\pm 0,004\text{мм}$	0...100мм
		$\pm 0,005\text{мм}$	100...200мм
		$\pm 0,006\text{мм}$	200...300мм
		$\pm 0,008\text{мм}$	300...500мм
		$\pm 0,010\text{мм}$	500...600мм

Шаг винта - 0,5мм

Микрометры изготавливают 0-го, 1-го и 2-го класса точности. Нулевой класс точности имеют только гладкие микрометры. Предел допускаемой погрешности для первого класса от  $\pm 0,002...0,006\text{мм}$  в зависимости от размера. В микрометрах второго класса точности

предел погрешности составляет от  $\pm 0,004...0,010$  мм в зависимости от типоразмера.

Обозначение: МК 25-1 ГОСТ 6507-90.

Предел измерений 0...25; 1 кл. точности.

МЛ - листовый микрометр предназначен для измерения толщины листов и лент (рис. 9.1).

В листовых микрометрах, в отличие от гладких, сотые доли миллиметра отсчитывают с неподвижного циферблата, расположенного перпендикулярно оси микрометрического винта. Стрелка (указатель циферблата) вращается вместе с барабаном. Такое отсчетное устройство обеспечивает более удобное отсчитывание при измерении лежащего листа или ленты. Важная техническая характеристика таких микрометров - возможность производить измерения на определенном удалении от края листа, определяемом вылетом скобы. Так, для диапазонов измерений: 0...5; 0...10; 0...25; мм вылет составляет 20, 40 и 80 мм. Измерительная поверхность микрометрического винта выполнена плоской, а пятки сферической. Шаг микрометрического винта составляет 1 мм, что уменьшает время измерения. Погрешность показаний  $\pm 0.004$  мм.

Обозначение: МЛ 10-1 ГОСТ 6507-90.

Предел измерений 0...10 мм; 1 класс точности.

МТ - микрометр трубный для измерения толщины стенок труб. Пятка этого микрометра выполнена сферической, а скоба имеет выемку со стороны пятки, для ввода ее в трубу. При помощи этой скобы возможно измерять толщину стенок труб с внутренним диаметром более 12 мм.

Предел измерений - 0...10, 0...25 мм.

Погрешность показаний -  $\pm 0,004$  мм.

Обозначение: МТ 25-1 ГОСТ 6507-90.

Предел измерений 0...25; 1 класс точности.

МВМ - микрометры для измерения метрических и дюймовых резьб (ГОСТ 4380-86) (рис. 74).

Резьбовые микрометры по конструкции отличаются от гладкого микрометра тем, что шпиндель и пятка имеют отверстия, в которые вставляют специальные вставки, входящие в комплект микрометра (рис. 74.1). Резьбовые вставки изготавливают парами

- коническая и призматическая. Размеры вставок зависят от шага резьбы. Для контроля метрических резьб всех размеров набор вставок состоит из семи пар (рис. 8г).

Настраивают микрометр по специальному шаблону, который имеет с одной стороны внешний угол, а с другой - внутренний, соответствующий профилю измеряемой резьбы (рис. 74). Схема измерения резьбы микрометром (рис. 76, 78).

Суммарная погрешность измерения среднего диаметра резьбы резьбовым микрометром близка к 0,2мм. На величину суммарной погрешности влияют погрешность половин угла профиля измеряемой резьбы и резьбовых вставок, погрешность установки вставок в гнездах и погрешность показаний микрометра. При установке микрометра по достаточно точному образцу погрешность может быть снижена до 0,1мм.

Предел измерений - 0...350мм (с интервалом через 25мм)

Погрешность показаний -	± 0,004мм	0...100мм
	± 0,005мм	125...200мм
	± 0,006мм	225...275мм
	± 0,007мм	300...350мм

Обозначение: МВМ 0-25 ГОСТ 4380-86

МВТ - микрометр для измерения трапецеидальных резьб (ГОСТ 4380-86). Аналогичен микрометрам МВМ.

Предел измерений 0...345мм.

МЗ - микрометр зубомерный для измерения длины общей нормали зубчатых колес (ГОСТ 6507-90).

Отличается от гладкого микрометра тем, что подвижная и неподвижная губки изготовлены в виде дисков. Измерение производится аналогично измерению гладким микрометром.

Предел измерений - 0...25; 25...50; 50...75; 75...100мм

Погрешность показаний - ± 0,005мм.

МП - микрометр для измерения проволоки.

Предел измерений 0...10мм.

МВП - микрометр для измерения деталей из мягких материалов - кожи, пластмассы или картона (ГОСТ 4380-86).

Предел измерений - 0...25мм

Погрешность показаний - ± 0,005мм.

МГ - микрометр настольный горизонтальный и МВ - микрометр настольный вертикальный предназначены для наружных измерений малогабаритных деталей (ГОСТ 11195-74)

В настольных микрометрах для удобства измерений предусмотрен предметный столик. Измерительный стержень микрометрической головки перемещается в осевом направлении без вращения при помощи микрометрического винта, что позволяет измерять малогабаритные нежесткие детали.

Предел измерений	МГ - 0...20мм МВ - 0...10мм
Погрешность показаний -	$\pm 0,002$ мм до 3мм $\pm 0,003$ мм св. 3мм.

К настольным микрометрам прилагается комплект измерительных наконечников (цилиндрические с плоской поверхностью, ножевидные и тарельчатые), что позволяет измерять детали различной формы.

Микрометр должен иметь трещотку (фрикцион) или другое устройство, обеспечивающее измерительное усилие в ньютонах:

- с двумя плоскими поверхностями - 50...90Н
- с одной или двумя сферическими поверхностями - 30...70Н

Допускаемое колебание измерительного усилия для одного прибора не должно превышать 20Н.

На погрешность измерения гладкими микрометрами влияют погрешность микрометрической пары, погрешность отсчитывания, отклонения от параллельности измерительных поверхностей, погрешность установочной меры, разгиб скобы под действием измерительного усилия и температурные деформации.

Погрешность, связанная с температурными деформациями микрометра от тепла рук контролера, будет существенной уже в диапазоне размеров 25...50мм и преобладающей в общей погрешности измерения в микрометрах с нижним пределом измерений более 100мм. Поэтому такие микрометры выпускают с теплоизоляционными накладками. Предельная погрешность измерения при работе с гладкими микрометрами в стойке типа 15СТ (рис. 34) или с надежной изоляцией составляет  $\pm 0,005...0,020$ мм для размеров 0...500мм. Если микрометр находится в руках контролера, то погрешность возрастает до  $\pm 0,005...0,050$ мм.

Ряд зарубежных фирм изготавливает гладкие микрометры с шагом микрометрического винта 1мм и барабаном со 100 делениями. При этом отпадает необходимость во второй продольной шкале на стебле микрометра, что исключает грубые погрешности при отсчитывании. Некоторые зарубежные фирмы выпускают

микрометры с цифровой индикацией, которые упрощают снятие отсчета и повышают производительность измерений. Например, микрометры с цифровым отсчетом японской фирмы "Мицубой" имеют цену деления 0,01мм (рис. 9).

При измерении микрометром, пользуясь трещоткой, подводят микрометрический винт до соприкосновения с деталью. Трещотку необходимо поворачивать до тех пор, пока она не станет проворачиваться вхолостую (обычно 3 раза). Покачивая деталь, проверяют отсутствие перекаса и снимают отсчет.

Так как полный оборот барабана равен 0,5мм, то для снятия отсчета необходимо убедиться в том, что барабан совершил пол-оборота. Таким образом, целое число и полмиллиметра отсчитывают краем скоса барабана по шкале стебля, а десятые и сотые доли миллиметра определяют по делению барабана, совпадающему с продольной риской стебля (рис. 8а).

Пример условного обозначения гладкого микрометра с диапазоном измерения 25...50мм 1-го класса точности:

**Микрометр МК50-1 ГОСТ 6507-90**

Или микрометрической головки с нониусом с диапазоном измерения 0...25мм (горизонтальная)

**Микрометр МГ Н25 ГОСТ 6507-90**

**Микрометрический глубиномер МГ (ГОСТ 7470-78)** - предназначен для измерения глубин, а так же высоты уступов. Глубиномер состоит из основания, имеющего измерительную поверхность, и впрессованного в него стебля, в котором перемещается микрометрический винт. При ввинчивании микрометрического винта глубиномера показания увеличиваются благодаря оцифровке шкал стебля и барабана в обратном направлении по сравнению с микрометром (рис. 6в, рис. 8в).

Предел измерений:		0...100мм	
		0...150мм	
Погрешность показаний:	1 кл	0...100	$\pm 0,003$ мм
		0...150	$\pm 0,004$ мм
	2 кл	0...100	$\pm 0,005$ мм
		0...150	$\pm 0,006$ мм

Измерительное усилие 30...70Н обеспечивается трещоткой.

Погрешность измерения глубиномерами вызвана погрешностью глубиномера, погрешностью установочной меры, погрешностью отсчитывания, температурными погрешностями.

Основными из перечисленных выше погрешностей являются первая и последняя. Предельная погрешность измерения в зависимости от измеряемых размеров составляет от  $\pm 0,005$  до  $\pm 0,010$ мм.

Пример условного обозначения глубиномера с пределом измерения от 0 до 100мм. 1-го класса точности

**Глубиномер ГМ-100-1 ГОСТ 7470-78**

**Микрометрический нутромер - штихмас** - предназначен для измерения внутренних размеров изделий (ГОСТ 10-88) (рис. 6б; 8е, з; 8.1).

Нутромер состоит из удлинителей, свинчиваемых друг с другом, к которым по концам привинчиваются жесткий наконечник и микрометрическая головка.

Нутромеры бывают:

- с микрометрической головкой (рис. 19а);
- с индикаторной головкой;
- телескопические.

Предел измерений - от 50 до 10 000мм.

Погрешность показаний от  $\pm 0,004$ мм до  $\pm 0,180$ мм.

В комплект нутромеров с диапазонами измерения от 1250 мм входит индикаторная головка с ценой деления 0.01мм.

В комплект нутромера входят установочные меры, предназначенные для проверки нулевого положения микрометрической головки и для установки на ноль индикатора.

Для размеров от 1500 до 10 000мм применяют телескопические нутромеры, которые представляют собой трубу, внутрь которой вставлена выдвигающая штанга. Грубый отсчет производится по шкале и нониусу, а точный - по микрометрической головке, расположенной на конце штанги.

Обозначение: НМ 175 ГОСТ 10-88.

Критерием предельного состояния микрометрических приборов является поломка или износ микрометрического винта или фрикциона, приводящего к невыполнению требований по измерительному усилию или пределу допускаемой погрешности.

Для увеличения точности измерений микрометры дополняют стрелочными отсчетными устройствами, такие приборы называют **рычажными микромерами** (ГОСТ 4381-87) (рис. 13а, б).

МР - предназначен для измерения наружных размеров, со встроенным отсчетным устройством.

Предел измерения: модель	02020 - 0...25мм
	02120 - 25...50мм
	02220 - 50...75мм
	02320 - 75...100мм

Цена деления:	0,002мм
Предел показаний:	$\pm 0,14$ мм
Погрешность показания:	$\pm 0,001$ мм

**МРИ** - предназначен для измерения наружных размеров со съемными измерительными головками.

Предел измерения:	100...300мм (через 25мм)
	300...1000мм (через 100мм)
модель МРИ 125	1000...2000мм (через 200мм)
Цена деления:	0,002...0,01мм
Предел показаний:	0,1...5мм
Погрешность показания:	$\pm 0,005...0,007$ мм
	(цена деления 0.002мм)
	$\pm 0,007...0,018$ мм
	(цена деления 0,01мм)
МРИ 125	$\pm 0,020...0,036$ мм

**МРЗ** - предназначен для измерения длины общей нормали зубчатых колес со встроенным в корпус стрелочным отсчетным устройством.

**МН** - микрометр настольный со стрелочным отсчетным устройством (ГОСТ 10388-63)

Предел измерения:	0...10мм
Цена деления: шкалы барабана -	0,01мм
отсчетного устройства -	0,001мм.

Эти микрометры обычно применяются в приборостроительной и часовой промышленности.

Рычажный микрометр можно представить как рычажную скобу, в которой переставная пятка заменена микрометрической головкой (без трещотки). Постоянное измерительное усилие обеспечивается подпружиненной подвижной пяткой.

Рычажные микрометры с верхним пределом измерений до 300мм имеют подвижную плоскую пятку, а микрометры большего размера - сферическую. Измерительные поверхности оснащены твердым сплавом.

Измерение деталей рычажным микрометром производят



методом сравнения с мерой, т.е. микрометр используют как скобу с отсчетным устройством. При отсчитывании, измеряя методом непосредственной оценки, миллиметры, десятые и сотые доли миллиметра снимают по стеблю и барабану, а тысячные доли - по стрелке шкалы отсчетного устройства (рис. 13е).

**Рычажные скобы** (ГОСТ 11098-75) - предназначены для измерения наружных размеров деталей, в частности, для рассортировки деталей на размерные группы, а так же для определения овальности, конусообразности. В рычажных скобах отсутствует микрометр. Винт в этих приборах используется только для расширения пределов измерения при настройке прибора на ноль по установочной мере.

**СР** - скоба рычажная со встроенным в корпус отсчетным устройством (рис. 13г; 14; 16а).

Предел измерения: 0...150мм (с интервалом через 25мм)

Цена деления: 0,002мм

Предел показания:  $\pm 0,14$ мм

Погрешность измерения: на участке  $\pm 10$  делений =  $\pm 0,001$ мм  
на всем диапазоне измерений  $\pm 0,002$ мм

Обозначение: СР-50 ГОСТ 11098-75

**СИ** - скоба индикаторная, оснащенная сменными измерительными головками (рис. 16б).

Предел измерения: 0...50мм; 50...100мм; 100...700мм (с интервалом 100мм); 700...850мм; 850...1000мм.

Цена деления: 0,01мм

Предел показания: от 0 до 500мм - 3мм

от 500 до 1000мм - 5мм

Погрешность измерения: до 500мм  $\pm 0,005...0,007$ мм  
свыше  $\pm 0,008...0,020$ мм

Предельная погрешность измерения индикаторными скобами, если они находятся в руках контролера,  $\pm 0,015...0,060$ мм для размеров 0...500мм. Устанавливая скобу на стойку, уменьшают предельную погрешность измерения до  $\pm 0,010$ мм.

Перед измерением скобу устанавливают на размер по блоку мер. При измерении определяют отклонение и, если необходимо, подсчитывают действительный размер. Для повышения производительности контроля при измерении диаметров деталей, скобы с верхним пределом измерений более 25мм комплектуют

сменными регулируемыми упорами для совмещения оси детали с линией измерения. Скобы с пределом измерений до 200мм имеют плоские пятки, в скобах большего размера неподвижная пятка выполнена плоской, а подвижная - сферической. Измерительные поверхности пяток снабжены твердым сплавом.

Обозначение: СИ 100 ГОСТ 11098-75.

**Нутромеры индикаторные** - применяют для измерения диаметров отверстий.

Приборы по ГОСТ 868-82 снабжаются отсчетными устройствами с ценой деления 0,01мм предназначены для контроля отверстий диаметром от 6 до 1000мм (рис. 17а; 19б), по ГОСТ 9244-75 - нутромеры с отсчетным устройством с ценой деления 0,001мм, 0,002мм для контроля отверстий от 2мм до 250мм (рис. 17б).

Глубокие отверстия измеряют не менее чем в 3-х сечениях, перпендикулярных оси отверстия, и не менее чем в 2-х взаимно перпендикулярных направлениях в каждом сечении (рис. 13ж; 20; 34).

Обозначение: Нутромер НИ 10-18-1 ГОСТ 868-82

**Глубиномеры индикаторные** - предназначены для измерения глубины пазов, уступов и т.д. (ГОСТ 7661-67)

Предел измерения 0...100мм - обеспечивается набором из 10 измерительных стержней, позволяющих менять пределы измерения глубиномера через 10мм. Оснащены отсчетным устройством с ценой деления 0,01мм (рис. 15).

Обозначение: Глубиномер ГИ-100 ГОСТ 7661-67

**Толщиномеры индикаторные** (ГОСТ 11358-89) - предназначен для измерения толщины листа или ленты (рис. 23).

Предел измерений до 50мм.

Они оснащены отсчетным устройством с ценой деления 0,01мм и 0,1мм.

Погрешность измерения  $\pm 0,016...0,018$ мм.

Обозначение: Толщиномер ТР 25-50 ГОСТ 11358-89.

**Стенкомеры индикаторные** (ГОСТ 11951-89) - предназначены для измерения толщины стенки труб (рис. 24).

Стенкомеры изготавливают четырех типов с пределами измерений:

С-2 0...2мм; С-10 0...10мм

C-25 0...25мм; C-50 25...50мм

с ценой деления отсчетного устройства 0,01...0,1мм

Погрешность измерения  $\pm 0,015...0,150$ мм.

Обозначение: C-2 ГОСТ 11951-89

**Измерительные головки** - предназначены для измерения линейных размеров, отклонений формы и расположения поверхностей. Их широко используют на станках, в штативах. Измерительные головки встраивают в нутромеры, глубиномеры, стенкоммеры, разного рода специальные, нередко многомерные, приборы. При измерении размеров, вследствие небольшого диапазона измерений по шкале, измерительные головки в основном используют при измерении методом сравнения с мерой.

Принцип их работы основан на действии специального передаточного механизма, который преобразует перемещение измерительного стержня в значительно увеличенное перемещение указателя по шкале.

По конструкции измерительные головки бывают:

- рычажные
- зубчатые
- рычажно-зубчатые
- пружинные
- пружинно-оптические

**Рычажные измерительные головки** (миниметры).

Устройство миниметра основано на принципе неравноплечевого механического рычага. В настоящее время промышленность их не выпускает, вследствие больших габаритных размеров, ограниченного диапазона измерений по шкале, быстрого износа ножевых опор, инерционности и других недостатков.

**Зубчатые измерительные головки** (ГОСТ 577-68) индикаторы часового типа - сочетают высокую чувствительность с небольшими габаритными размерами. В них перемещение измерительного стержня передается указателю при помощи зубчатой рейки и зубчатых колес. Измерительное усилие создается пружиной. Шкала индикатора имеет 100 делений. Полный оборот стрелки соответствует перемещению измерительного стержня на 1мм.

Различают индикаторы типа ИЧ (с радиальным перемещением измерительного стержня параллельно шкале) (рис. 30;

26а, в, г) и торцевые индикаторы типа ИТ (с перемещением измерительного стержня перпендикулярно шкале) (рис. 8.2; 26б).

**Рычажно-зубчатые измерительные головки** - во многом сходны с индикаторами часового типа, но в них увеличительный механизм содержит последовательно расположенные рычажную и зубчатую передачи. Это позволило создать конструкции головок с меньшей ценой деления по сравнению с индикатором часового типа. Кроме того, сочетание рычажной и зубчатой передачи использовано в малогабаритных индикаторах с ценой деления 0,01мм.

Головки типа ИГ (ГОСТ 18833-73) имеют в качестве передаточного механизма от измерительного стержня к стрелке шкалы две неравноплечие рычажные передачи и одну зубчатую. Шкала - неполный круг, она симметрична относительно нуля, расположенного посередине (рис. 17).

Модель	Цена деления,	Предел показания,	Допускаемая погрешность в пределах всей шкалы, мм	Допускаемая погрешность в пределах нормированного участка, мм	Вариация показаний, мм
ИЧ-2 ИЧ-5 ИЧ-10	0,010	0...2 0...5 0...10	0,01...0,012 0,012...0,016 0,015...0,020	0кл-0,004 0,1мм 1кл-0,006	0,003
ИЧ-25	0,010	0...25	0,032	1мм-0,015	0,005
ИЧ-50	0,010	0...50	0,048	1мм-0,015	0,005
ИТ	0,010	0...2	0,010...0,012	0,1мм-0,004...0,006	0,003
1ИЧТ 2ИЧТ	0,010	8...9	0,010	0,02мм-0,005	0,003
3ИЧТ	0,005	120 дел.	0,005	0,005-0,003	0,002
1ИЧС 2ИЧС	-	±0,5	0,016	0,1мм-0,006	0,003

Головки типа МИГ (ГОСТ 9696-82) - многооборотные. В качестве передаточного механизма имеют две рычажные и две зубчатые пары. Кроме того, имеется указатель перемещения

измерительного стержня в миллиметрах. Шкала - круг, стрелка совершает 5 оборотов.

Для точности установки на ноль головки ИГ и МИГ имеют регулировочный винт, а так же арретир и указатели пределов поля допуска.

Головки типа ИРБ и ИРГ (ГОСТ 5584-75) бокового и торцевого действия. Они удобны при контроле в труднодоступных местах (рис. 27).

Модель	Цена деления,	Предел показания,	Допускаемая погрешность в пределах всей шкалы, мм	Допускаемая погрешность в пределах нормированного участка, мм	Вариация показаний, мм
ИИГ	0,001	$\pm 0,05$	$\pm 0,0007$	$\pm 0,0004$	$\pm 0,0002$
2ИИГ	0,002	$\pm 0,10$	$\pm 0,0012$	$\pm 0,0008$	0,0004
1МИГ	0,001	0 - 1	0,0025	0,002	0,0005
2МИГ	0,002	0 - 2	0,005	1 об. 0,003	0,001
05205	0,002	5	0,005	0,004	0,001
ИРБ	0,010	0,8	0,010	0,1мм-0,005	---

Обозначение: Головка измерительная ИИГ ГОСТ 18833-73  
Индикатор 1МИГ ГОСТ 9696-82

**Пружинные измерительные головки** - по сравнению с другими обеспечивают широкий диапазон цены деления, обладают повышенной точностью и высокой надежностью. В основе увеличительного механизма всех этих головок лежит пружинная передача на базе плоской бронзовой ленты, закрепленной по концам и скрученной по спирали в разных направлениях от середины. Один конец ленты связан с измерительным стержнем, другой жестко закреплен на опоре. В средней части ленты закреплена стрелка.

При перемещении измерительного стержня смещается рычаг, раскручивается лента, что вызывает поворот стрелки.

Различают пружинные головки следующих типов:

- микрометры (ИГП) - пружинные

- микаторы (ИГМ) - малогабаритные пружинные
- миникаторы (ИРП) - рычажно-пружинные
- оптикаторы (П) - пружинно-оптические

**Микрокатор** (ГОСТ 6933-72) (рис. 28а): 1 - шкала; 2 - указатель поля допуска; 3 - корпус; 5 - механизм точной установки на ноль; 6 - фиксатор; 7 - арретир.

Схема микрокатора (рис. 28б): 4 - стрелка; 9 - рычаг; 10 - лента; 11 - демпфер; 8 - измерительный стержень; 12 - опора.

Шкала представляет собой неполный круг. Она симметрична относительно нуля, расположенного посередине.

Микрокатор снабжен подвижным указателем границ поля допуска, механизмом точной установки на ноль, арретиром и фиксатором, ограничивающим ход измерительного стержня. Микрокаторы бывают следующих моделей:

01ИГП 11600	2ИГП 11200	1ИГ 11300 и др..
02ИГП 11500	5ИГП 11100	
05ИГП 11400	10ИГП 11001	

Цена деления микрокаторов 0,1; 0,2; 0,5; 1; 2; 5; 10мкм, диапазон измерений по шкале 8...600мкм. Предел допустимой погрешности на участке до 30 делений составляет 0,1...3мкм, а на всей шкале 0,15...5мкм. Размах показаний 0,03...2,5мкм.

Разновидностью микрокаторов являются головки типа ИГПУ с малым измерительным усилием (до 5Н) в конструкции которых предусмотрен узел разгрузки. Их применяют для измерения тонкостенных и маложестких деталей.

*Модели:* 01ИГПУ; 02ИГПУ; 05ИГПУ; 1ИГПУ.

Головки типа ИГПР - имеют регулятор измерительного усилия от 4 до 15Н

*Модели:* 01ИГПР; 02ИГПР; 05ИГПР; 1ИГПР.

Для измерения деталей из маложестких и мягких материалов (тонкостенные цилиндры, фольга) используют измерительные головки моделей 11609, 11509, 11409, 11309, которые имеют измерительное усилие 0,5Н.

Для особо точных измерений предусмотрены специальные микрокаторы с ценой деления 0,02 и 0,05мкм.

Анализ погрешностей приборов на базе микрокаторов показывает, что благодаря отсутствию в механизме головки пар внешнего трения значительно уменьшается влияние погрешности от измерительного усилия.

**Микаторы** (ГОСТ 14712-79) - по схеме передаточного механизма аналогичен микрокаторам. По габаритным размерам они приближаются к габаритным размерам рычажно-зубчатых головок, но несколько тоньше по толщине. Цена деления микаторов 0,2; 0,5; 1 и 2мкм. Диапазон измерения по шкале 0,02...0,2мм. Предел допускаемой погрешности на 30 делениях 0,15...1мкм, до 60 делений - 0,3...2мкм, размах показаний не более 0,1...0,6мкм.

Микаторы ИМПУ - с уменьшенным измерительным усилием до 5Н.

<i>Модели:</i>	02ИПМ	02ИПМУ
	05ИПМ	05ИПМУ
	1ИПМ	1ИПМУ

**Миникатор** (ГОСТ 14711-69) - аналогично рычажно-зубчатым головкам ИРБ и ИРТ является головкой бокового действия, поэтому его удобно применять для измерений в труднодоступных местах (рис. 29). Миникатор имеет сменные измерительные наконечники (короткий и длинный) со сферической измерительной поверхностью. В зависимости от длины наконечника изменяется цена деления: при коротком 0,001мм, при длинном 0,002мм, диапазон измерения по шкале 0,08 и 0,16мм, допускаемая погрешность - на 20 делений 0,0005 и 0,001мм, на 40 делений 0,001 и 0,002мм, размах показаний 0,0003 и 0,0006мм.

В процессе измерения миникатор может быть повернут на угол 15° в плоскости параллельной плоскости шкалы.

*Модели:* 10301 дл., 10301 кор.

**Оптикатор** (ГОСТ 10593-74) (рис. 30а) - получил широкое применение при точных измерениях размеров и формы на стационарных приборах (в стойках С-1 (ГОСТ 10197-70, рис. 42а) и т.п.). Оптикаторы проще и дешевле оптиметров и успешно конкурируют с ними в ряде случаев точных измерений. Оптикаторы созданы на базе микрокаторов и отличаются тем, что стрелка заменена маленьким зеркальцем и соответствующей оптической системой (рис. 30б). Отраженный от зеркальца луч проецируется на шкалу в виде светового зайчика. Цена деления оптикаторов 0,1; 0,2; 0,5; и 1мкм, диапазон измерений по шкале 0,024...0,25мм. Предел допускаемой погрешности на 100 делениях не превышает половины цены деления, на всем диапазоне измерения по шкале - не более цены деления. Размах показаний не более 1/3 цены деления. Предельная погрешность измерения оптикаторами с ценой деления

0,5мм на стойке С-1 при использовании всего диапазона измерений составляет  $\pm 0,3...0,5$ мм для размеров 1...180мм; предельная погрешность при измерении биений  $\pm 0,5$ мм.

*Модели:* 01П156000, 02П155000, 05П154000, 1П15301.

**Оптиметры** - изготавливают в двух вариантах:

- вертикальные - с вертикальной линией измерения
- горизонтальные - с горизонтальной линией измерения.

*Вертикальный оптиметр* (ГОСТ 5405-75) - предназначен для контактных измерений наружных линейных размеров методом сравнения измеряемого изделия с концевыми мерами, калибрами или деталями-образцами (рис. 31а; 32а).

*Горизонтальный оптиметр* (ГОСТ 5405-75) - предназначен для тех же целей, но позволяет кроме измерения наружных размеров проводить измерения внутренних размеров. Стол горизонтального оптиметра может совершать ряд линейных и угловых перемещений, позволяющих проводить точную установку детали по линии измерения (рис. 31б; 32б; 80).

Как вертикальные, так и горизонтальные оптиметры выпускают с отсчетом в окуляре или на экране.

В основу оптической схемы прибора положен принцип телескопической автоколлимационной трубы (рис. 86).

В оптическую схему прибора входят (рис. 32):

1 - зеркало, 2 - объектив, 3 - призма, 4 - сетка, 5 - шторки, 6 - зеркало, 7 - призма, 8 - окуляр.

Сетка 4 представляет собой стеклянную плоскопараллельную пластину со шкалой и индексом. Деления шкалы нанесены на верхней половине пластины, закрытой в поле зрения окуляра 8 призмой 7, через которую свет входит в прибор. Поскольку сетка 4 установлена в фокальной плоскости объектива 2, лучи света, проходя его и падая на зеркало 1 параллельным пучком, несут как бы в себе изображение шкалы. Зеркало 1 наклоняется на угол  $\alpha$  с помощью измерительного стержня, передающего на него отклонения измеряемой детали. Лучи света, отразившись от зеркала 1 на угол  $2\alpha$ , снова попадают в объектив, который дает изображение шкалы в нижней части сетки 4 видимой в окуляр 8. В этой части сетки нанесен неподвижный штрих - указатель, по которому производят отсчет показаний головки, поскольку изображение шкалы перемещается относительно него на величину пропорциональную углу наклона зеркала 1.



Трубки оптиметров выпускают двух типов - с цветными шторками 5 и без них. Шторки позволяют установить на шкале, находящейся в нулевом положении, границы поля допуска, что облегчает работу при массовом контроле.

Цена деления: 0,2 ; 1мкм.

Пределы показаний:  $\pm 0,025$ ; 0,1мкм

Пределы измерений: 0...500 (13,5...150)мм,  
для внутренних 180, 160, 200мм.

Предельная погрешность показания:  $\pm 0,07...0,3$ мкм.

Вариации показаний: 0,1...0,020мкм.

*Модели:* ОВО-1 - вертикальный  
ОГО-1 - горизонтальный  
ОВЭ-02 - вертикальный с  
проекционным экраном

К вертикальным оптиметрам прилагаются:

- накладной столик ИП-5 - для аттестации концевых мер до 10мм

- накладной столик ИП-1 - для измерения проволочек диаметром до 0,2мм

- проекционная насадка ПН-6

К горизонтальным оптиметрам прилагаются:

- приспособление ИП-3 для измерения внутренних диаметров 13,5...150мм

- накладной столик ИП-4 для измерения среднего диаметра внутренних резьб от 17 до 50мм и наконечники НГЛ-1 и НГЛ-3

- электроконтактная головка ГК-3 для измерения внутренних размеров от 1 до 13,5мм.

К оптиметрам так же выпускают различные измерительные наконечники по ГОСТ 11007-75 различной геометрической формы измерительных поверхностей.

**Длинномеры и измерительные машины** - относят к группе приборов, предназначенных для измерения больших длин по одной оси координат. Длинномеры выпускают на вертикальных и горизонтальных стойках.

*Вертикальный длиномер* (ГОСТ 14028-68) (рис. 35).

Отсчет по шкале осуществляется с помощью отсчетного микроскопа со спиральным нониусом.

Цена деления: 0,001мм.

Пределы показаний: 0...100мм.

Пределы измерений: 0...250мм.

Предельная погрешность показания (мкм):

Модель: ИВЗ-1 -  $\pm (1,5 + L/100)$

ИВЗ-2 -  $\pm (1,4 + L/100)$ , где  $L$  измеряемая длина

ИВЗ-3 -  $\pm (1,2 + L/100)$

Горизонтальные длинномеры (ГОСТ 12441-66) делятся на группы в зависимости от их назначения.

Длинномеры на горизонтальных стойках типов ИЗГ предназначены для тех же целей, что и горизонтальные оптиметры, но измерения здесь ведут непосредственным методом, без применения установочных мер.

Цена деления: 0,001мм.

Пределы показаний: 0...100мм.

Пределы измерений: 0...100мм.

Предельная погрешность показания (мкм):

для наружных  $\pm (1 + L/100)$

для внутренних  $\pm (2,5 + L/100)$

Вариации показаний - 0,1мкм.

Горизонтальные длинномеры типов КИЗ-1, КИЗ-2 предназначены в основном для линейных измерений в полярной и цилиндрической системах координат, в комплексе с оптическими делительными головками.

Цена деления: 0,001мм.

Пределы показаний: 0...100мм.

Пределы измерений: 0...100мм.

Предельная погрешность показания (мкм):

$\pm (1 + L/200)$

Вариации показаний - 0,1мкм.

Горизонтальный длиномер типа ИКУ-2 предназначен для измерения наружных и внутренних линейных размеров как относительным, так и абсолютным методами.

Цена деления: 0,001мм.

Пределы показаний: 0...100мм.

Пределы измерений: 0...500мм - наружных

5...400мм - внутренних

Предельная погрешность показания (мкм):

для наружных  $\pm (1,4 + L/100)$

для внутренних  $\pm (1,9 + L/100)$

Вариации показаний - 0,1мкм.

*Измерительные машины* (ГОСТ 10875-76) (рис. 3.3).

Схема измерительной машины построена на базе трубки оптиметра и состоит из: станины, на которой перемещается левая - упорная бабка и правая - измерительная бабка. Для установки измеряемых предметов машина снабжена люнетами или универсальным столом. Измерительная бабка несет на себе отсчетный микроскоп и трубку оптиметра, а упорная бабка - пиноль. На станине машины имеются шкалы: шкала с интервалом 100мм (штрихи этой шкалы выполнены двойными), по которой устанавливают упорную бабку с пинолью, и шкала длиной 100мм с интервалами деления 0,1мм, по которой устанавливают измерительную бабку с оптиметром.

Типы машин: ИЗМ-1, ИЗМ-2, ИЗМ-4, ИЗМ-6.

Предел измерения: 1000, 2000, 4000, 6000мм.

Максимальный диаметр изделия, устанавливаемого в люнетах - 50мм.

Цена деления метровой шкалы - 100мм.

Цена деления стомиллиметровой шкалы - 0,1мм.

Цена деления трубки оптиметра - 0,001мм.

Высота линии измерения над станиной - 130мм.

Допустимая погрешность измерения концевых мер методом непосредственной оценки:  $\pm (0,4 + 4 \cdot 10^{-3}L)$ .

Допустимое отклонение от номинального размера интервала шкалы (мкм):

метровой  $\pm (0,3 + 9 \cdot 10^{-3}L)$

стомиллиметровой  $\pm (0,7 + 5 \cdot 10^{-3}L)$ .

Размах показаний: наружных - 0,2мкм, внутренних - 1мкм.

**Компараторы** (ГОСТ 12441-66) - служат для проверки штриховых мер длины путем сравнения их с образцовыми штриховыми мерами.

Известны три схемы построения компараторов:

- с параллельным расположением сличаемых мер
- с поперечным или продольным перемещением визирного и отсчетного микроскопа

- с последовательным расположением сличаемых штриховых мер и последовательным перемещением визирного и отсчетного микроскопов.

Последняя схема обеспечивает наибольшую точность, так как в ней исключена компараторная погрешность.

Модель: ИЗА-2, МС-40К и др.

Цена деления: 0,001мм.

Пределы показаний: 0...200мм.

Пределы измерений: 0...200мм.

Предельная погрешность показания :

$\pm (0,9 + L/(300-4H))$ , где L - длина измерения

H - разность высот расположения проверяемой и образцовой шкал.

**Интерференционные приборы.** Интерференционный метод измерения является одним из наиболее точных, поэтому его применяют в основном для аттестации концевых мер длины высших разрядов, а так же для проверки плоскостности небольших поверхностей после доводки или полировки. В практике применяют следующие методы измерений:

**Технический метод измерения** - основан на применении плоскопараллельных стеклянных пластин (ГОСТ 2923-75) (рис. 37). Типы: ПИ-60; ПИ-80; ПИ-100; ПИ-120 (где цифра указывает длину поверхности, в мм).

Сущность метода основана на оптическом явлении - интерференции света. Если на хорошо обработанную плоскость детали положить плоскую стеклянную пластину таким образом, чтобы между плоскостью пластины и контролируемой поверхностью образовался небольшой воздушный клин, то на контролируемой поверхности появятся цветные радужные полосы, называемые интерференционными.

Интерференционные полосы располагаются на равных друг от друга расстояниях. Расстояние между полосами одного и того же цвета принято называть шириной полосы. Интерференционные полосы располагаются только в тех местах, в которых толщина воздушного клина равна вполне определенной величине. Эта величина зависит от источника света, при котором наблюдают интерференционную картину (рис. 38).

Если наблюдение интерференционных полос происходит при дневном свете, то полосы располагаются там, где толщина воздушного клина равна 0,3; 0,6; 0,9мкм и т.д.

Так как интерференционные полосы возникают в местах соответствующих вполне определенным толщинам воздушного клина, то очевидно, крутизна клина будет влиять на частоту полос:

чем круче будет клин, тем чаще будут располагаться интерференционные полосы, и наоборот.

В случае идеальной плоской поверхности интерференционные полосы будут прямыми. В противном случае (неплоскостности поверхности) полосы будут искривлены: в случае выпуклости проверяемой поверхности интерференционные полосы будут искривлены от ребра клина (рис. 38а); а в случае вогнутости - к ребру клина (рис. 38б).

Для определения числовой величины искривления проверяемой поверхности следует концы какой-то интерференционной полосы мысленно соединить прямой и сосчитать число полос до этой линии у края поверхности и в средней зоне.

Разность полос в этих точках, умноженная на 0,3мкм, составляет величину искривления контролируемой поверхности.

**Относительный метод измерения** может быть бесконтактным или контактным (рис. 36; 39).

Бесконтактный основан на применении бесконтактного интерференционного компаратора, контактный - контактного интерферометра.

Контактные интерферометры с переменной ценой деления выпускают на вертикальных (ГОСТ 14028-68) и горизонтальных (ГОСТ 12441-66) стойках (рис. 40а, б).

Оптическая схема трубки интерферометра (рис. 40в).

Свет от источника 1 направляется конденсатором 2 через щель или светофильтр 3 на полупрозрачное зеркало 4. Часть пучка света, пройдя через зеркало, проходит через компенсатор 5 и падает на зеркало 6, отражается от него и опять попадает на полупрозрачное зеркало 4. Другая часть пучка, отразившись от полупрозрачного зеркала 4, падает на неподвижное зеркало 8, отразившись от которого снова попадает на разделительную поверхность зеркала 4. Здесь два пучка света, отраженные от неподвижного зеркала 8 и подвижного зеркала 6, которое перемещается под действием измерительного стержня 7, встречаются с некоторой разностью хода и интерферируют. Объектив 9 проецирует интерференционную картину в плоскость сетки 10, где она рассматривается через окуляр 11, который может отводиться в сторону поворотом вокруг оси 12. При наблюдении в белом свете (без светофильтра) интерференционная картина представляет собой черную ахроматическую полосу, соответствующую нулевой разности хода

интерферирующих пучков, по обе стороны которой расположено несколько цветных полос убывающей интенсивности. Эта центральная черная полоса является указателем для отсчета по шкале прибора. Чтобы оценить величину отсчета в линейной мере, нужно знать цену деления шкалы. Для этого щель перекрывают светофильтром 3, после чего все поле зрения заполняется полосами одинаковой интенсивности. Наклоном зеркала 8 меняют шаг интенсивности полос. Цена деления шкалы

$$i = \lambda k / 2n, \text{ где } \lambda - \text{длина волны (мкм)}$$

$k$  - число полос, поместившихся на участке

шкалы в  $n$  делений.

*Вертикальный интерферометр ИКПВ-264 (рис. 40а):*

Цена деления: 0,05...0,2мкм.

Пределы показаний:  $\pm 50$  делений.

Пределы измерений: 0...150мм.

Предельная погрешность показания :

$$\pm (0,03 + 1,5n i \Delta \lambda / \lambda),$$

где  $n$  - число делений от нулевого штриха

$i$  - цена деления шкалы

$\lambda$  - длина волны (мкм), пропускаемая светофильтром

$\Delta \lambda$  - погрешность измерения длины волны (мкм).

*Горизонтальный интерферометр ИКПГ-273 (рис. 40б):*

Цена деления: 0,05...0,2мкм.

Пределы показаний:  $\pm 50$  делений.

Пределы измерений: 0...500мм.

Предельная погрешность показания :  $\pm (0,03 + 1,5n i \Delta \lambda / \lambda)$ .

*Абсолютный метод измерения.* Длину измеряемой меры определяют непосредственно по числу полуволн однородного (монокроматического) света.

## 4.7 Калибры

### Классификация и область применения.

**Калибры** - бесшкальные контрольные инструменты, предназначенные для поверки размеров, формы и взаимного расположения деталей.

Калибры определяют не числовое значение измеряемых величин, а годность детали, т.е. правильность ее действительных размеров, ограниченных предельными отклонениями.

### **Классификация калибров:**

1. По виду контролируемых изделий и параметров калибры различают: гладкие - для цилиндрических изделий, резьбовые, шлицевые, для контроля длины, уступов, глубины и высоты, для взаимного расположения поверхностей изделий и др.

2. По числу одновременно контролируемых элементов калибры делятся на элементные и комплексные. *Элементные* - для контроля отдельных размеров. *Комплексные* - для одновременного контроля нескольких элементов.

3. По условиям оценки годности деталей калибры делятся на нормальные и предельные.

**Нормальные калибры** - это калибры у которых измерительный размер равен заданному номинальному размеру детали. При контроле нормальными калибрами годность проверяемых элементов оценивают на основании субъективных ощущений контроли-рующего (так как нормальный калибр должен быть проходящим без усилия, но и без зазора), или по краске (при использовании, например, конических калибров, или на просвет при проверке детали шаблонами.

**Предельные калибры** - это калибры, ограниченные предельными размерами контролируемой детали. Предельные калибры изготавливают попарно. Один из них называют проходным, а другой непроходным. Проверяемое изделие считается годным, если проходной калибр проходит, а непроходной калибр не проходит в проверяемое изделие.

4. По технологическому назначению в соответствии с местом и характером использования калибры подразделяются на рабочие и контрольные.

**Рабочие калибры** - используют для контроля деталей на рабочих местах в процессе их изготовления.

**Контрольные калибры** - используют для контроля или регулировки рабочих калибров.

Калибры имеют следующие обозначения:

**ПР** - проходной рабочий калибр.

**НЕ** - непроходной рабочий калибр.

**К-ПР** - контрольный калибр для проходного рабочего (нового) калибра.

**К-НЕ** - контрольный калибр для непроходного рабочего калибра.

**К-И** - контрольный калибр для контроля износа проходной стороны рабочего калибра.

**У-ПР** - контрольный калибр для припасовки и для регулировки или установки проходных резьбовых колец и скоб.

**У-НЕ** - контрольный калибр для припасовки и для регулировки или установки непроходных резьбовых колец и скоб.

Калибры К-ПР, К-НЕ для гладких цилиндрических изделий должны проходить без усилия и без качки, а для резьбовых изделий они служат проходными при проверке рабочих калибров; калибры У-ПР, У-НЕ являются проходными; калибр К-И - непроходной.

5. По конструктивным признакам калибры делятся на жесткие, регулируемые, односторонние и двусторонние.

6. По характеру контакта между проверяемыми изделиями и калибром различают калибры с поверхностным, линейным и точечным контактом.

### **Основной принцип конструирования калибров.**

При конструировании калибров соблюдают принцип подобия (принцип Тейлора), согласно которому проходные калибры должны являться прототипом сопрягаемой детали и контролировать одновременно все связанные друг с другом размеры проверяемого изделия, а непроходимые - иметь контакт, приближающийся к точечному, для того, чтобы проверить один из размеров отдельно.

### **Маркировка калибров.**

На калибрах наносят следующую маркировку:

- номинальный размер изделия, для которого предназначены калибры,
- условное (буквенное) обозначение предельных отклонений изделия (поле допуска и качество),
- величины предельных отклонений в мм (на гладких рабочих калибрах),
- обозначение калибра,
- товарный знак завода-изготовителя.

Маркировку наносят на ручках калибров-пробок и на корпусах скоб



## Типы калибров. Рекомендации к применению калибров.

Калибры для контроля гладких валов и отверстий применяют двух видов:

- калибры-скобы - для проверки валов ( $\varnothing$  от 1 до 360 мм по ГОСТ 2015-69 не регулируемые (рис. 44а, б, в, г) и  $\varnothing$  до 340 мм по ГОСТ 2216-68 - регулируемые (рис. 44д)).

- калибры-пробки - для проверки отверстий ( $\varnothing$  от 0,1 до 360 мм по ГОСТ 14807-69...14827-69, ГОСТ2015-69 (рис. 43)).

Бывают односторонние и двусторонние.

Калибры-пробки бывают с полной и неполной (рис. 43д) цилиндрической поверхностью, а так же нутромеры сферические. Допускаемая шероховатость поверхности калибров не должна превышать 10% от допуска на размер калибра, но не более  $R_a = 0,16$  мкм. *Деталь считается годной, если ПР сторона калибра под легким давлением входит в деталь. НЕ - не входит (рис. 43ж). Деталь считается годной, если проходная сторона скобы под давлением своего веса проходит через вал, а непроходная - не проходит.*

**Резьбовые калибры** - применяются для контроля внутренних и наружных резьб (рис. 45; 71; 72).

Для контроля внутренней резьбы - калибры-пробки, для наружной резьбы - калибры-кольца, жесткие и регулируемые. В производственной практике применяются так же резьбовые скобы.

Технические требования на резьбовые калибры диаметром от 1 до 300мм (пробки и кольца) для контроля:

- метрической резьбы - ГОСТ 18107-72
- дюймовой резьбы - ГОСТ 2016-68
- трубной резьбы - ГОСТ 2533-54
- трапецеидальной резьбы - ГОСТ 10071-62
- упорной резьбы - ГОСТ 10177-62

Для определения размеров резьбовых калибров можно пользоваться

ГОСТ 18465-73, ГОСТ 18466-73.

Резьбовые калибры-пробки имеют проходную сторону и непроходную сторону (рис. 45г). Резьбовые калибры-кольца состоят из проходного кольца и непроходного кольца (рис. 45б). Проходные калибры имеют полный профиль и являются как бы прототипом детали резьбового соединения. Резьбу непроходных колец и пробок

делают укороченной до 2-3 витков. Допускается при контроле непроходным калибром частичное вхождение его в изделие (за счет сбега резьбы калибра).

### **Калибры предельные для измерения глубин и высот уступов (рис. 46а).**

Для этих калибров согласно ГОСТ 2534-67 принята следующая маркировка:

**Б** - сторона рабочего калибра, соответствующая наибольшему предельному размеру.

**М** - сторона рабочего калибра, соответствующая наименьшему предельному размеру.

**П-Б** - сторона приемочного калибра, соответствующая наибольшему предельному размеру изделия.

**П-М** - сторона приемочного калибра, соответствующая наименьшему предельному размеру изделия.

При контроле листовыми калибрами глубин и высот уступов годность деталей определяется по величине просвета между соответствующими поверхностями калибра и изделия.

### **Калибры для контроля линейных размеров и радиусов.**

К этим калибрам относятся:

- калибры для проверки ширины пазов (ГОСТ 24110-8024114-80) (рис. 46г).

- калибры для проверки длины (с рискной) (ГОСТ 18355-7318356-73) (рис. 46в).

- шаблоны для проверки наружных и внутренних радиусов (ГОСТ 4126-82) (рис. 51; 51.1).

- щупы для контроля величины зазоров (ГОСТ 882-75) (рис. 52д).

Каждая пластина в наборе имеет определенную толщину в диапазоне от 0,02 до 1мм. Тонкие пластины (до 0,1мм) отличаются по толщине на 0,01мм; при толщине от 0,1 до 1мм - на 0,05мм. Допустимые отклонения по толщине щупов по 1 классу точности от 5 до 15мкм, по 2 классу - от 8 до 25мкм. Эти отклонения относятся к 3/4 длины щупа, считая от свободного конца.

Щупы выпускаются следующими наборами:

Набор № 1 (11 шт.) - 0,02...0,09; 0,1; 0,02; 0,03.

Набор № 2 (17 шт.) - 0,02...0,1; 0,15; 0,2; 0,25; 0,3; 0,35; 0,4; 0,45; 0,5.

Набор № 3 (10 шт.) - 0,55; 0,6; 0,65; 0,7; 0,75; 0,8; 0,85; 0,9; 0,95; 1,0.

Набор № 4 (10 шт.) - 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0.

Обозначение: Шупы № 1 класс 1, ГОСТ 882-75)

Шаблоны радиусные выпускаются следующими наборами:

Набор № 1 (9 шт.) - 1; 1,2; 1,6; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0.

Набор № 2 (6 шт.) - 8, 10, 12, 16, 20, 25.

Набор № 3 (12 шт.) - 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 25.

Обозначение: РШ № 1, ГОСТ 4126-82.

**Профильные калибры или шаблоны** предназначены для проверки контуров изделий сложного профиля. Их измерительная кромка в точности воспроизводит обратный контур изделия. По способу проверки изделий профильные калибры делятся на прикладные и накладные (рис. 48).

Прикладные калибры имеют профиль, сопряженный к контролируемому профилю изделия. Проверку производят на основании глазомерной оценки величины просвета при прикладывании шаблона к изделию (рис. 51.16). В зависимости от формы и качества поверхности проверяемого изделия обеспечивается возможность выявления просвета (световой щели) в 0,003...0,005мм (рис. 63).

Накладные калибры имеют контур, аналогичный проверяемому изделию (рис. 48). Проверку производят путем наложения калибра на проверяемое изделие и визуальной оценки совпадения их контуров (на примере изготовления дубликата ключей). Накладные калибры применяют только для контроля плоских деталей (например, выкройки). Точность контроля накладными калибрами значительно ниже, чем прикладными.

**Калибры для контроля расстояний между осями** отверстий изготавливают только проходными. Деталь считается годной, если калибр проходит.

Калибры выполняют в виде скоб или планок со штифтами (рис. 49).

Калибры в виде скоб изготавливают в комплекте из двух проходных скоб, проверяющих отдельно наименьшее и наибольшее расстояние между образующими отверстиями.

**Калибра для контроля шлицевых соединений** являются как бы прототипом сопрягаемых деталей и обеспечивают проверку не только линейных размеров деталей, но и отдельных ее элементов,

равномерность шага по окружности, параллельность оси. Калибры для проверки шлицевых отверстий называют комплексными пробками, а для проверки шлицевых валов - комплексными кольцами (рис. 50).

Калибры для контроля шлиц разделяются на калибры с прямобочным (ГОСТ 7951-59) и эвольвентным (ГОСТ 6528-53) профилями зубьев.

Калибры с прямобочным профилем зубьев выпускают для контроля валов и отверстий с диаметром от 14 до 125мм.

Для соединений с эвольвентным профилем изготавливают калибры-пробки диаметром 12...100мм и кольца диаметром до 80мм. Модуль этих калибров 1; 1,5; 2; 2,5; 3,5 и 5мм, количество зубьев 11...38.

При использовании комплексных калибров соединение считается годным, если ширина паза (зуба) и диаметры зубьев не выходят за установленные пределы, а калибр свободно проходит.

В спорных случаях контроль шлицевых соединений с применением комплексного калибра является решающим.

**Калибры для контроля расположения поверхности.** Эти калибры применяются для контроля смещения осей отверстий и валов от номинального расположения, а так же для проверки несоосности и несимметричности при зависимых допусках расположения контролируемых поверхностей. Калибры для контроля расположения поверхностей являются проходными.

При контроле деталей такими калибрами изделие считается годным, если калибр соединяется с изделием по всем контролируемым поверхностям.

## **Приборы для проверки углов.**

**Призматические угловые меры** предназначены для измерения углов методом сравнения и поверки угломерных приборов. Их выпускают по ГОСТ 2875-75 пяти типов (рис. 52в, г).

Применяют как одиночные угловые меры, так и составленные в блоки. Чтобы рабочие поверхности угловых мер обладали свойством притираемости, требования к поверхностям должны быть такими же, как и к рабочим поверхностям мер длины. В отличие от концевых мер длины, угловые меры при составлении их в блоки не вносят погрешности в суммарный размер блока из-за влияния притирочных слоев. При наборе блоков углы можно

складывать и вычитать, что позволяет уменьшить число мер в наборах для перекрытия всего диапазона необходимых углов (рис 52г; 54).

Рабочие угловые меры типов I, II, III применяют для измерения углов, наладки приборов и станков. Многогранные призмы типов IV, V применяют для поверочных работ.

Тип I - угловая мера с одним рабочим углом  $\alpha$  со срезанной вершиной - градация  $1^\circ, 2'$ .

Тип II - угловая мера с одним рабочим углом  $\alpha$  остроугольного типа - градация  $1^\circ, 10', 1', 15'', 15^\circ 10'$ .

Тип III - угловая мера с четырьмя рабочими углами  $\alpha, \beta, \gamma, \delta$  - градация  $1^\circ, 10', 15'$ .

Тип IV - многогранная призма с различным числом граней.

Тип V - угловая мера с тремя рабочими углами  $\alpha, \beta, \gamma$  - градация  $15^\circ$ .

По точности угловые меры подразделяются на четыре класса: 00, 0, 1, 2.

Погрешность по углу - от  $2''$  до  $30''$ .

По плоскости - от  $0,05$  до  $30\text{мкм}$ .

Самые точные IV типа.

Угловые меры выпускают как отдельно, так и наборах:

№1 - 93 шт. - 0, 1, 2 классы.

№2 - 33 шт. - 0, 1, 2 классы.

№3 - 8 шт. - 1, 2 классы.

№4 - 8 шт. - 1 класс.

№5 - 7 шт. - 0 класс.

№6 - 24 шт. - 0, 1 классы.

№7 - 3 шт. - 0, 1 классы.

№8 - набор принадлежностей: лекальная линейка, струбцины, клинья для крепления в блоке.

Измерение угловой плиткой с лекальной линейкой (рис. 54в).

**Универсальный угломер** - применяют для измерения наружных и внутренних углов деталей контактным методом (рис. 55г).

Измеряют углы угломером путем наложения линеек угломера на стороны детали, образующие измеряемый угол так, чтобы между линейками угломера и сторонами детали не было просвета. Отсчитывают величины по шкале и нониусу. Нулевой штрих нониуса показывает число градусов, а штрих нониуса, совпадающий со штрихом шкалы, число минут (рис. 56.1а, б; 57).

**Транспортирный угломер** (ГОСТ 5378-82) типа УМ (I) - для измерения наружных углов (рис. 56а; 56.1а).

Предел измерений -  $0...180^\circ$ .

Величина отсчета по нониусу -  $2'; 5'; 15'$ .

Допускаемая погрешность:  $\pm 2'; 5'; 15'$ .

**Универсальный угломер** типа УН (II) (ГОСТ 5378-82) - для измерения наружных и внутренних углов (рис. 56б; 56.1б; 58).

Предел измерений - наружные углы  $0...180^\circ$ .

внутренние углы  $40...180^\circ$ .

Величина отсчета по нониусу -  $2'; 5'$ .

Допускаемая погрешность:  $\pm 2'; 5'$ .

Пример обозначения: Угломер тип 1-2 ГОСТ 5378-82,

где 1 - тип, 2 - величина отсчета по нониусу.

**Оптический угломер** типа ОУ (ГОСТ 11197-88) - для измерения наружных и внутренних углов (рис. 56в).

Предел измерений -  $0...180^\circ$ .

Величина отсчета по нониусу -  $5'$ .

Допускаемая погрешность:  $\pm 2'; 5'$ .

Пример обозначения: ОУ 5, ГОСТ 11197-88

**Угольники поверочные  $90^\circ$**  (ГОСТ 3749-77) - применяют для контроля прямых углов, разметочных работ, а так же для контроля взаимного расположения деталей при их сборке в узел или в машину (рис. 59г; 60).

Угольники подразделяются на следующие типы:

УЛ - угольники лекальные.

УП - угольники слесарные плоские.

УЛП - угольники лекальные плоские.

УЛЦ - угольники лекальные цилиндрические.

УПШ - угольники слесарные с широким основанием

Высота угольников от  $40...100$  мм.

Класс точности: лекальные 0 и 1

слесарные 0, 1, 2.

Величина погрешности определяется по величине световой щели или шупом. Величины отклонения определяются в долях миллиметра или градусах (переводная таблица) (рис. 60).

Пример обозначения: УЛ-0-60 ГОСТ 3749-77

(УЛ - угольник локальный; 0 - класс точности; 60 - высота, в мм).

**Синусные линейки** (ГОСТ 4046-71) - применяют для измерения углов калибров, линейек и точных деталей. Синусная

линейка представляет собой прямоугольный брусок, на одной из плоскостей которого укреплены на определенном расстоянии друг от друга (100, 150, 200, 300, 500мм) с точностью до 1мм два ролика одинакового диаметра. Оси роликов строго параллельны измерительной плоскости бруска (рис. 55а, б; 61а).

$$\sin \varphi = H/L, \text{ где}$$

**H** - размер блока концевых мер.

**L** - расстояние между осями роликов.

Определив  $\sin \varphi$ , по таблице находят величину угла  $\varphi$  в градусах.

Синусные линейки бывают различных конструкций, например, с двумя центровыми бабками для измерения конусных изделий в центрах (рис. 61б).

Синусные линейки бывают 1 и 2 классов точности

Предел измерений 0...60°.

**Оптические делительные головки (ГОСТ 9016-77)** - предназначены для проверки углов деталей при их обработке и проверке центральных углов различных изделий (рис. 92).

Оптические делительные головки ОДГ-2, ОДГ-5, ОДГ-10, ОДГ-60 имеют предел измерений 0...360°.

Величина отсчета по нониусу 2", 5", 10", 60".

Допускаемая погрешность 2", 5", 10", 20".

**Универсальный или инструментальный микроскоп (ГОСТ 8074-71)** - предназначен для проверки угловых калибров и углов изделий по угловым шкалам микроскопа (рис. 81). Типы микроскопов: ММИ, БМИ, БИМ, УИМ-21 и др.

Предел измерений - 0...360°.

~~Величина отсчета по нониусу - 1"~~  
Допускаемая погрешность:  $\pm 1' \dots 3'$ .

**Универсальный шаблон сварщика (ТУ 102.338-83) УШС-3** - предназначен для контроля качества элементов труб, сборки и сварки стыков при строительстве трубопроводов (рис. 65).

Универсальный шаблон сварщика состоит из основания 1, соединенного осью 4 с движком 2 и закрепленного на движке указателем 3.

Измерения проводятся следующим образом:

1. Измерение глубины раковин, глубины забоин, превышения кромок, глубины разделки стыка до корневого слоя, высоту усиления шва производят при установке шаблона поверхностью

А на изделие, затем поворотом движка 2 вокруг оси 4 ввести указатель 3 в соприкосновение с проверяемой поверхностью. Результат считывается против риски 5 по шкале Г (рис. 68; 70а,б).

2. Измерение зазора производится введением движка 2 его клиновой частью в измеряемый зазор. По шкале, нанесенной на движке, считывается результат (рис. 69).

3. Измерение притупления (рис. 67), ширины шва (рис. 70б) производить при помощи шкалы Е, пользуясь ею как измерительной линейкой.

4. Измерение углов скосов кромок производится при установке шаблона поверхностью Б на образующую изделия. Затем, поворотом движка 2 совместить без зазора его поверхность В с измеряемой поверхностью. Результат считывается по шкале Д против поверхности движка В (рис. 66)..

5. Определение диаметров проволоки производится с помощью пазов Ж.

### Основные технические характеристики.

1. Контроль глубины раковин - 0...15мм.
2. Контроль глубины забоин - 0...15мм.
3. Контроль углов скоса кромок - 0...45°.
4. Контроль величины притупления - 0...50мм.
5. Контроль зазора - 0...4мм.
6. Контроль превышения кромок при сборке - 0...15мм.
7. Контроль диаметров проволоки - 1; 1,2; 2; 2,5; 3; 3,25; 4; 5мм.
8. Контроль глубины разделки стыка до корневого слоя - 0...15мм.
9. Контроль превышения кромок после сварки - 0...15мм.
10. Контроль ширины шва - 0...50мм.
11. Контроль высоты усиления шва - 0...5мм.
12. Габаритные размеры: длина - 127мм  
ширина - 45мм  
толщина - 10мм
13. Масса - 0,15кг.



## 4.8 Методы измерений

В зависимости от конкретных условий, применяемых измерительных средств и приемов их использования, измерения могут быть произведены различными методами и способами. С точки зрения общих приемов получения результатов измерения различают измерения **прямые и косвенные**.

При **прямом** измерении требуемый размер определяется непосредственно показаниями прибора (штангенциркуль, угломеры и т.д.) (рис. 4а; 8а).

При **косвенном** измерении - требуемый размер не измеряется, а определяется измерением другого размера, который связан с ним определенной зависимостью (измерение среднего диаметра резьбы методом 3-х проволок) (рис. 75; 77).

Измерения могут быть **абсолютными** или **относительными**.

При **абсолютном** измерении значение измеряемой величины можно видеть непосредственно на шкале измерительного прибора (штангенциркуль, микрометр, угломер...).

При **относительном** измерении величина измеряемого размера сравнивается с эталоном или концевой мерой (миниметр, оптиметр...).

Методы измерения делятся на:

**Комплексный метод** - применяют, когда требуется проверить одновременно несколько параметров детали и их взаимное расположение (комплексные калибры - шлицевые, резьбовые...).

**Дифференцированный метод** - осуществляет независимую проверку каждого элемента в отдельности (измерение параметров резьбы - наружный, внутренний, средний диаметры, шаг, угол профиля...).

Каждый из перечисленных методов измерения осуществляется **контактным и бесконтактным** способами.

**Контактным** способом измерения называется способ, результаты которого определяются путем непосредственного соприкосновения измеряемых поверхностей инструмента или прибора с поверхностью измеряемой детали (штангенциркули, микрометры, щупы...).

**Бесконтактным** способом измерения называется способ, результаты которого определяются без непосредственного соприкосновения измеряемых деталей с какими-либо

измерительными поверхностями приборов или инструментов (оптические, пневматические приборы...).

## **4.9 Метрология средств измерительного контроля**

Технические измерения рассматриваются наукой - метрологией (от греческого metron - мера и logos - учение). Эта наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности - является основой метрологического обеспечения.

**Метрологическое обеспечение** базируется на научной, технической, организационной и нормативных основах и определяется как установление и применение научных и организационных основ, технических средств, правил и норм, необходимых для достижения единства и требуемой точности измерений (ГОСТ 1.25-76).

Большой объем работ по метрологическому обеспечению выполняют специальные метрологические организации, совокупность которых образует метрологическую службу страны.

**Метрологическая служба** - сеть государственных и ведомственных органов, деятельность которых направлена на обеспечения единства измерений и единообразия средств измерений в стране.

Основная задача государственной метрологической службы - обеспечение единства и достоверности измерений. Это достигается путем:

- создания комплекса нормативно-технических документов государственной системы обеспечения единства измерений (ГСИ),
- создания и постоянного совершенствования эталонной базы страны и комплекса образцовых средств измерений, обеспечивающих передачу размера единиц физических величин от эталонов до исходных образцовых средств измерений, находящихся в ведении органов отраслевых метрологических служб,
- контроля за повсеместным выполнением требований НТД.

Нормативно-правовой основой метрологического обеспечения научной и практической деятельности является ГСИ (государственная система измерений), - это система государственных

стандартов и других нормативных документов, регламентирующих взаимоотношения правила, положения, требования и нормы, определяющие организацию и методику проведения работ по оценке и обеспечению единства и требуемой точности проводимых в стране измерений.

Работы по метрологическому обеспечению подготовки производства, помимо метрологических служб, выполняются (под методическим руководством государственной и ведомственных метрологических служб) конструкторскими, технологическими и другими службами предприятий и организаций, и начинаются с момента получения исходных документов на разработку изделий. Разработанная в процессе подготовки производства нормативно-техническая, конструкторская и технологическая документация должна быть подвергнута метрологическому контролю или экспертизе.

Система государственных испытаний средств измерений включает в себя:

- метрологическую экспертизу технических заданий на их разработку,
- государственные испытания средств измерений. Серийно выпускаемых из производства или ввозимых из-за границы партиями,
- метрологическую аттестацию средств измерений, как собственного производства, так и ввозимых из-за границы,
- аттестацию стандартных образцов, состава и свойств веществ и материалов (ГОСТ 8.001-80, ГОСТ 8.383-80). Нестандартные средства измерения по ГОСТ 8.326-78).

Под **поверкой средств измерений** понимают определение метрологическим органом погрешностей средств измерений и установление его пригодности к применению (ГОСТ 8.513-84). Иногда при поверке вместо определения значений погрешностей определяют, находятся ли они в допускаемых пределах.

Средства измерений подвергаются следующим видам проверок:

**Первичная поверка** проводится при выпуске в обращение, ремонте и поступающих по импорту средств измерений.

**Периодическая поверка** проводится при эксплуатации и хранении через определенные межповерочные интервалы, устанавливаемые с таким расчетом, чтобы была обеспечена метрологическая исправность средств измерений на период между поверками.

**Внеочередная поверка** проводится при эксплуатации (хранении) средств измерений вне зависимости от сроков периодической поверки если:

- необходимо удостовериться в исправности средств измерений,
- средства измерения устанавливаются в качестве комплектующих изделий после истечения половины межповерочного интервала на них,
- при повреждении поверительного клейма, пломбы или утрате аттестата,
- при вводе средств измерения в эксплуатацию после хранения, в течение которого не была проведена периодическая поверка в связи с требованиями к консервации средств измерений,
- при передаче средств измерений на длительное хранение по истечении половины межповерочного интервала,
- отправке потребителю средств измерений, не реализованных предприятием-изготовителем по истечении половины межповерочного интервала.

**Инспекционная поверка** проводится при осуществлении государственного надзора и ведомственного контроля за состоянием и применением средств измерений с целью выявления пригодности средств измерений к применению на предприятиях.

**Экспертная поверка** проводится органами государственной метрологической службы в случае возникновения спорных вопросов.

**Юстировка** - это процесс выявления в измерительных средствах дефектов, их устранение, регулировка и поверка (аттестация).

**Иллюстрации к теме: "Основы  
измерительного контроля"**

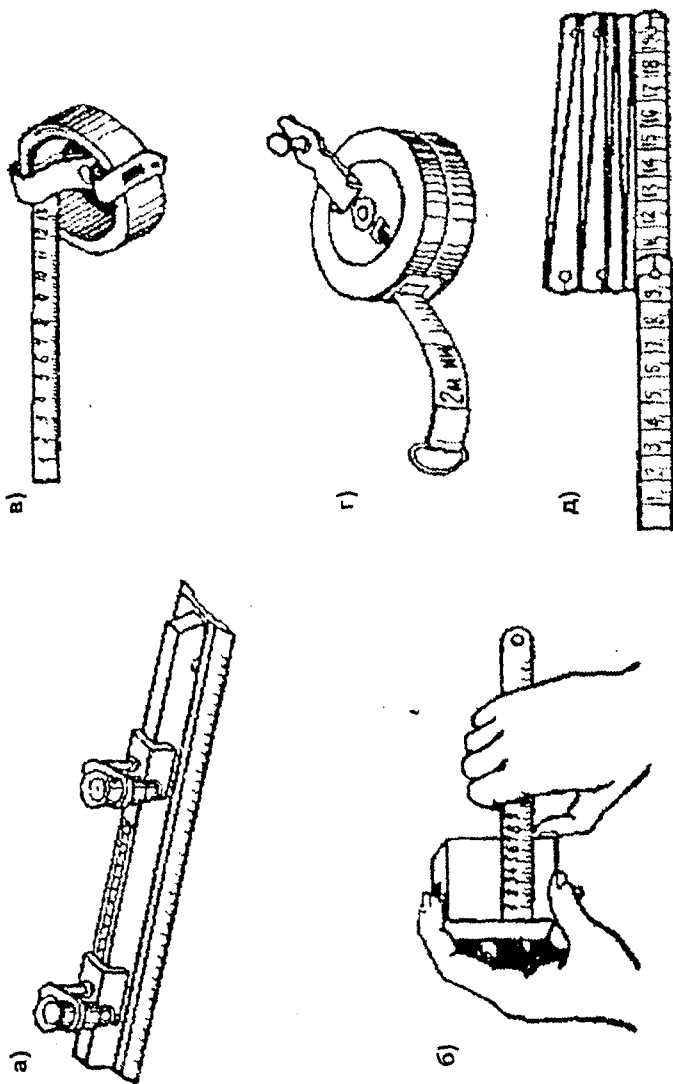
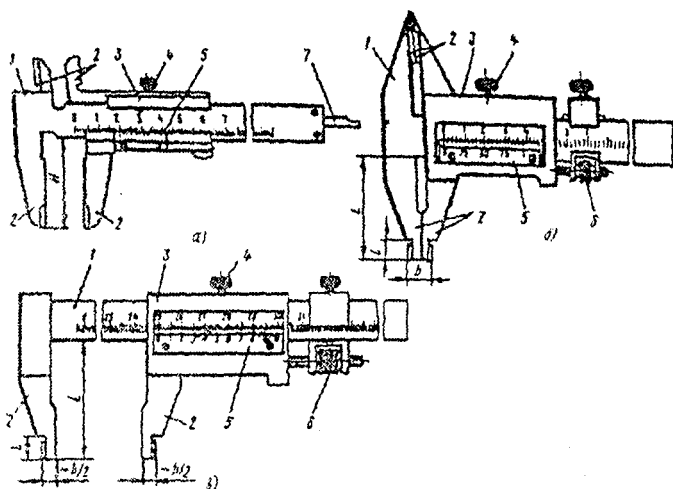


Рис. 1

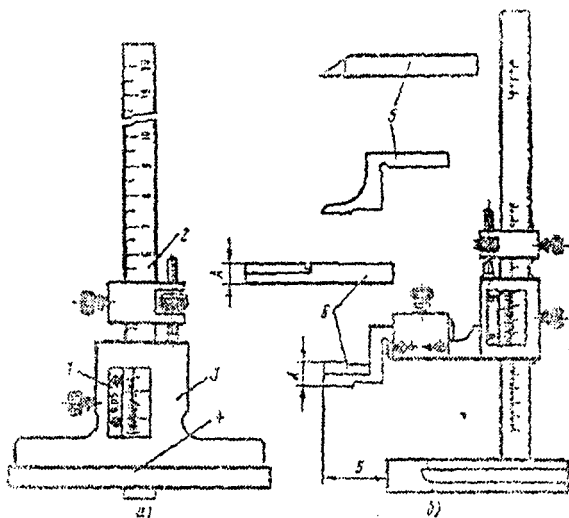
Штриховые инструменты



**Рис. 2**

Штангерциркули

1 - штанга, 2 - измерительные губки, 3 - рамка, 4 - стопорный винт, 5 - нониус, 6 - гайка микрометрической подачи, 7 - линейка глубиномера



**Рис. 3**

Штангенглубиномер (а) и штангенрейсмус (б)

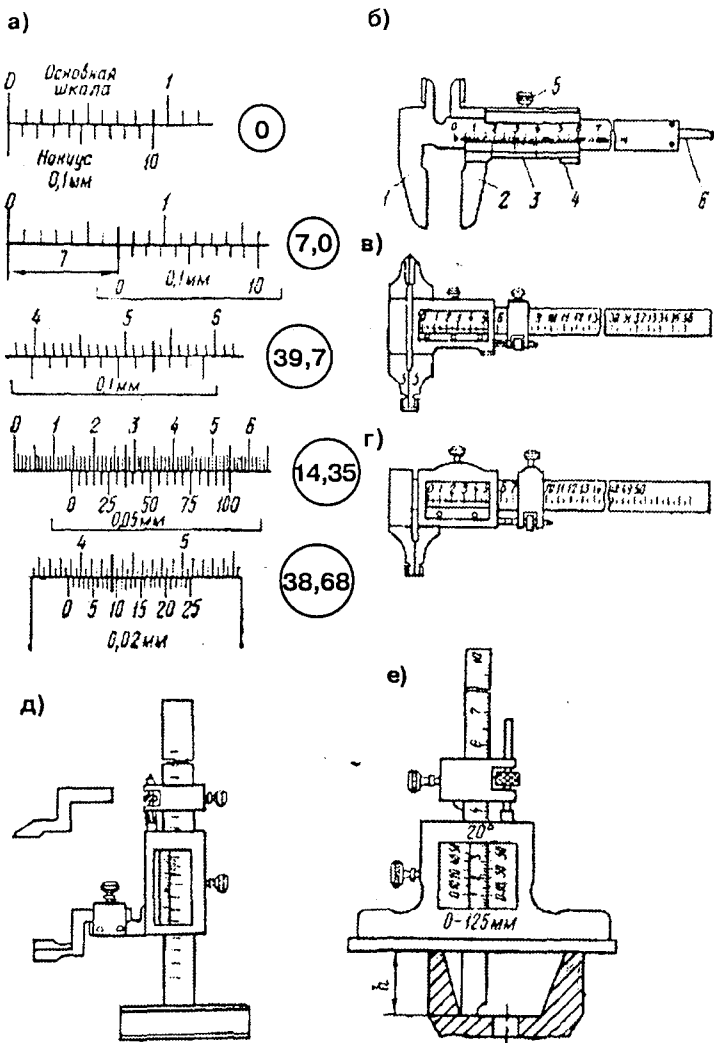
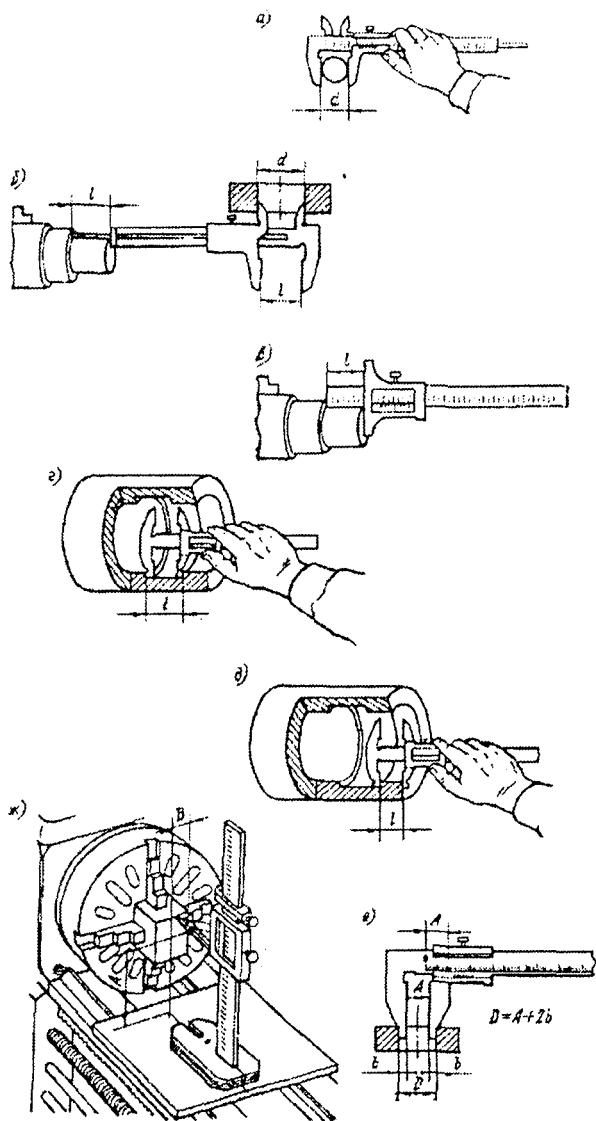


Рис. 4

Штангенинструменты

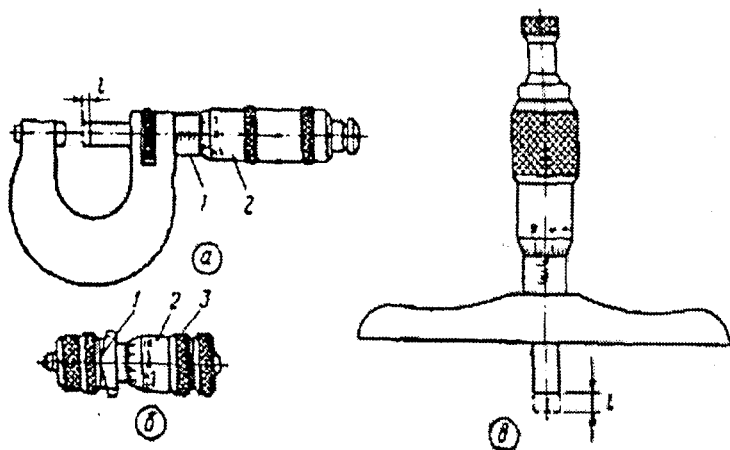
а - схема отсчетного устройства; б - штангенциркуль ШЦ-I; в - штангенциркуль ШЦ-II; г - штангенциркуль ШЦ-III; д - штангенрейсмус; е - штангенглубиномер; 1 - штанга; 2 - измерительная губка; 3 - нониус; 4 - рамка; 5 - винт крепления рамки; 6 - ножка





**Рис. 5**

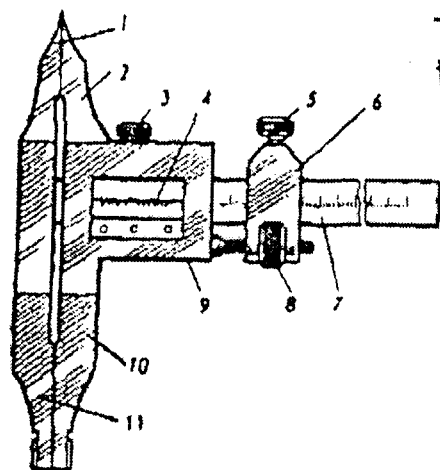
Контроль с помощью штангенинструментов: а - диаметров; б, в - длин; г, д - внутренних канавок; е - диаметров отверстий; выверка и разметка (ж)



**Рис. 6**

Микрометрические инструменты:

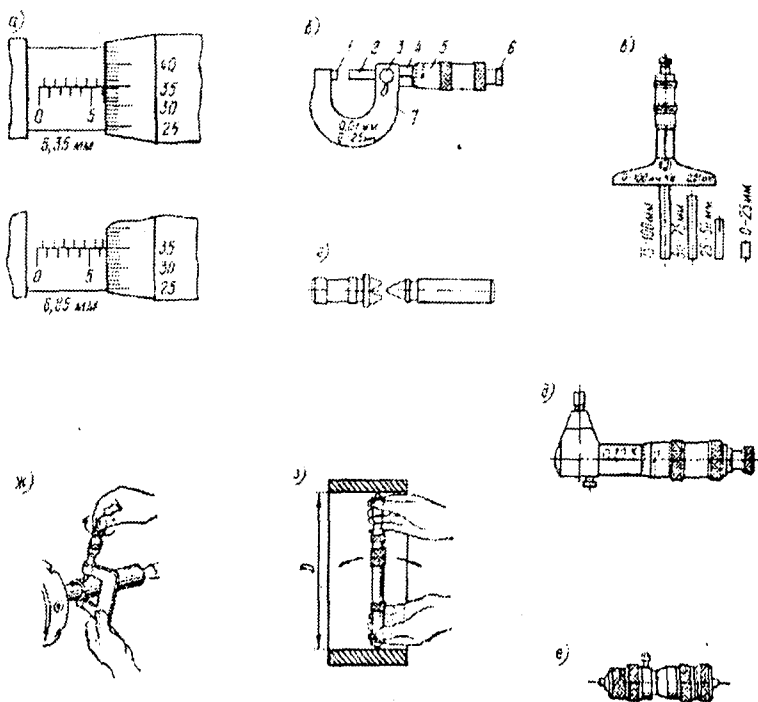
а - микрометр (1 - стержень; 2 - барабан); б - нутромер (1 - стержень; 2 - микрометрический винт; 3 - барабан); в - глубиномер



**Рис. 7**

Штангенциркуль ШЦ-II;

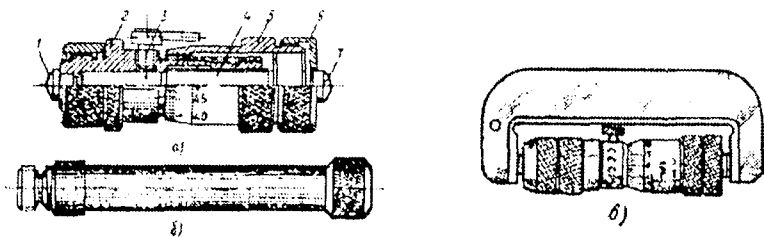
1, 2, 10, 11 - губки; 3, 5 - стопорные винты; 4 - нониус; 6 - движок; 7 - штанга; 8 - гайка; 9 - рамка



**Рис. 8**

Микрометрические инструменты:

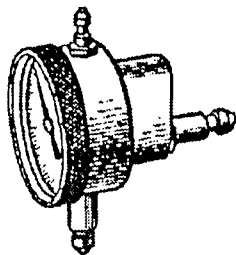
- а - схема отсчетного устройства; б - микрометр гладкий типа МК; в - микрометрический нутромер; г - вставки к микрометру для контроля резьбы; д - микрометр для измерения внутренних размеров; е - микрометрический нутромер; ж - схема контроля вала микрометром; з - схема контроля отверстия нутромером; 1 - плитка; 2 - микрометрический винт; 3 - стопорный винт; 4 - стержень; 5 - барабан; 6 - трещотка; 7 - скоба



**Рис. 8.1.**

Микрометрический нутромер:

а - устройство, б - удлинительный стержень, в - проверка нулевого положения:  
1 - измерительные поверхности, 2, 6 - гайки, 3 - стопор, 4 - микрометрический винт,  
5 - барабан



**Рис. 8.2.**

Индикатор для торцевых измерений

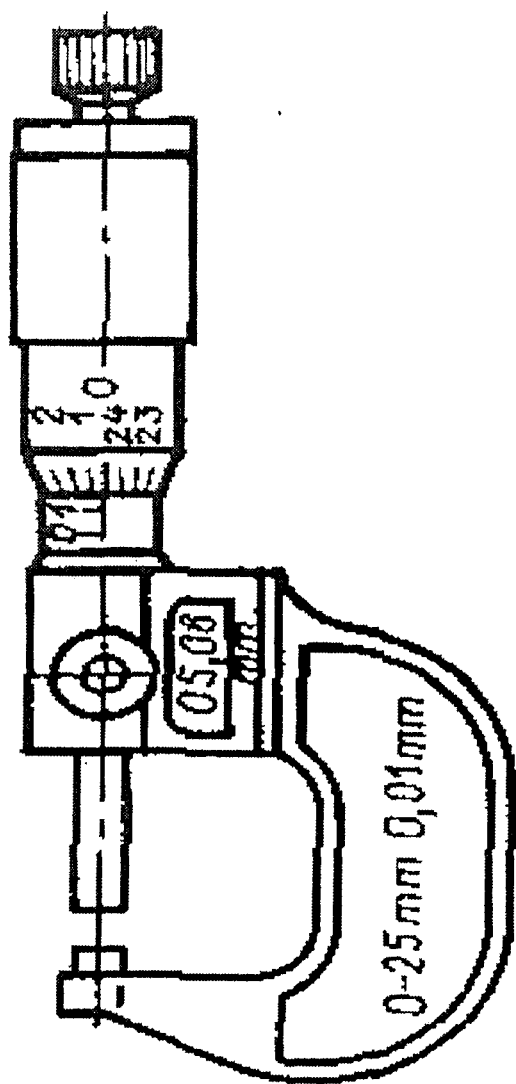
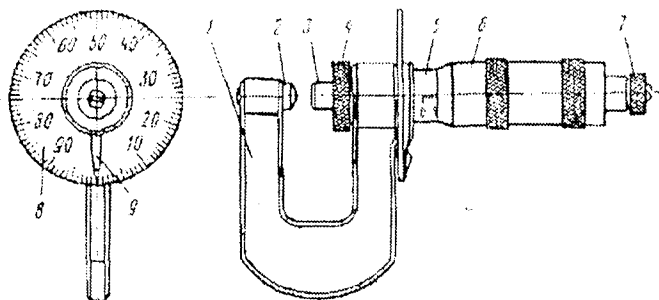


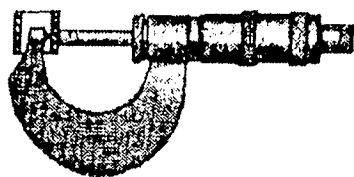
Рис. 9  
Микрометр с цифровым отсчетом



**Рис. 9.1**

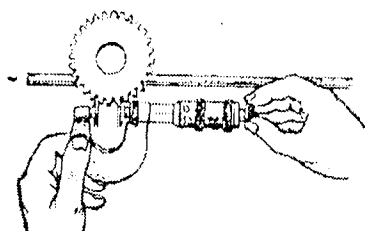
Микрометр МЛ:

1 - скоба, 2 - пятка, 3 - винт, 4 - стопор, 5 - гильза, 6 - барабан, 7 - трещотка, 8 - циферблат, 9 - стрелка



**Рис. 9.2**

Микрометр МТ



**Рис. 9.3**

Микрометр МЗ

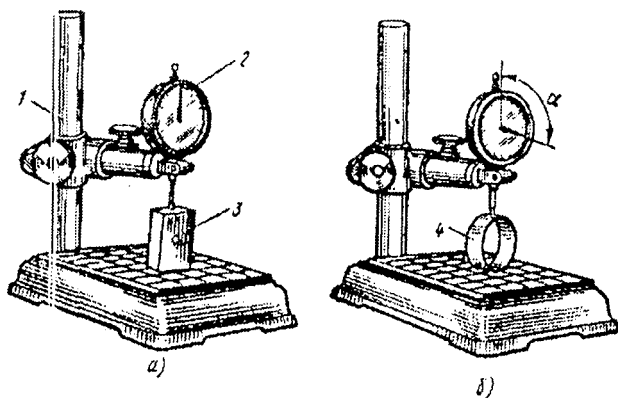


Рис. 10

Установка (а) и измерение (б) с помощью индикатора

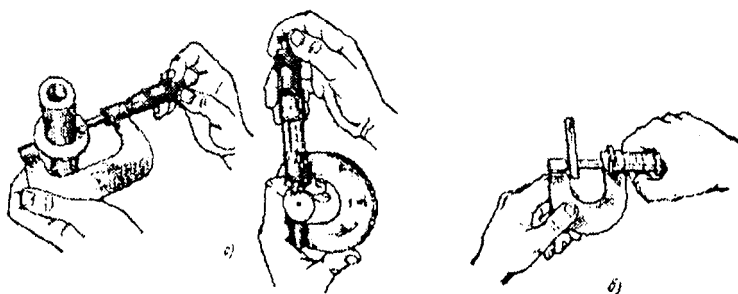


Рис. 11

Приемы измерения гладким микрометром: а - правильные, б - неправильные.

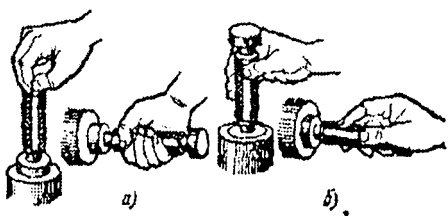


Рис. 12

Приемы контроля гладкими калибрами:  
а - неправильно, б - правильно

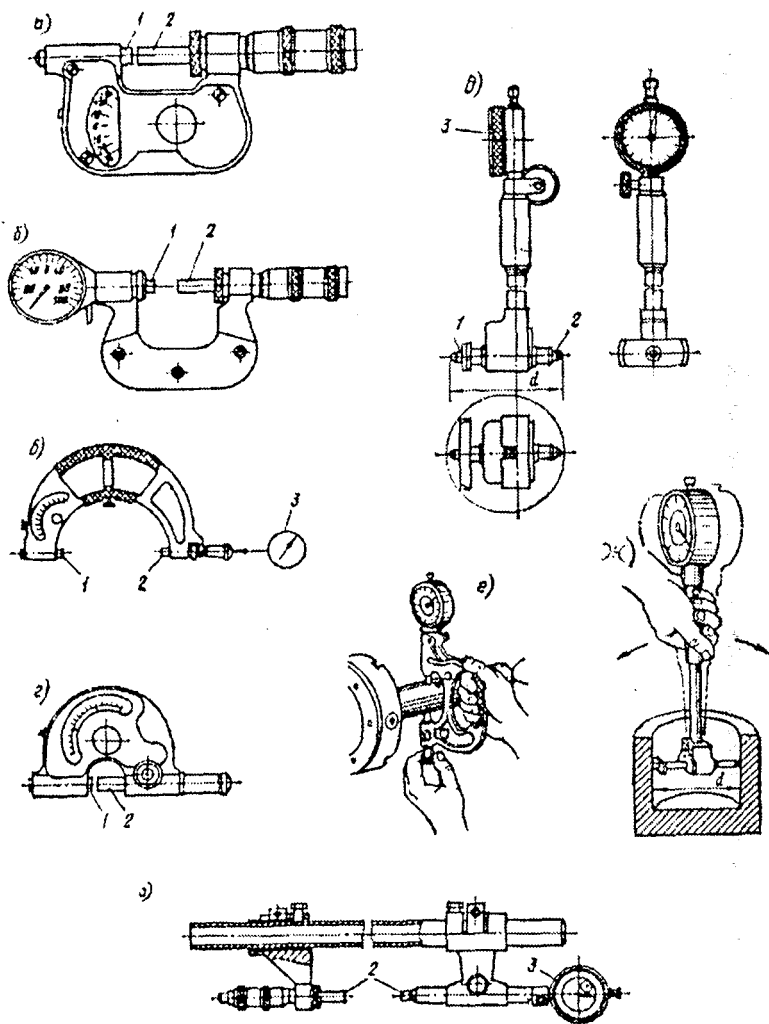


Рис. 13

Измерительные приборы:

а - микрометр рычажной типа МР; б - микрометр рычажный с индикатором;  
 в - индикаторная скоба; г - рычажная скоба; д - индикаторный нутромер; е - схема  
 измерения вала рычажным микрометром; ж - схема измерения диаметра отверстия  
 индикаторным нутромером; з - линейная скоба; 1, 2 - измерительные наконечники;  
 3 - индикатор.



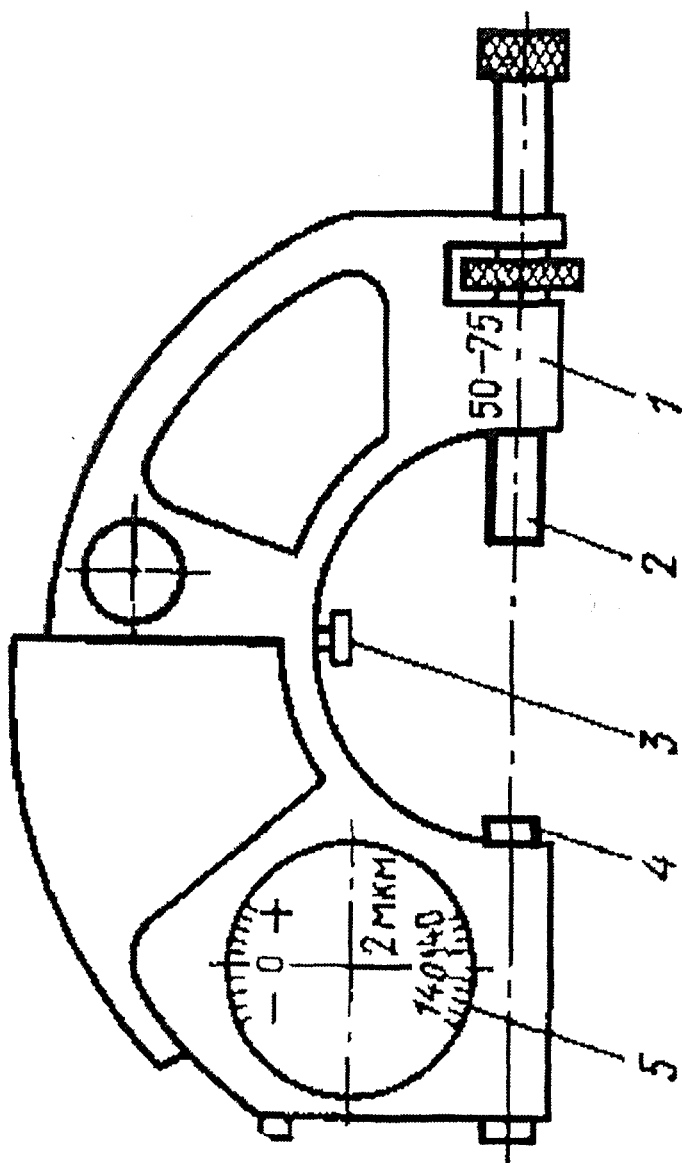
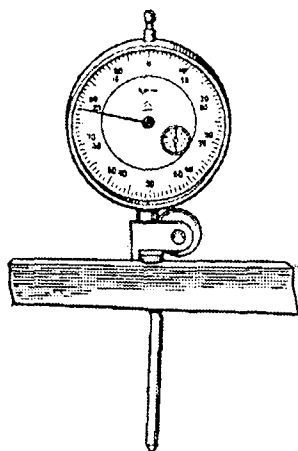
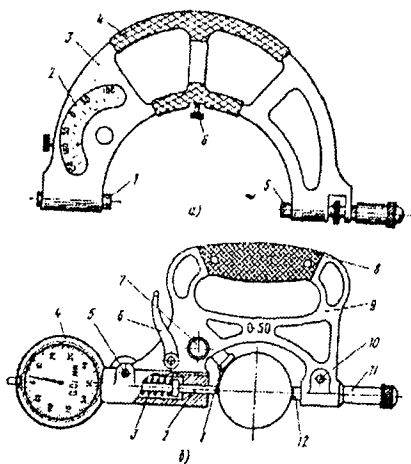


Рис. 14  
Рычажная скоба



**Рисунок 15.**  
Индикаторный глубиномер

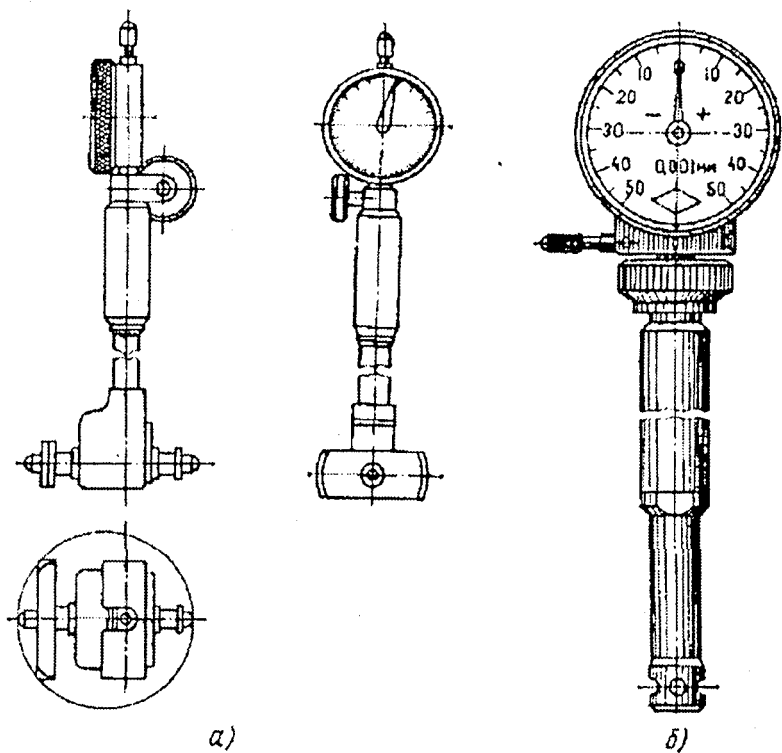


**Рис. 16**

Скобы с отсчетным устройством:

а) со встроенным отсчетным устройством, 1 - измерительная подвижная пятка, 2 - отсчетное устройство, 3 - корпус, 4 - теплоизоляционная накладка, 5 - измерительная подвижная пятка, 6 - упор;

б) индикаторная с арретирующим устройством: 1 - упор, 2 - измерительная подвижная пятка, 3 - пружина, 4 - кожух индикатора, 5 - винт крепления индикатора, 6 - рычаг арретира, 7 - винт крепления упора, 8 - теплоизоляционная накладка, 9 - корпус, 10 - винт крепления переставной пятки, 11 - защитный колпачок, 12 - переставная неподвижная пятка.



**Рис. 17**  
Индикаторный нутромер

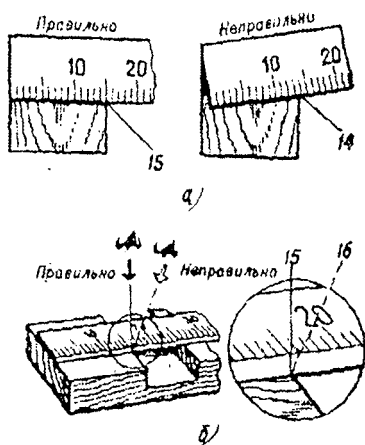


Рис. 18

1. Нулевое деление измерительного инструмента должно лежать над линией, от которой производится измерение.
2. При измерении нельзя допускать перекоса линейки по отношению к линии, от которой измеряют (рис. 18, а).
3. Смотреть на линейку следует так, как показано на рис.18,б.

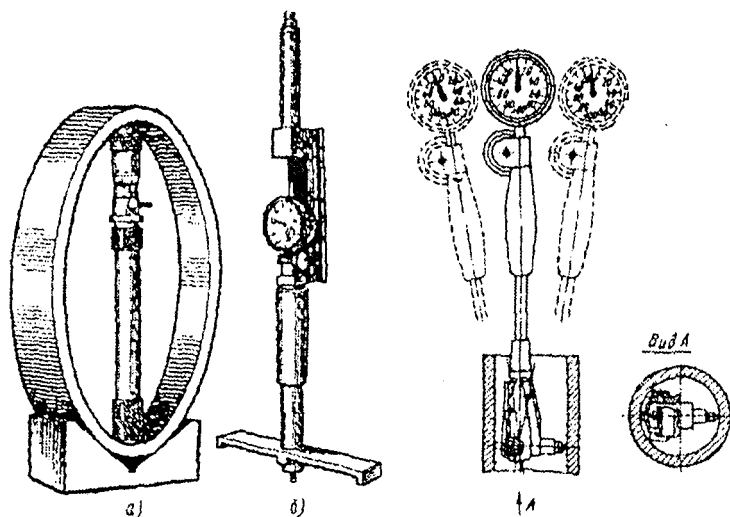


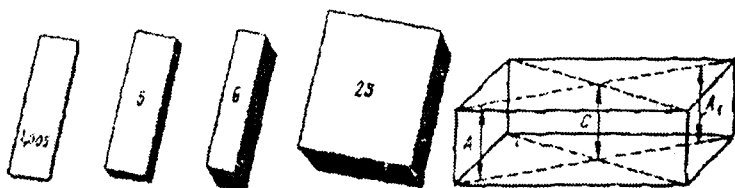
Рис. 19

Измерение диаметров больших отверстий:

- а) микрометрическим штихмасом,
- б) индикаторным нутромером

Рис. 20

Схема измерения индикаторным нутромером

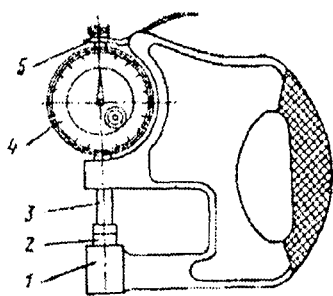


**Рис. 21**

Плоскопараллельные концевые меры длины

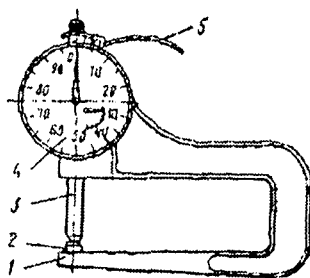
**Рис. 22**

Срединная длина концевой меры



**Рис. 23**

Индикаторный толщиномер:  
1 - корпус, 2 - пятка, 3 - измерительный наконечник, 4 - индикатор, 5 - арретир



**Рис. 24**

Индикаторный стенкомер: 1 - корпус, 2 - пятка, 3 - измерительный стержень с наконечником, 4 - индикатор, 5 - арретир

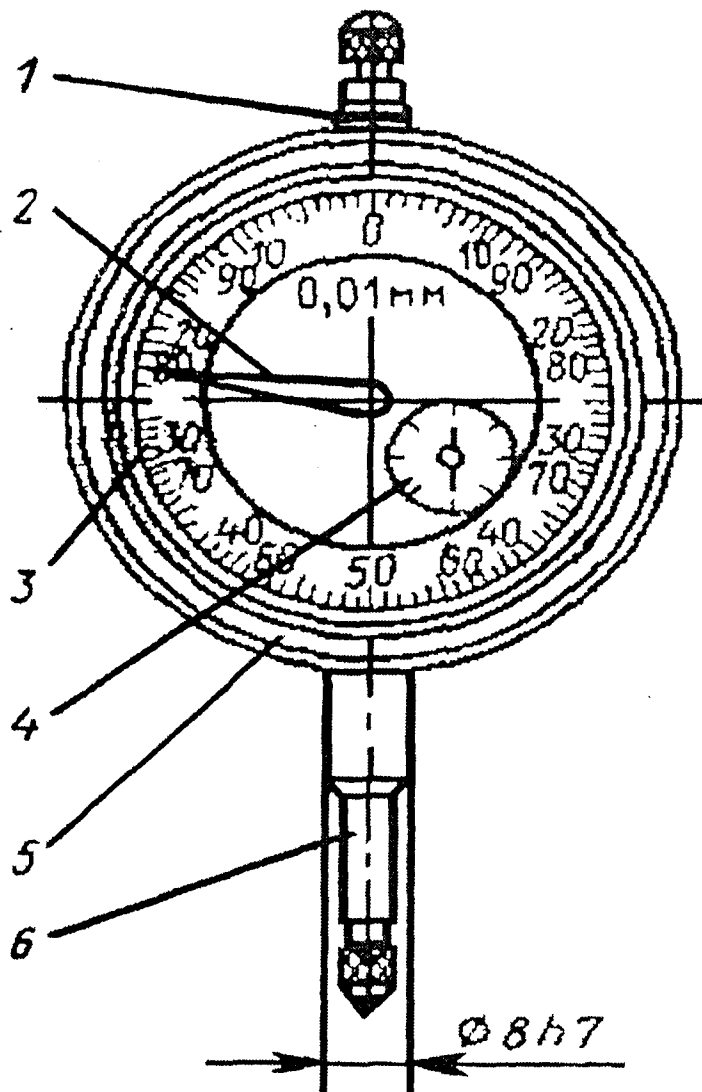
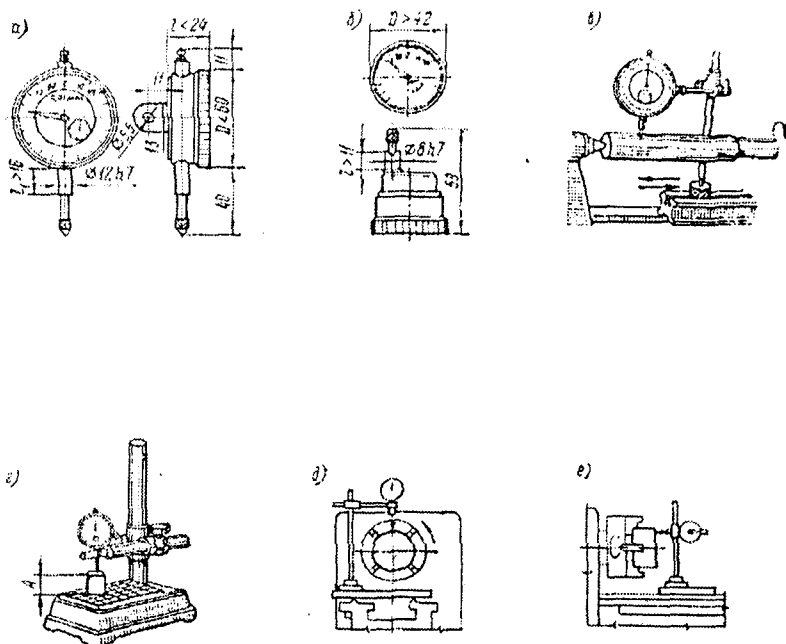


Рис. 25  
Индикатор часового типа



**Рис. 26**

Индикаторы:

а - типа ИЧ; б - типа ИТ; в - схема контроля радиального биения детали; г - надстройка индикатора на размер (А) с помощью концевой меры; д - схема контроля торцевого биения детали

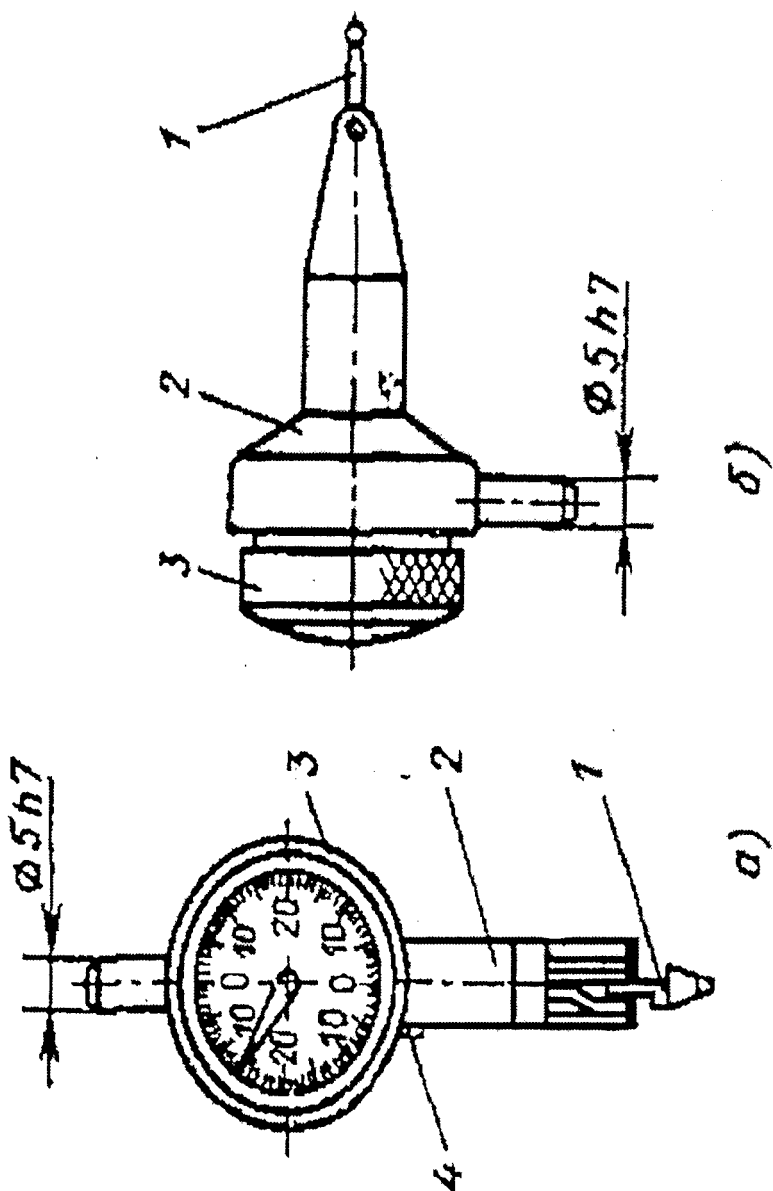


Рис. 27  
Индикаторы ИРБ и ИРТ



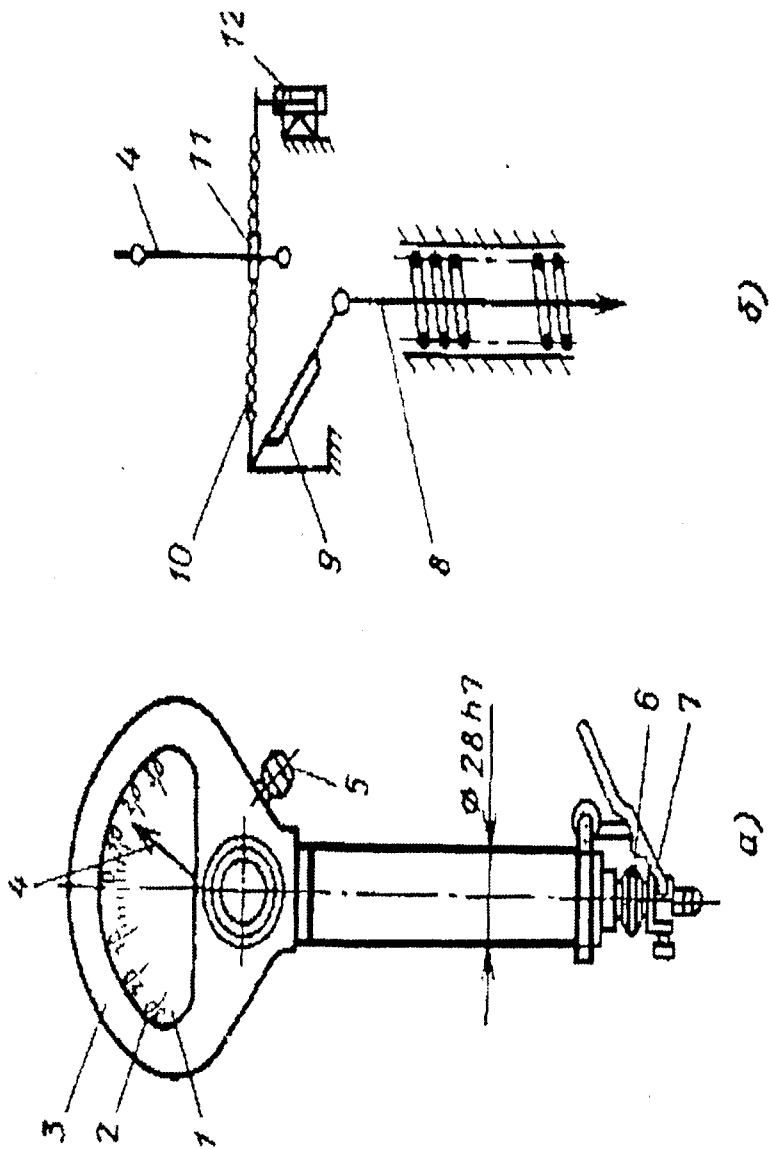


Рис. 28  
Микрокатор

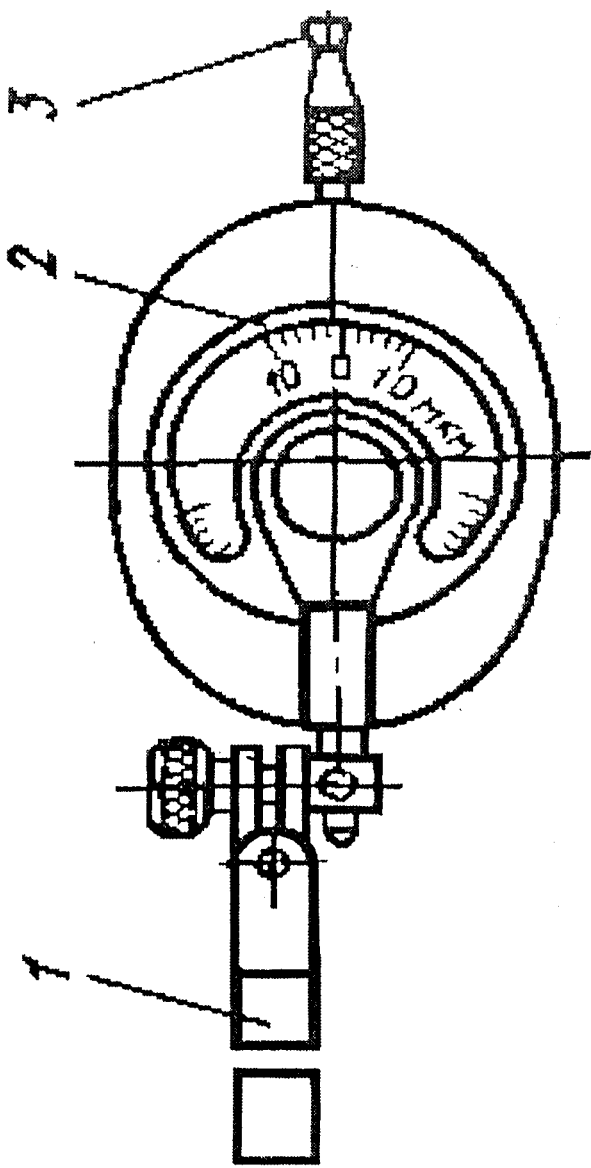


Рис. 29  
Миникатор

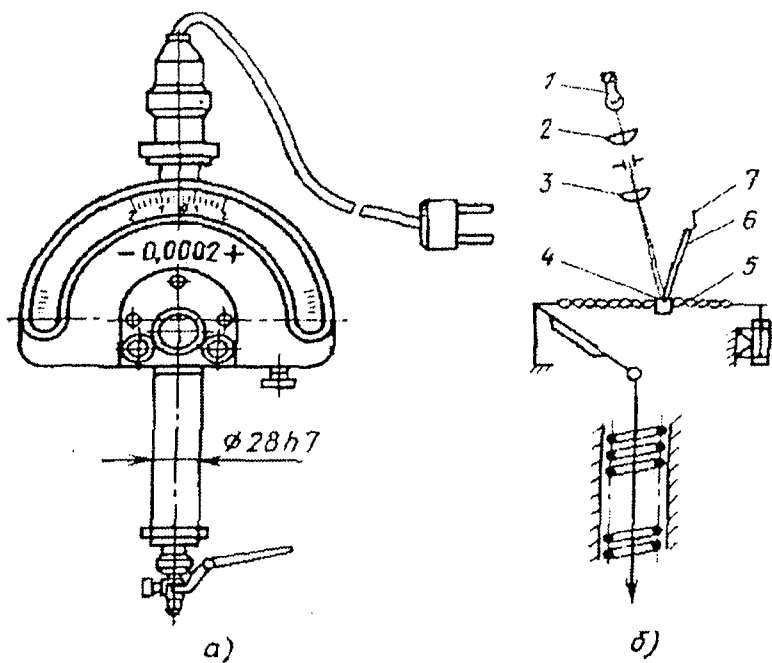
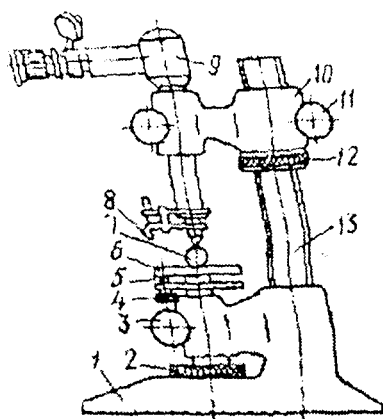
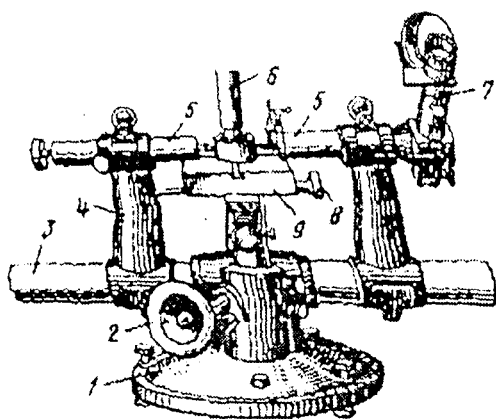


Рис. 30  
Оптикатор



а)



б)

**Рис. 31**

Оптиметры:

- а - вертикальный оптиметр: 1 - основание, 2, 4, 5 - устройство для регулирования столика, 3, 11 - зажимные винты, 6 - предметный столик, 7 - измеряемая деталь, 8 - рычажное устройство для подъема измерительного штифта, 9 - вертикальная скобка, 10 - кронштейн, 12 - ограничительное кольцо, 13 - колонка; б - горизонтальный оптиметр: 1 - основание, 2 - маховик вертикального подъема, 3 - направляющая скалка, 4 - стойка, 5 - пиноли с измерительными наконечниками, 6 - измеряемая деталь, 7 - трубка, 8 - винт горизонтального перемещения, 9 - предметный столик.

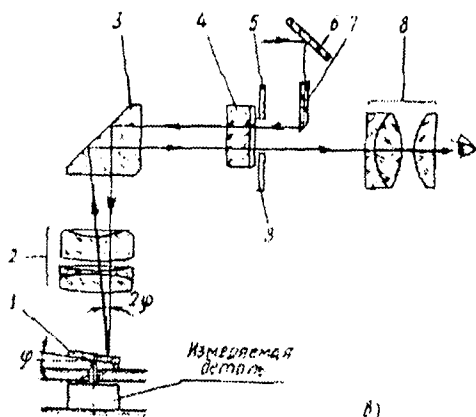
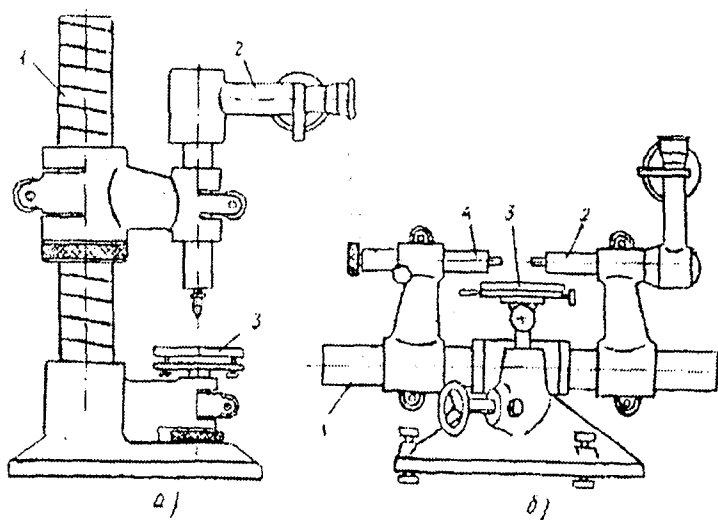
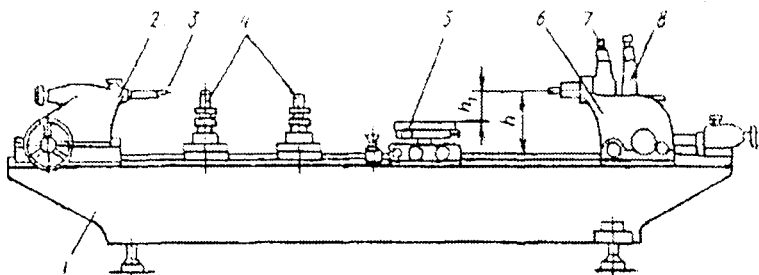


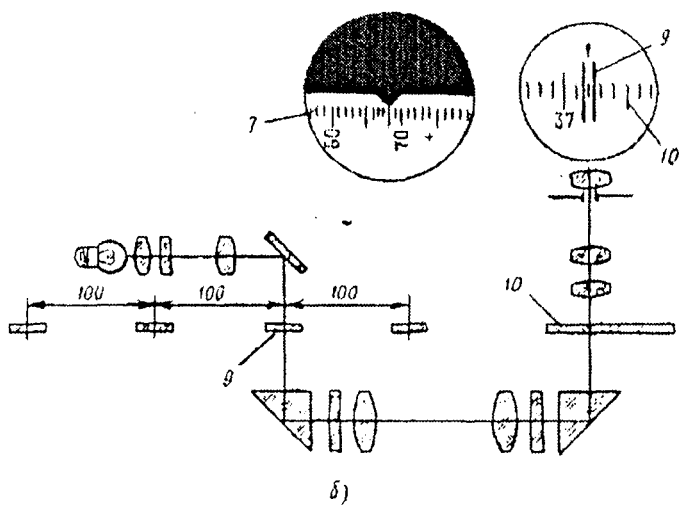
Рис. 32

Оптиметры:

а - вертикальный типа ОВО-1; б - горизонтальный типа НКГ; 1 - стойка; 2 - трубка оптиметра; 3 - измерительный стол; 4 - линоль с опорной измерительной пяткой; в - оптическая схема трубки; г - шкала



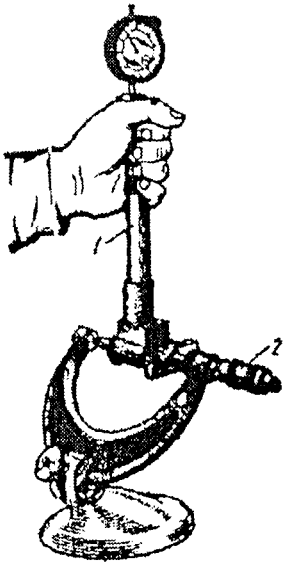
а)



б)

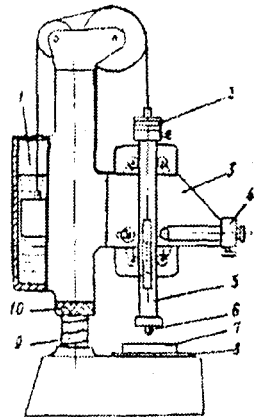
**Рис. 33**

Измерительная машина типа ИЗМ-10  
а - общий вид; б - оптическая схема



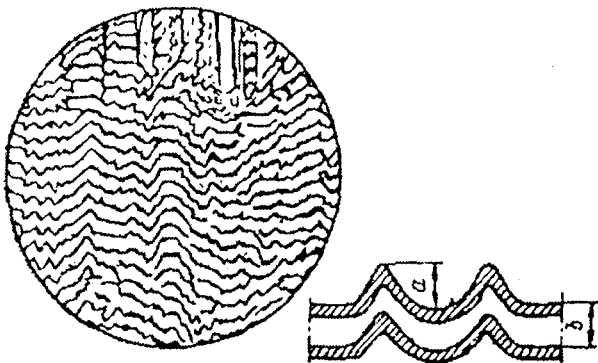
**Рис. 34**

Установка нутромера по микрометру  
на размер: 1 - нутрометр; 2 -  
микрометр



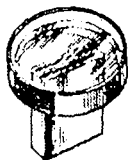
**Рис. 35**

Вертикальный длиномер типа ИЗВ-1



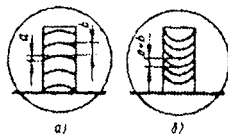
**Рис. 36**

Интерферограмма поверхности, наблюдаемая в окуляре интерферометра МИИ



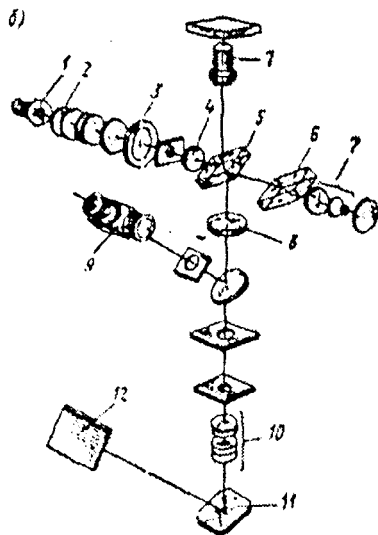
**Рис. 37**

Интерференционный метод контроля  
концевых мер



**Рис. 38**

Интерференционные полосы на  
разных поверхностях

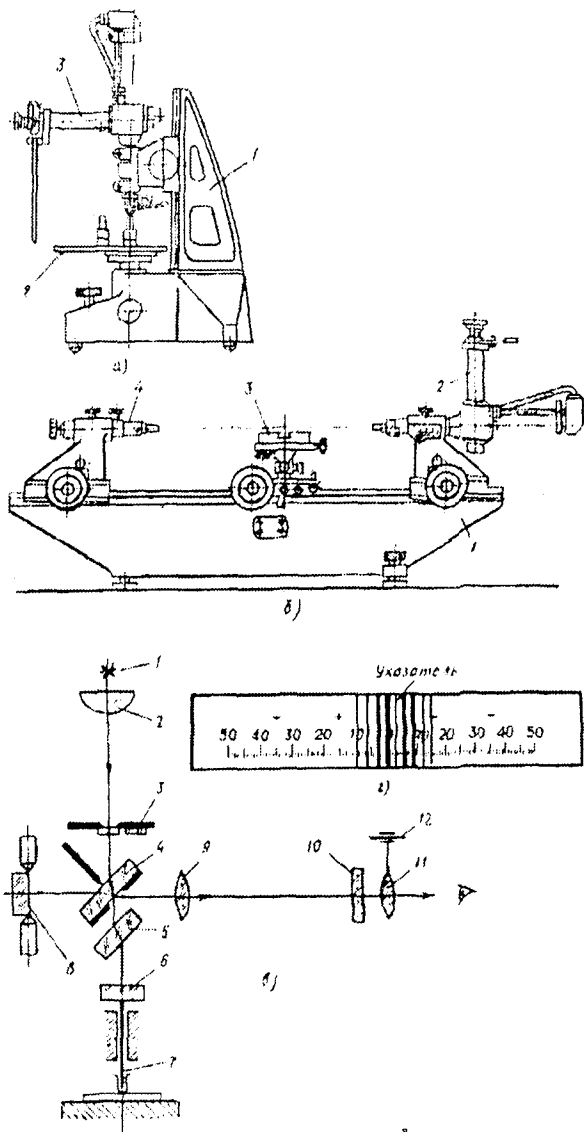


**Рис. 39**

Микроинтерферометр МИИ:

- 6 - оптическая схема (1 - лампа накаливания; 2 - конденсор; 3 - ирисовая диафрагма;
- 4 - проекционный объектив; 5 - разделительная пластинка; 6 - пластинка;
- 7 - объектив; 8 - фокальная плоскость объектива; 9 - окулярный микрометр;
- 10 - специальный фотоокуляр; 11 - зеркало; 12 - матовое стекло или фотопленка)





**Рис. 40**

Интерферометры:

- а) - вертикальный типа ИКПВ; 1 - стойка; 2 - измерительный стол; 3 - трубка интерферометра;
- б) - горизонтальный типа ИКПГ; 1 - станина; 2 - трубка интерферометра; 3 - измерительный стол; 4 - пиноль с опорной измерительной пяткой;
- в) - оптическая схема трубки; г) - шкала

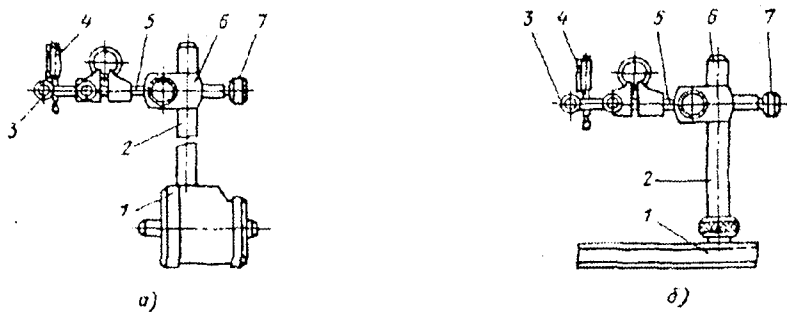


Рис. 41  
Штативы

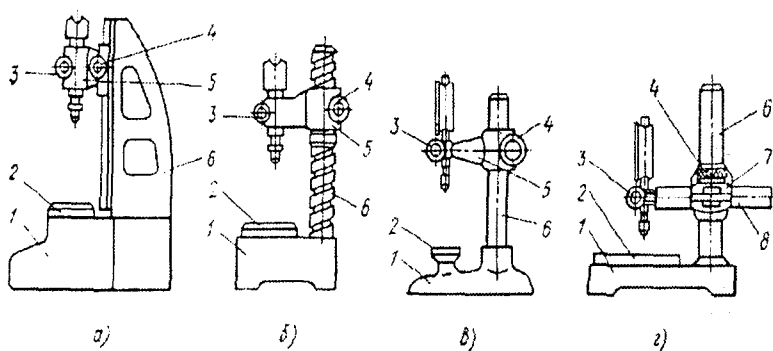
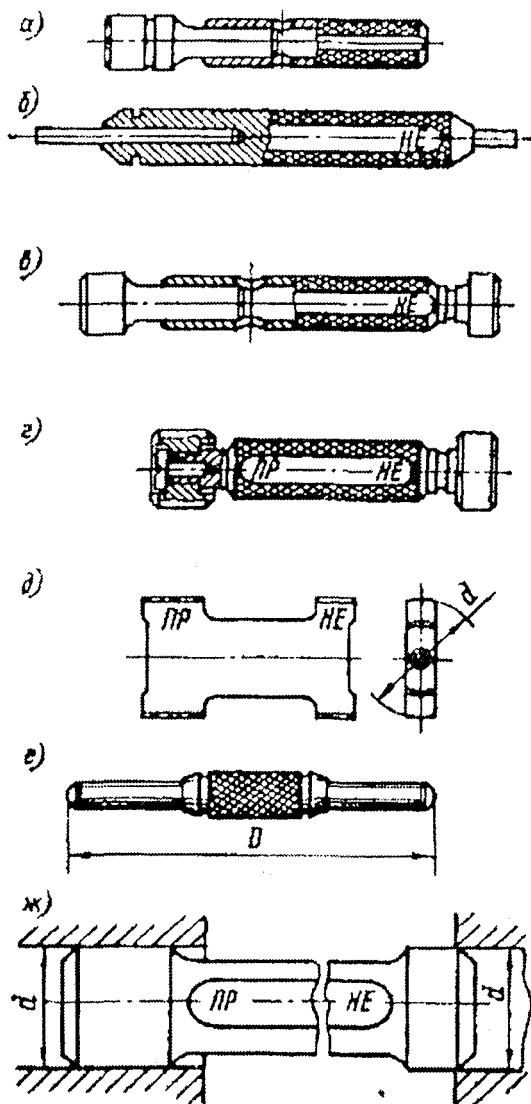


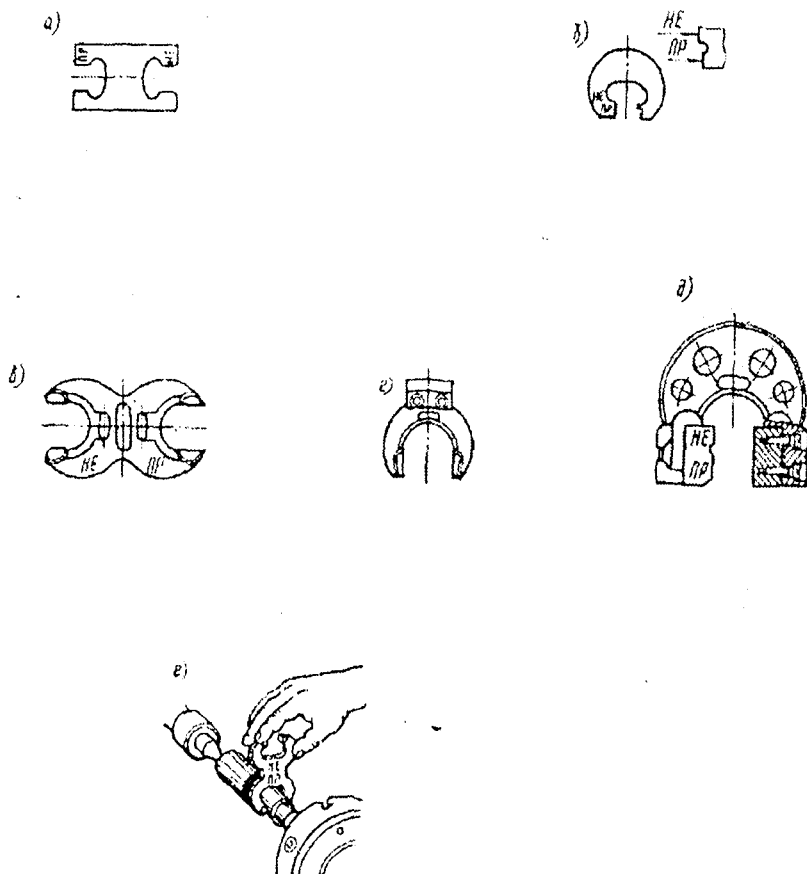
Рис. 42  
Стойки



**Рис. 43**

Калибры для контроля отверстий:

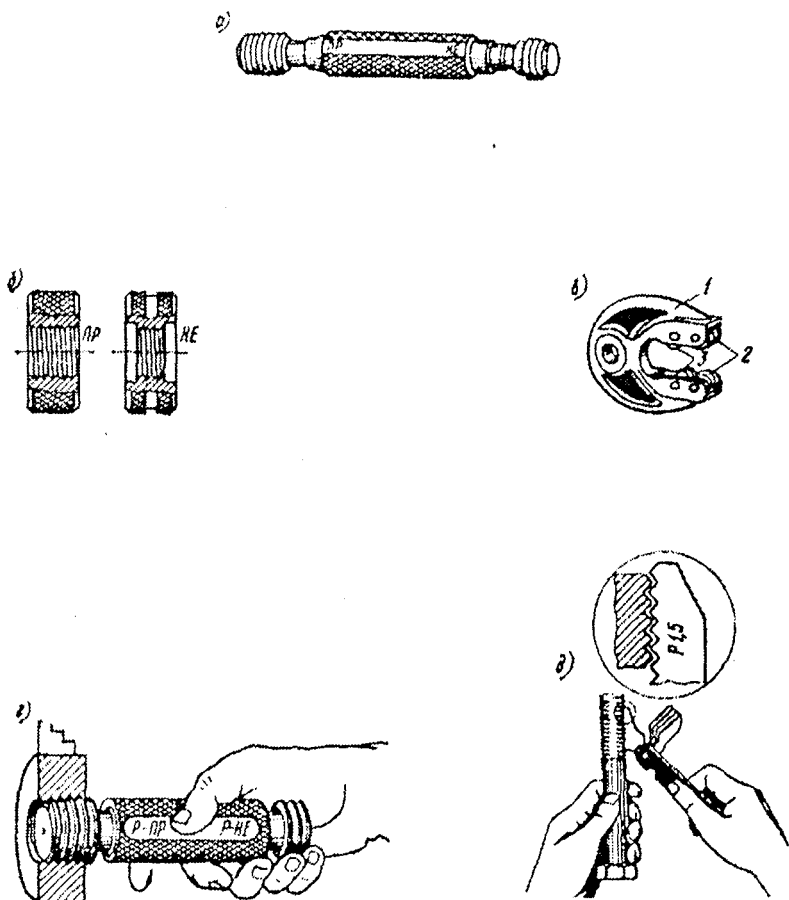
- а - пробка односторонняя; б - пробка двусторонняя с цилиндрическими вставками;  
 в - пробка двусторонняя со вставками; г - пробка с насадками; д - пробка листовая;  
 е - штихмас; ж - схема контроля отверстия пробки



**Рис. 44**

Калибры для проверки валов:

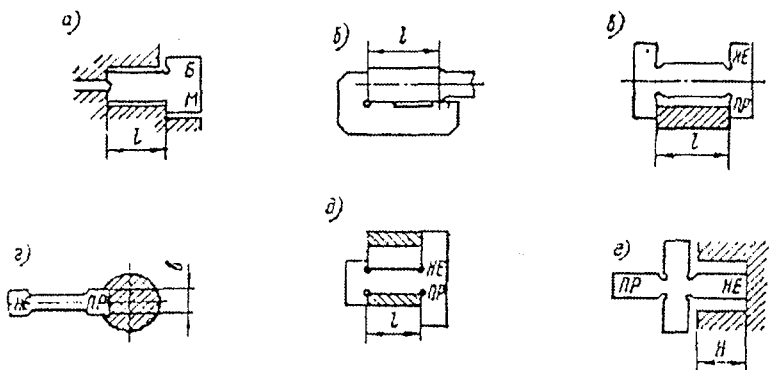
а - скоба листовая двусторонняя; б - скоба листовая односторонняя; в, г - скобы литые; д - скоба регулируемая; е - схема контроля вала скобой



**Рис. 45**

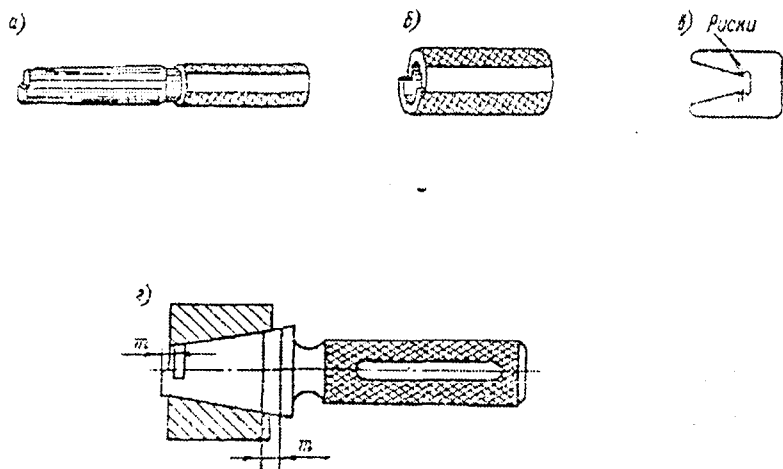
Калибры для контроля резьб:

а - двусторонняя резьбовая пробка; б - резьбовые кольца; в - резьбовая скоба; г - схема контроля внутренней резьбы пробкой; д - схема контроля шага резьбы пластинчатым резьбомером



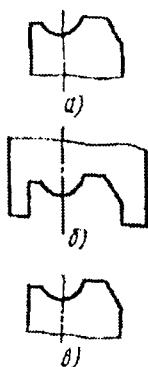
**Рис. 46**

Листовые калибры-шаблоны для проверки:  
 а - уступов; б, в - длин; г - ширины пазов; д - высота колец;  
 е - глубины пазов и отверстий



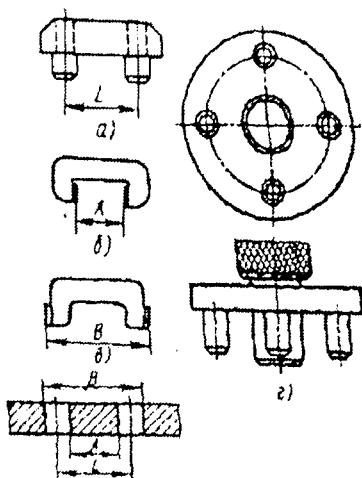
**Рис. 47**

Калибры для проверки конических поверхностей



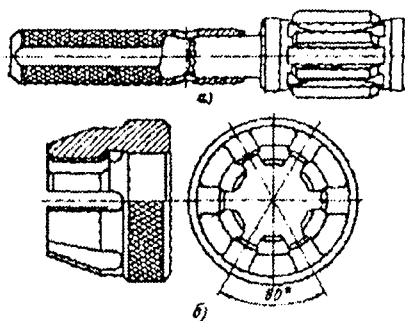
**Рис. 48**

Профильные калибры (шаблоны)



**Рис. 49**

Калибры для контроля расстояний между осями



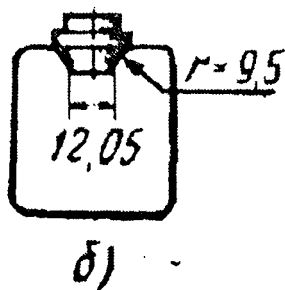
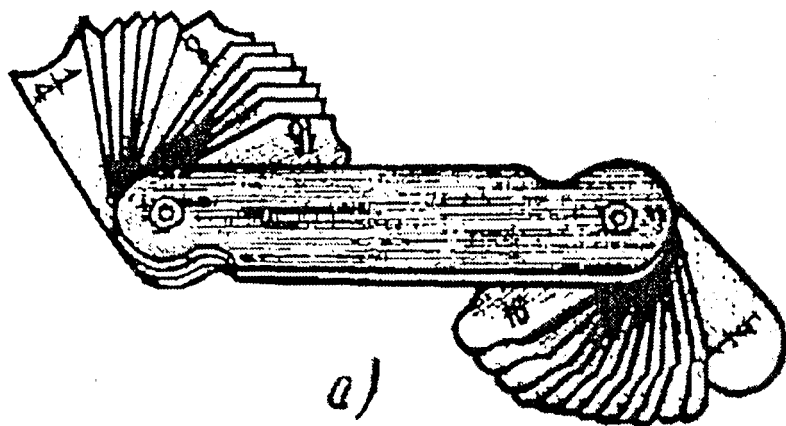
**Рис. 50**

Комплексные калибры для контроля шлицевых соединений



**Рис. 51**

Шаблоны радиусные



**Рис. 51.1**  
Набор радиусных шаблонов (а),  
контроль профильным шаблоном (б)



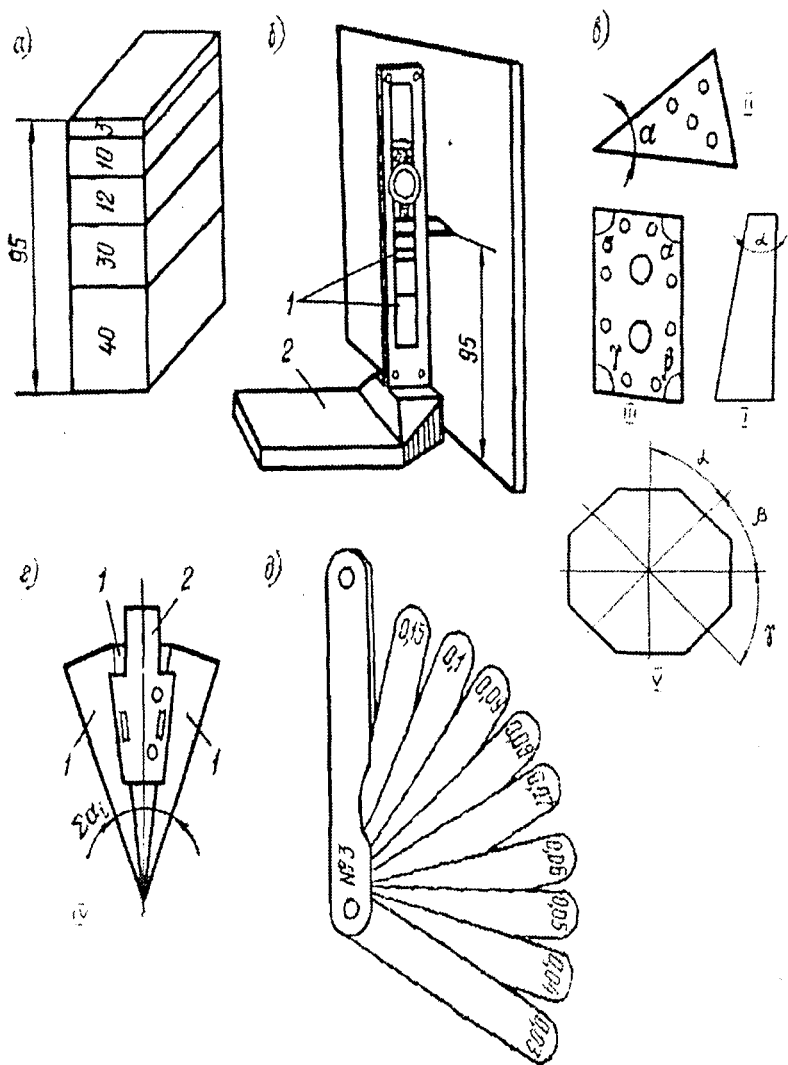


Рис. 52

Измерительные средства:

а - концевые меры длины; б, г - использование набора мер; в - угловые меры; д - набор щупов; 1 - мера; 2 - державка

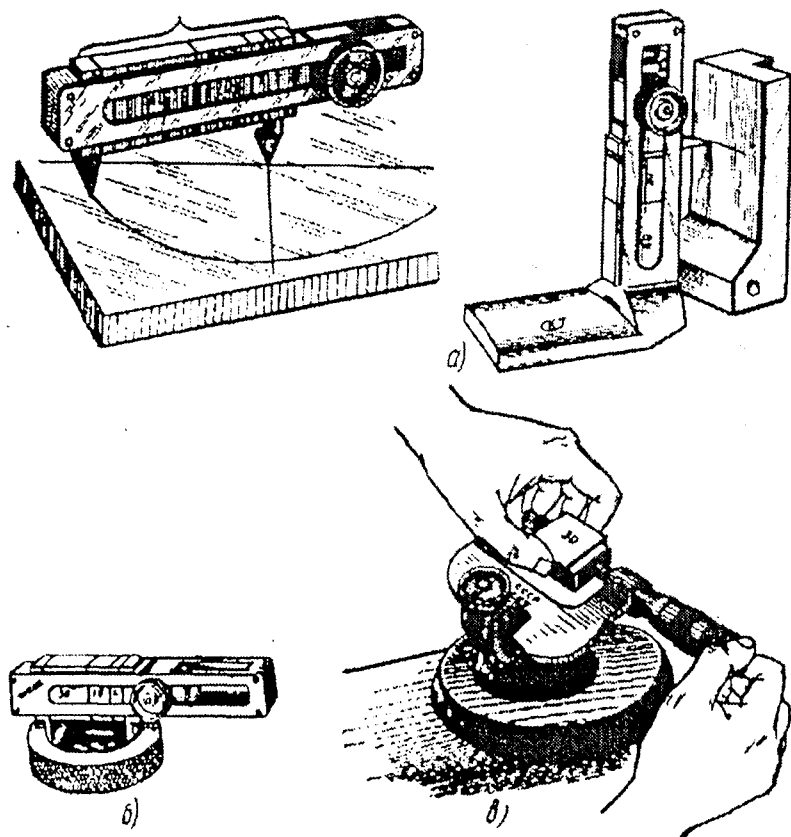


Рис. 52.1

Использование плоскопараллельных концевых мер длины (плиток):  
а - для разметки окружности и нанесения горизонтальных линий, б - для измерения внутренних диаметров, в - для контроля точности показаний микрометра

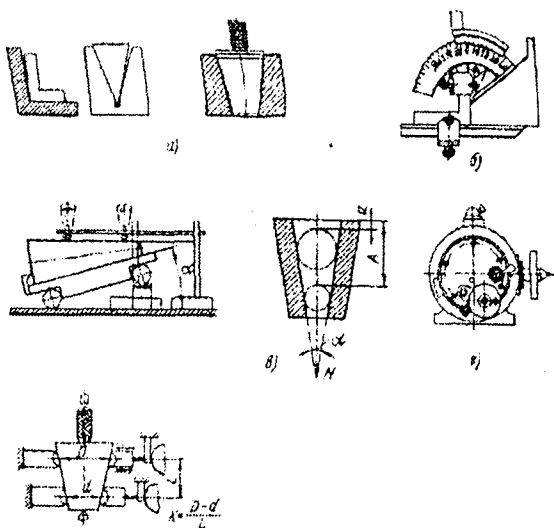
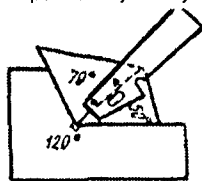
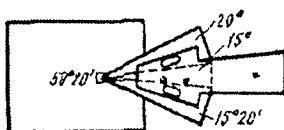


Рис. 53

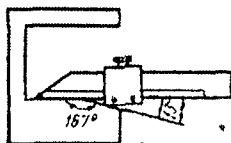
Виды измерения конусов и углов



а)



б)



в)

Рис. 54

Измерение углов угловыми плитками:

а - блок угловых плиток из двух штук, закрепленных в специальной державке,  
 б - блок из трех плиток, в - измерение угловой плиткой и лекальной линейкой угла  $167^\circ$

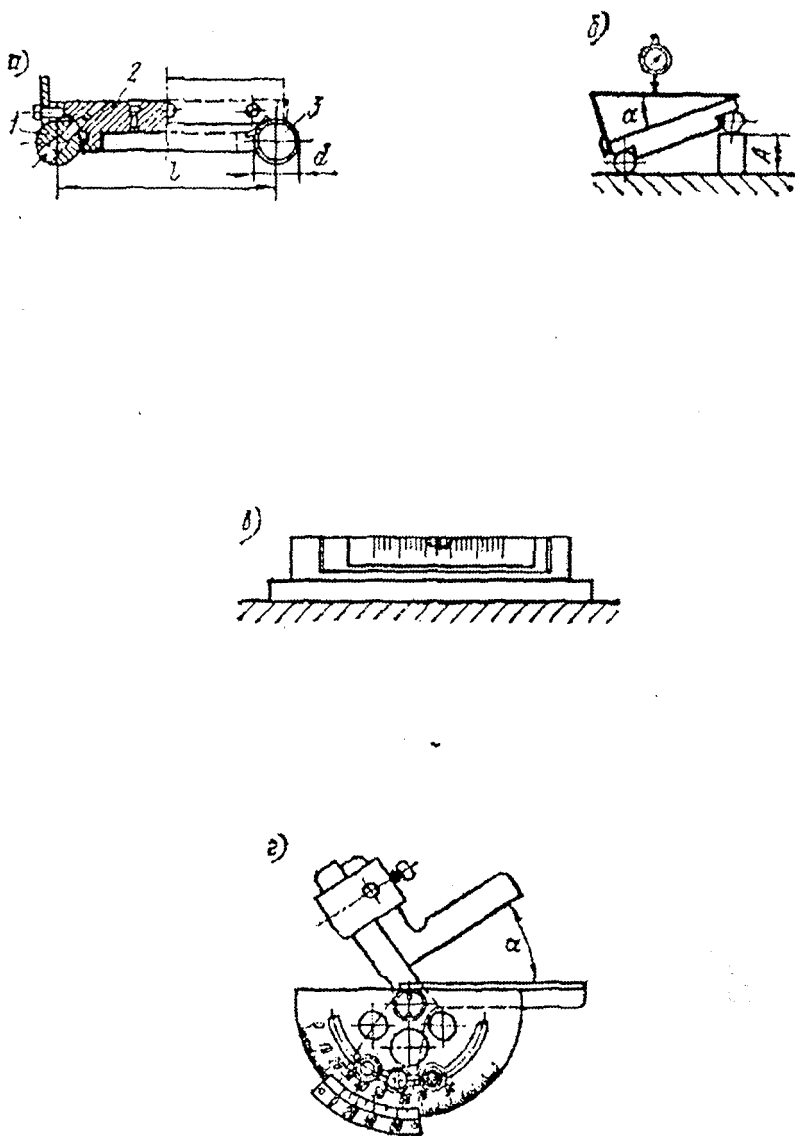
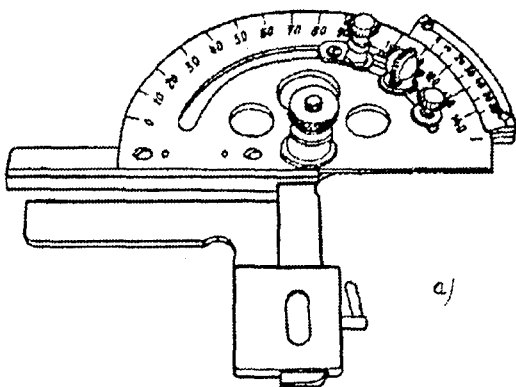
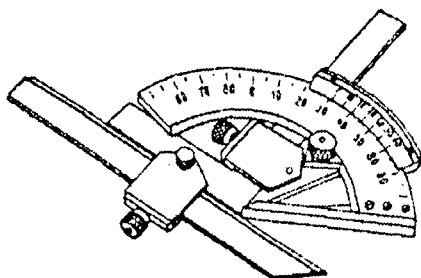


Рис. 55

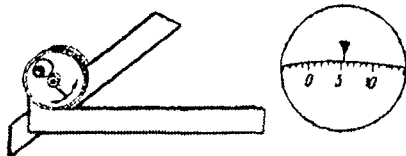
Приборы для контроля углов:  
а, б - синусная линейка; в - брусковый уровень;  
г - механический универсальный угломер



а)



б)



в)

**Рис. 56**

Угломеры:

а - транспортный типа УМ, б - универсальный типа УН, в - оптический типа УО

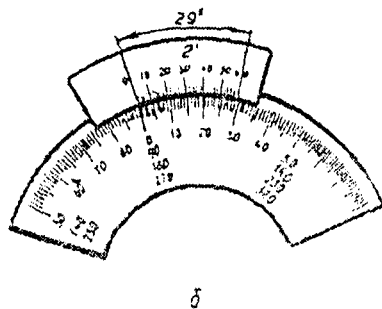
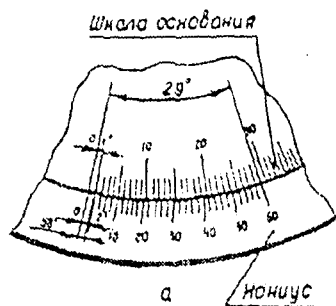
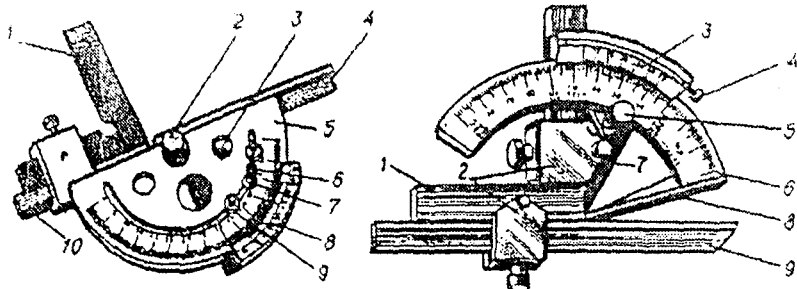
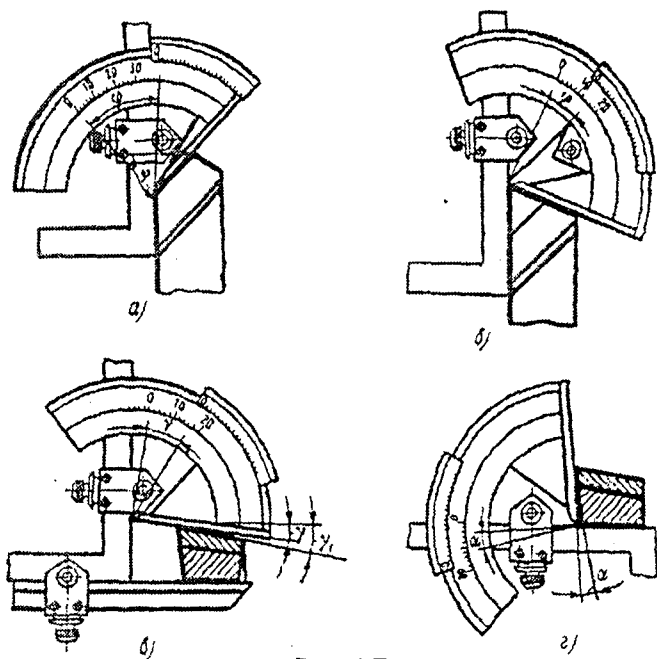


Рис. 56.1

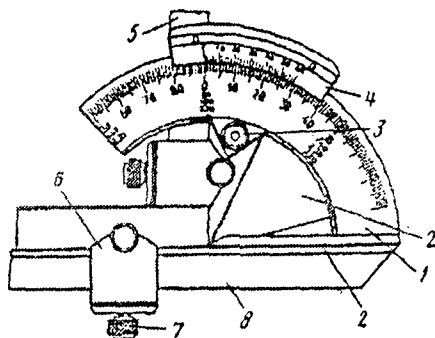
Угломеры:

а - типа УМ (1 - угольник; 2 - ось; 3 - сектор; 4 - линейка съемная, 5 - основание (полудиск) с градуированной шкалой; 6 - микрометрическая подача; 7 - ганка; 8 - нониус; 9 - стопор; 10 - линейка подвижная); б - типа УН (1 - угольник; 2 - державки; 3 - нониус; 4 - винт нониуса; 5 - стопор; 6 - основание; 7 - сектор; 8 - линейка основания; 9 - линейка съемная)



**Рис. 57**

Универсальный угломер и его применение для измерения углов режущего инструмента:  
 а - главного угла в плане; б - вспомогательного угла в плане; в - переднего угла;  
 г - заднего угла



**Рис. 58**

Угломер с нониусом:

1 - основание; 2 - сектор; 3 - винт микрометрической подачи; 4 - нониус; 5 - угольник;  
 6 - державка; 7 - зажимающий винт; 8 - съемная линейка

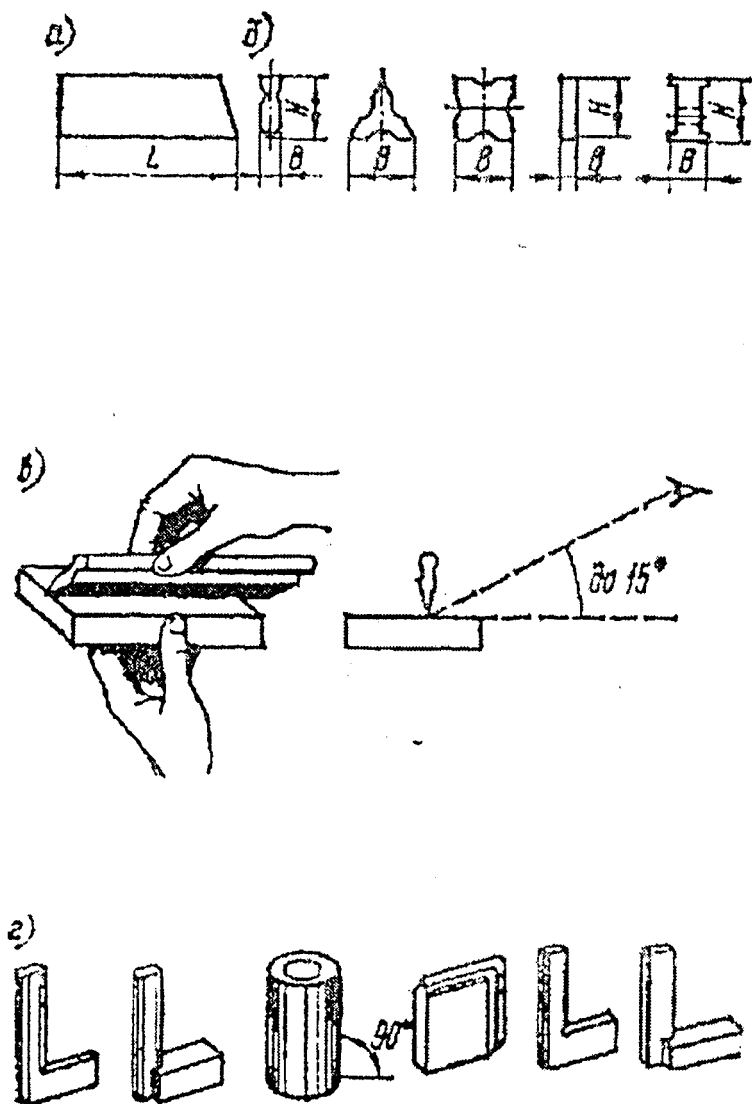


Рис. 59

Линейки и угольники:

а - вид линейки сбоку; б - профили линейек; в - схема контроля отклонений от плоскостности с помощью линейки; г - угольники



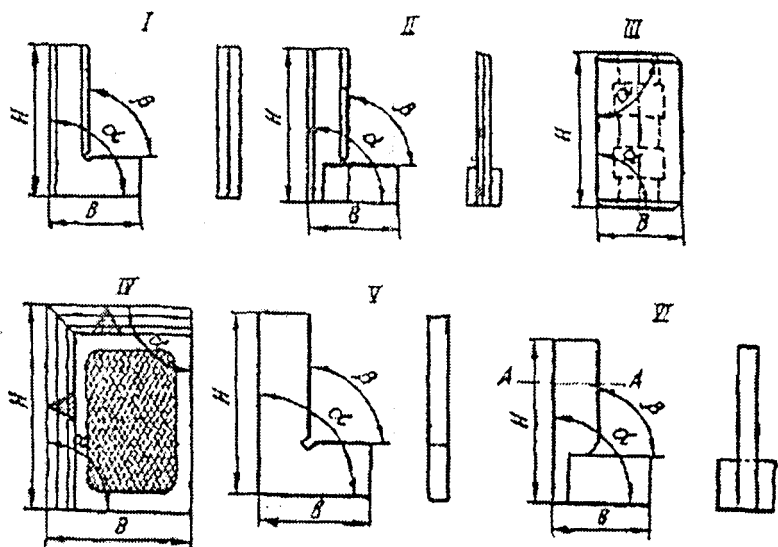


Рис. 60  
Типы угольников

Величина отклонений по щупу

Эскиз	d	10°	20°	30°	40°	50°	60°	120°	180°
	l, мм	Толщина щупа а, мм							
	10	0,03	0,06	0,08	0,1	0,14	0,17	0,35	0,52
	100	0,3	0,6	0,8	1,1	1,4	1,7	3,5	5,2

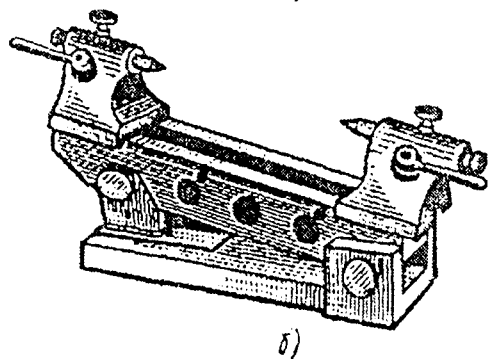
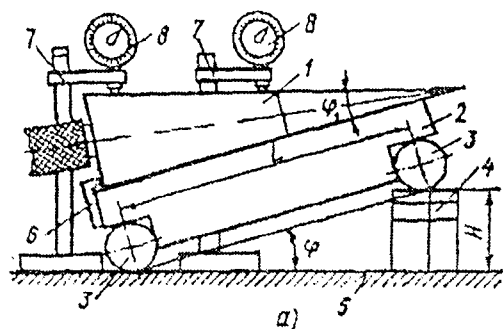


Рис. 61

Синусная линейка:

а - схема измерения, б - линейка с центрами

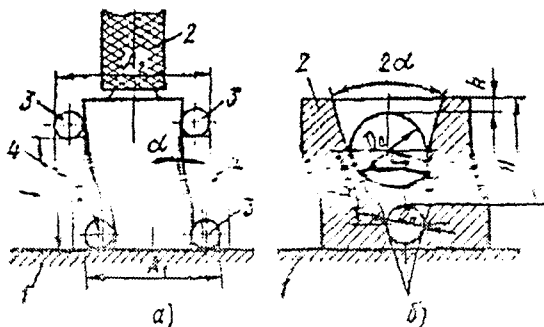
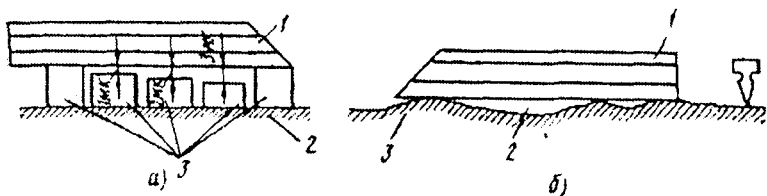


Рис. 62

Измерение конусов при помощи шариков, роликов и микрометра:

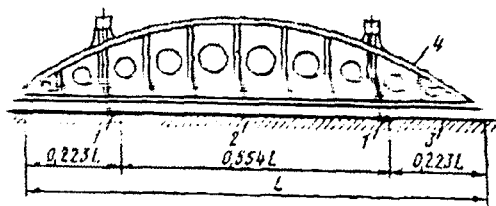
а - наружного, б - внутреннего



**Рис. 63**

Контроль методом световой щели:

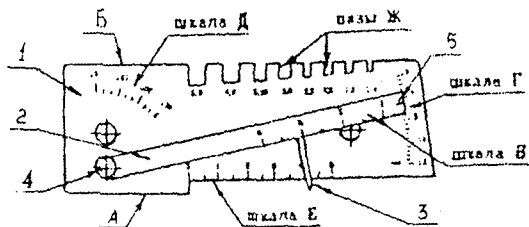
- а - определение величины световой щели: 1 - лекальная линейка, 2 - измеряемая поверхность, 3 - концевые меры; б - схема проверки: 1 - лекальная линейка, 2 - величина просвета, 3 - измеряемая поверхность



**Рис. 64**

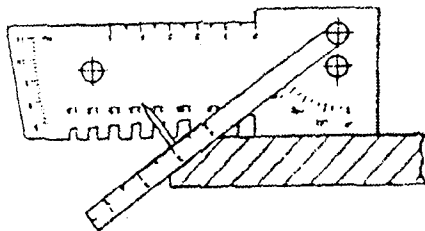
Контроль методом линейных отклонений:

- 1, 2 - концевые меры, 3 - проверяемая поверхность, 4 - поверочная линейка



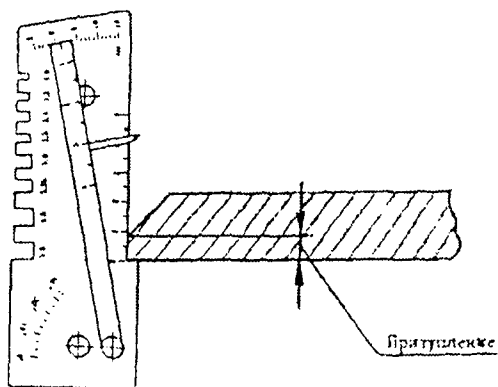
**Рис. 65**

Шаблон универсальный типа УШС-3



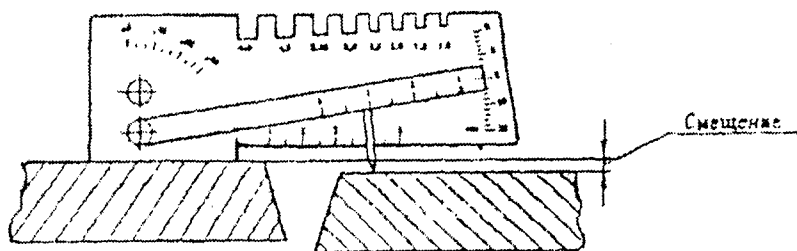
**Рис. 66**

Схема измерения угла скоса разделки



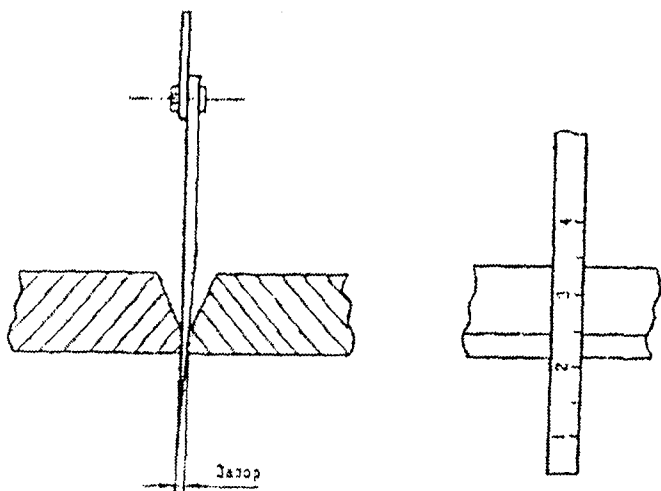
**Рис. 67**

Схема измерения размера притупления разделки



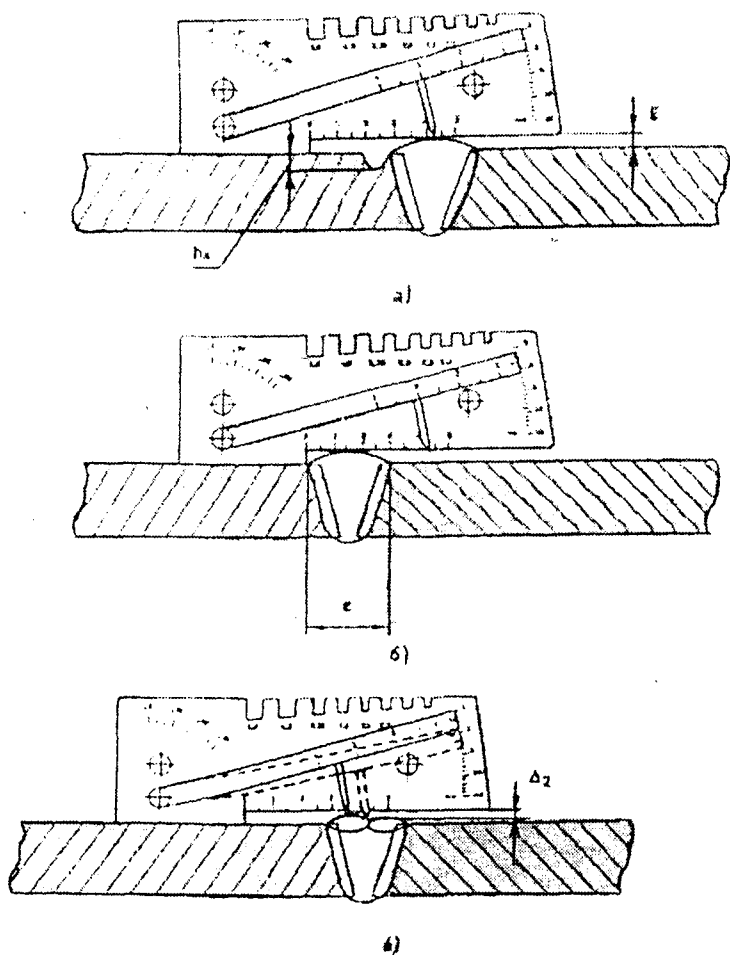
**Рис. 68**

Схема измерения смещения наружных кромок деталей



**Рис. 69**

Схема измерения зазора в соединении



**Рис. 70**

Схема измерений с помощью шаблона УШС размеров сварного шва  
 а) измерение высоты шва и глубины подреза;  
 б) измерение ширины шва;  
 в) измерение расстояний между валиками

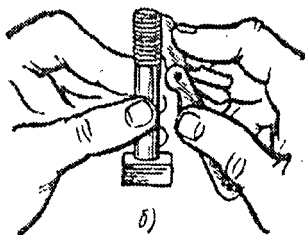
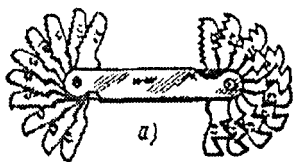


Рис. 71

Резьбовые шаблоны:

а - вид шаблонов, б - метод измерения

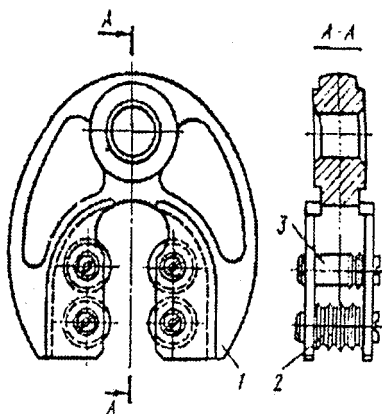


Рис. 72

Резьбовые роликовые скобы:

1 - обойма, 2,3 - пары роликов

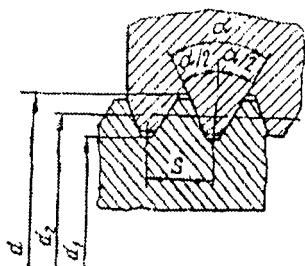


Рис. 73

Основные измеряемые параметры резьбы

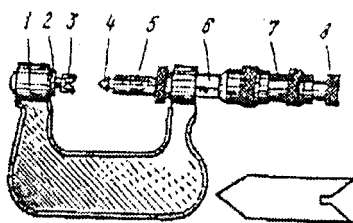


Рис. 74

Резьбовый микрометр:

1 - скоба, 2 - пятка, 3 - призматическая вставка, 4 - коническая вставка, 5 - микровинт, 6 - стержень, 7 - барабан, 8 - трещотка

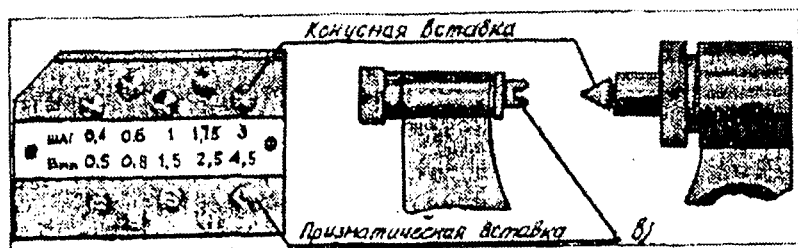
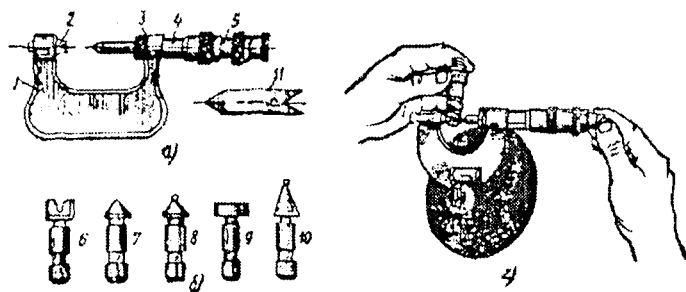
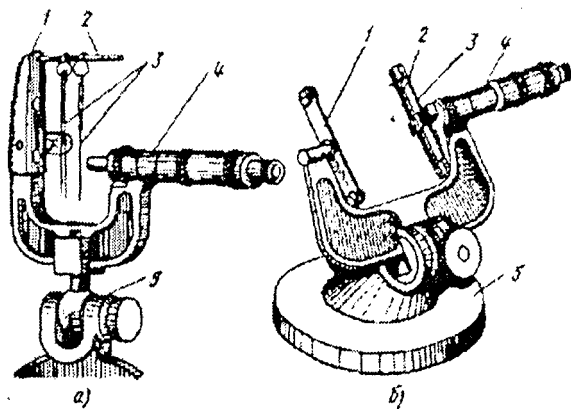


Рис. 74.1

Микрометр со вставками:

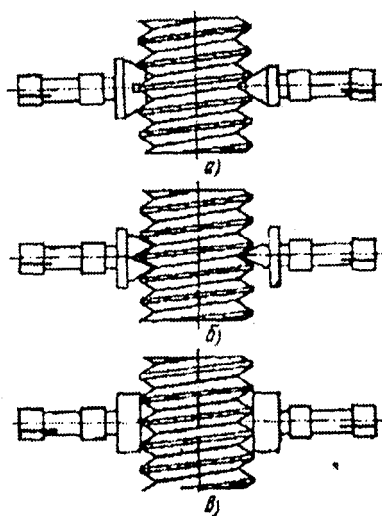
а - устройство, б - вставки, в - установка вставок в микрометр, г - прием измерения резьбы; 1 — скоба, 2 — пятка, 3 — микрометрический винт, 4 — стель, 5 — барабан, 6 — призматическая вставка, 7 — коническая вставка, 8,10 — конические шаровые вставки, 9 — плоская вставка, 11 — установочная мера





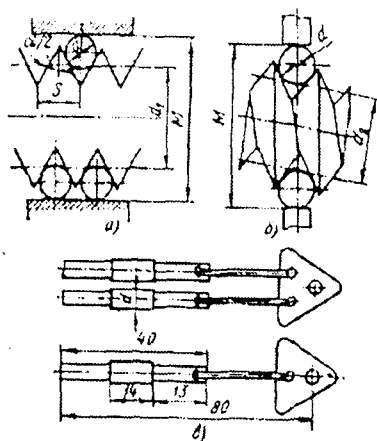
**Рис. 75**

Различные виды приспособлений для измерения среднего диаметра резьбы при помощи калибровочных проволочек



**Рис. 76**

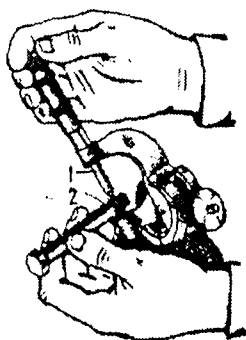
Схема измерения диаметра резьбы микрометром:  
а - среднего, б - внутреннего, в - наружного



**Рис. 77**

Измерение среднего диаметра резьбы проволочками:

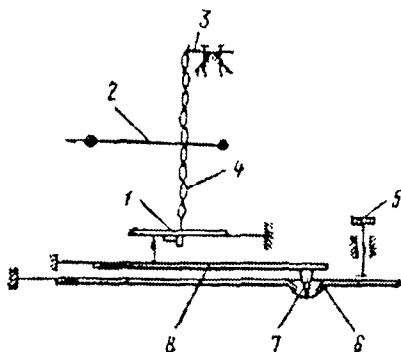
а - тремя проволочками, б - двумя проволочками, в - калибровочные проволочки для измерения диаметра резьбы.



**Рис. 78**

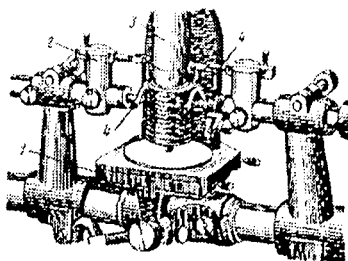
Измерения резьбы:

1 - верхняя, 2 - нижняя резьбовые вставки



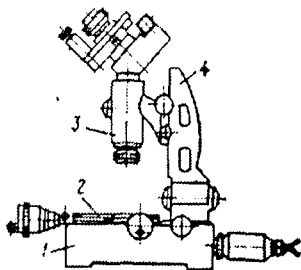
**Рис. 79**

Прибор ИПШ ЛИЗ для измерения шероховатости.



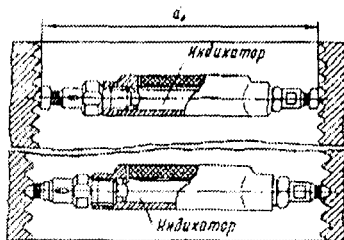
**Рис. 80**

Измерение резьбы на оптиметре:  
1 - оптиметр, 2 - стойка,  
3 - измеряемая деталь,  
4 - проволочка



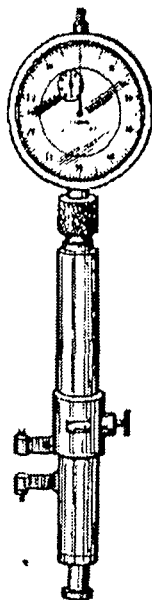
**Рис. 81**

Малый инструментальный  
микроскоп:  
1 - основание, 2 - стол, 3 - тубус,  
4 - стойка



**Рис. 82**

Прибор для измерения внутренних  
резьб большого диаметра



**Рис. 83**

прибор для измерения внутренних  
резьб малого диаметра

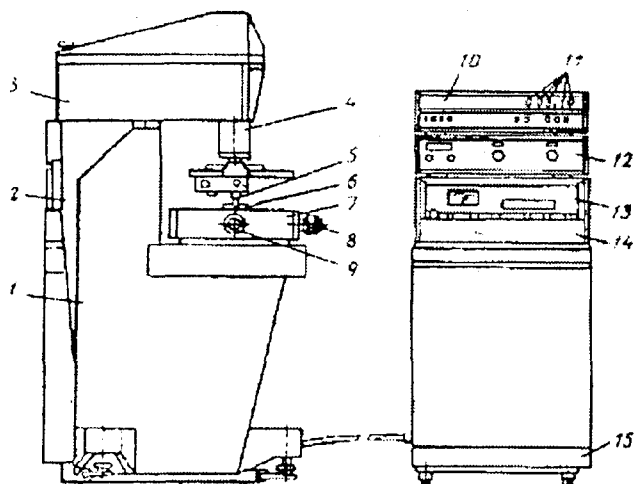


Рис. 84

Кругломер с вращающимся преобразователем

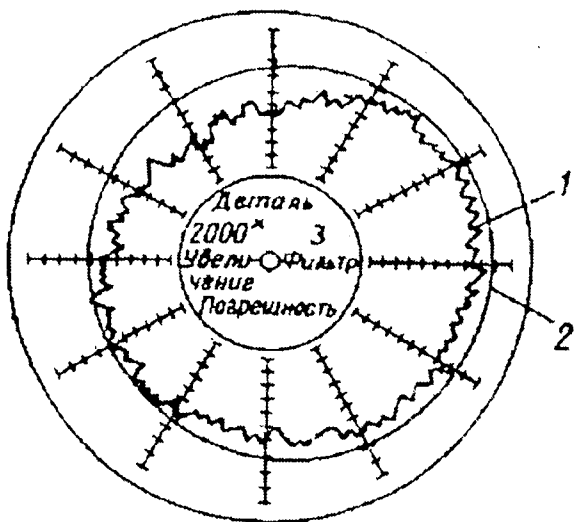
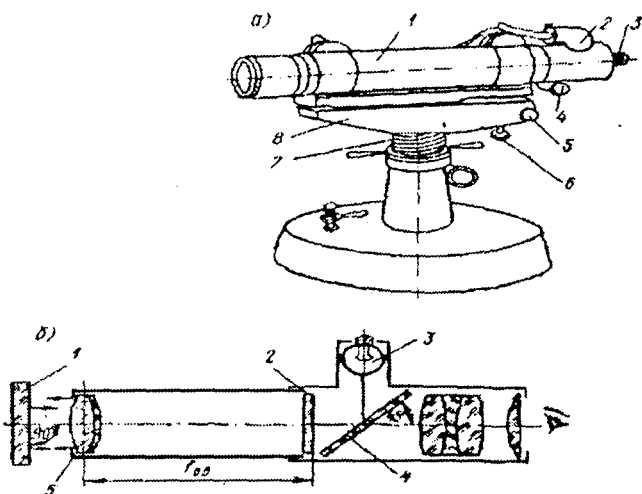


Рис. 85

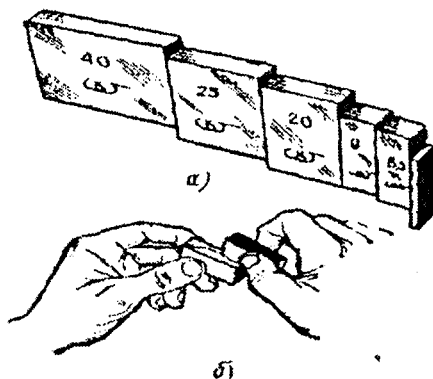
Круглограмма



**Рис. 86**

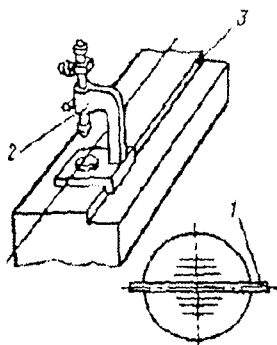
Автолиматор:

а - общий вид (1 - зрительная труба с автоколлимационным устройством; 2 - корпус, в котором вмонтированы электролампочка, конденсор, светофильтр и автоколлимационная марка); 3 - окуляр; 4 - винт для крепления окуляра; 5 - винт для поворота зрительной трубы вокруг вертикальной оси; 6 - винт для поворота зрительной трубы вокруг горизонтальной оси; 7 - колонка; 8 - кронштейн); б - оптическая схема



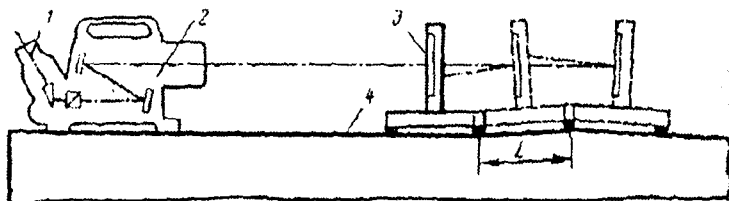
**Рис. 87**

Плоскопараллельные концевые меры длины:  
а - набор концевых мер, б - притирание плиток



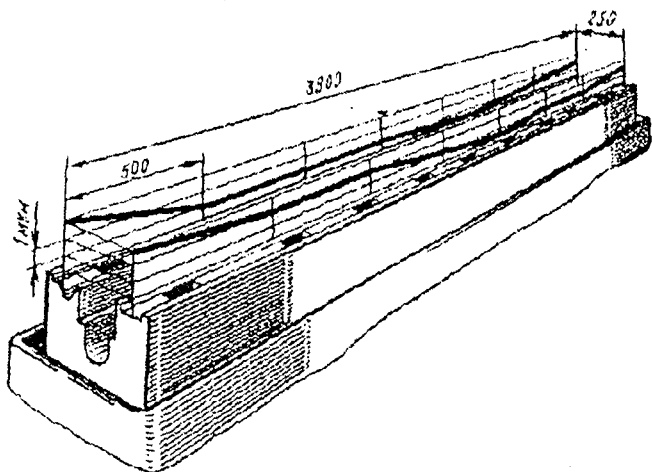
**Рис. 88**

Контроль направляющих методом струны



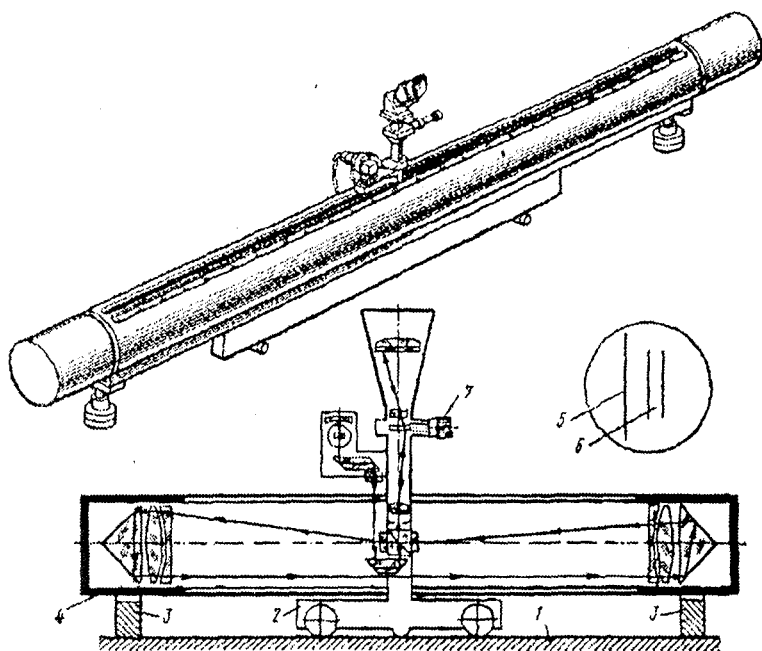
**Рис. 89**

Контроль направляющих автоколлиматором



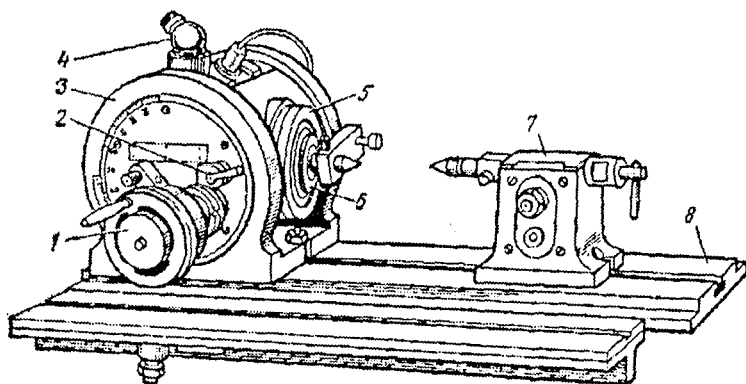
**Рис. 90**

График непрямолинейности направляющих, проверенных автоколлиматором



**Рис. 91**

Оптическая линейка ИС-36



**Рис. 92**

Оптическая делительная головка

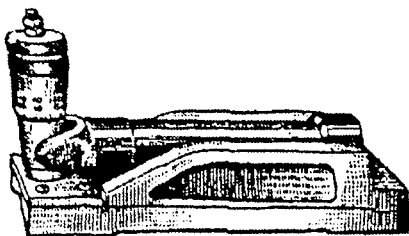
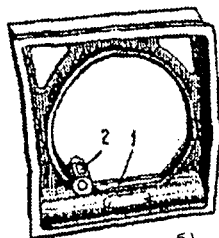


Рис. 93

Микрометрический уровень



а)

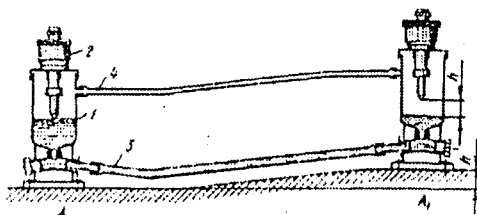


б)

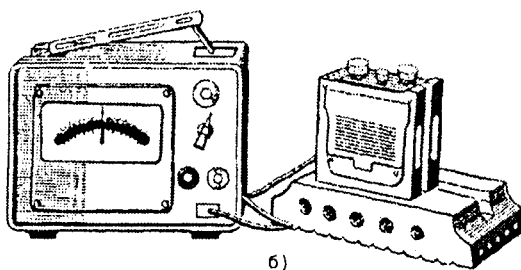
Рис. 94

Уровни:

а - брусковый; б - рамный; 1, 2 - ампулы уровня



а)



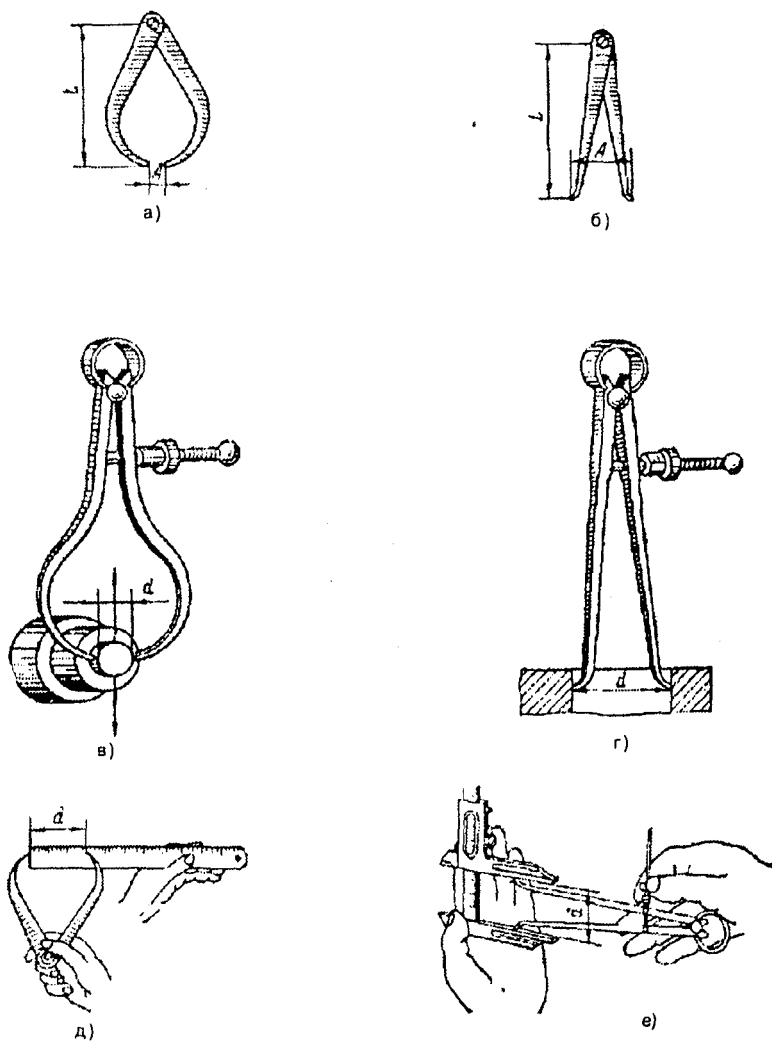
б)

Рис. 95

Уровни:

а - гидростатический; 1 - резервуар, 2 - измерительная головка с микрометрическим глубиномером, 3 - водяной шланг, 4 - воздушный шланг; б - индуктивный.





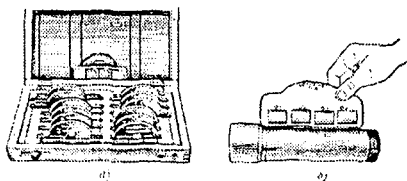
**Рис. 96**

Кронциркули и нутромеры:

а - кронциркуль нормальный; б - нутромер нормальный; в - схема контроля пружинным кронциркулем; г - схема контроля пружинным нутромером; д, е - отсчет размера.

## Средства измерения шероховатости поверхности

Для измерения величины шероховатости обработанной поверхности применяются различные методы. Наиболее распространенными являются: визуальное определение шероховатости путем сравнения с образцами по ГОСТ 9378-75.



**Рис. 97**

Образцы шероховатости:  
а-набор образцов, б-пример пользования

Стандартизованные рабочие образцы выпускаются с различными шероховатостями поверхностей, полученных точением, фрезерованием, строганием, шлифованием, растачиванием, развертыванием, протягиванием, полированием и доводкой.

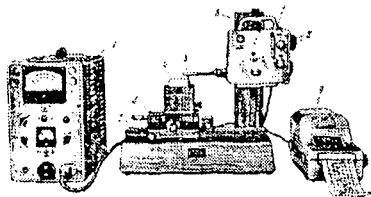
По видам обработки образцы комплектуются в оправах, и составленные наборы помещаются в различные футляры в зависимости от материала.

При сравнении поверхностей с шероховатостью от  $Ra2,5$  рекомендуется пользоваться лупой.

Комплект образцов показан на рис.97, а. Образцы должны быть изготовлены из того же материала, что и сравниваемая поверхность, с применением различных видов обработки: точения, фрезерования, шлифования и др. Контроль шероховатости производится сличением поверхностей, как показано на рис.97, б. Этот метод считается достоверным только для 4-7 -го классов шероховатости. В производственных условиях иногда делают внутрицеховые образцы шероховатости. Для этого обрабатывают детали, затем аттестуют шероховатость поверхности в лабораторных условиях, после чего она служит эталоном для контроля сравнением аналогичных деталей.

Для измерения шероховатости труднодоступных мест — поверхностей глубоких отверстий, резьбы и др. - применяют метод отпечатков (реплик). На измеряемую поверхность накладывают пластический материал для получения четкого отпечатка.

Контроль шероховатости осуществляется сравнением обрабатываемых поверхностей с образцами контактным методом с помощью шуповых приборов (профилометров и профилографов) или бесконтактным методом с помощью оптических приборов (микроскопы, лазерные устройства). Профилометры показывают среднее арифметическое отклонение профиля поверхности  $Ra$ , а профилографы - профиль поверхности в виде профилограммы.



**Рис. 98**

Профилограф-профилометр модели 201

Наиболее совершенным высокочувствительным прибором для измерения шероховатости и волнистости поверхности деталей из стали, чугуна, цветных металлов и неметаллических материалов является профилограф-профилометр модели 201. Одновременно с измерением он может записывать результаты измерения на специальной бумаге.

Измерения микронеровностей поверхности возможны в пределах 5-14-го классов шероховатости, проверяемый максимальный шаг неровностей 3,5 мм.

Наименьший диаметр проверяемого отверстия 8 мм, радиус ощупывания иглы  $0,02^{+0,002}$  или  $0,01^{+0,002}$  мм.

Действие прибора основано на принципе ощупывания измеряемой поверхности алмазной иглой с малым радиусом закругления. Измерительное усилие ощупывающей иглы не более 0,1 гс, поэтому после измерения на проверяемой поверхности не остается видимых царапин.

Прибор состоит из трех самостоятельных частей (рис. 98): электронного блока 1 с показывающими приборами, самого измерительного устройства и самозаписывающего прибора 9. Измерительное устройство имеет основание 2, на котором установлен универсальный стол 3, позволяющий перемещать проверяемую деталь 4 в двух взаимно перпендикулярных направлениях и осуществлять поворот. На стойке 6 перемещается при помощи рейки и зубчатого колеса каретка 7 с жестко закрепленным в ней датчиком 5. Перемещение датчика в продольном направлении осуществляется от мотопривода (электродвигателя и коробки скоростей), находящегося в каретке 7. В горизонтальном направлении перемещение осуществляется маховиком 8. Самозаписывающий прибор 9 - самопишущий магнито-электрический миллиамперметр постоянного тока - служит для записи микронеровностей проверяемой поверхности.

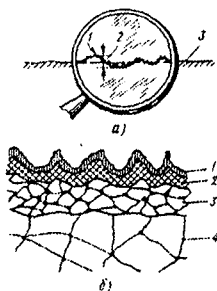


Рисунок 99.

Качество обработанной поверхности:  
 а - микронеровности и волнистость: 1 - микронеровности, 2 - волнистость, 3 - обработанная поверхность; б - структура поверхности: 1 - пленка окислов, 2 - зона термического воздействия, 3 - зона пластической деформации, 4 - исходная структура

Вид обработки поверхности указывают в обозначении шероховатости только в случаях, когда он является единственным применимым для получения требуемого качества поверхности (рис. 100).

Качество поверхности также определяется волнистостью, которая характеризуется неровностями в виде периодически повторяющихся волн, на вершинах которых расположены микронеровности - следы обработки (рис. 99. а). К волнистости также относятся гранность и дробленность. Основными причинами появления волнистости - неравномерность процесса резания, различные величины снимаемых припусков, вибрации, возникающие в процессе резания и др.



Рис. 100

Обозначения шероховатости на чертежах по ГОСТ 2789-73

Параметр шероховатости указывают в обозначении без символа, если используется среднее арифметическое отклонение профиля  $R_a$ , например 0,63; для обозначения  $R_z, R_{max}$  параметр указывается после соответствующего символа, например  $Rz40, R_{max}80$ .

## **5. Основные сведения об объекте контроля. Материал. Конфигурация и размеры. Основные понятия о технологии изготовления, эксплуатации и ремонта**

В технике постоянно приходится сталкиваться с механизмами и машинами разнообразного назначения и устройства, которые состоят из частей, соединенных различными способами.

Все виды соединений отдельных деталей в сборочные единицы принято делить на две основные группы: разъемные и неразъемные (рис. 1).

К группе разъемных относятся такие соединения, которые можно неоднократно разбирать и вновь собирать без разрушения или существенных повреждений соединительных элементов. К ним относятся: резьбовые (болтовые, шпилечные и т. п.), шпоночные, шлицевые и другие соединения.

К группе неразъемных относятся соединения, которые нельзя разобрать без разрушения соединительных элементов или повреждения соединенных деталей. К ним относятся соединения с гарантированным натягом: заклепочные, сварные, соединения пайкой, клеевые.

### **5.1. Резьбовые соединения**

Резьбовые соединения - это соединения деталей с помощью резьбы, обеспечивающей их относительную неподвижность (рис. 2).

Типовые резьбовые соединения состоят из болта (винта, шпильки), гайки, шайбы, средства против самоотвинчивания гайки (шплинт, пружинная шайба, стопорная шайба и т. д.) (рис. 2 - 8).

В современном машиностроении применяются резьбовые соединения диаметром от нескольких миллиметров до нескольких сот миллиметров (например, стяжные шпильки станин прессов или прокатных станков). Кроме того, резьбы различного назначения отличаются друг от друга профилем (треугольная, трапецеидальная, упорная и др.); по форме (цилиндрическая, коническая); по виду (наружная, внутренняя); по направлению винтовой линии (правая, левая); по числу заходов (однозаходная, многозаходная); по назначению (крепёжная, ходовая) (рис. 9).

Болт представляет собой цилиндрический стержень с головкой на одном конце и винтовой резьбой на другом (рис. 3). Головка болта может иметь различную форму: шестигранную, квадратную, прямоугольную, полукруглую, коническую с квадратным подголовком и др. Выбор формы головки болта зависит от технологических особенностей данного соединения. Наибольшее применение получили болты с шестигранной головкой.

Форма гайки также может быть различной. В болтовых соединениях чаще всего используются шестигранные гайки, реже - квадратные. В машиностроении широко применяются гайки специальной формы: круглые, гайки-барашки (с двумя ушками) и др.

Болты общего назначения по точности изготовления различают трех классов точности (по ГОСТ 16093-81):

- точный класс по ГОСТ 7805-70; ГОСТ 7808-70; ГОСТ 7811-70; ГОСТ 7817-72 и др.
- средний класс по ГОСТ 7795-70; ГОСТ 7796-70; ГОСТ 7798-70 и др.
- грубый класс по ГОСТ 15589-70; ГОСТ 15590-70; ГОСТ 15591-70 и др.

В металлических конструкциях, испытывающих значительные нагрузки, обычно используют болтовые соединения следующих типов:

- обычные болты - "средней" или "грубой" точности (ГОСТ 7798-70; ГОСТ 15589-70);
- чистые болты - "точные" (ГОСТ 7811-70);
- высокопрочные болты, устанавливаемые в конструкциях с определенным напряжением.

Болты "средней" или "грубой" точности хорошо работают на растяжение, а при работе на срез они могут быть применены только в неотчетственных соединениях.

В соединениях на чистых болтах усилия передаются за счет смятия или среза болтов, в соединениях на высокопрочных болтах - силами трения, возникающими по соприкасающимся плоскостям элементов от натяжения болтов.

Диаметр отверстия под болт должен превышать номинальный диаметр болта:

- для болта "средней" или "грубой" точности на 1,5.....2,5 мм;
- для чистых болтов - диаметром 10.....18 мм на 0,25 мм, диаметром 18.....30 мм - на 0,3 мм, диаметром более 30 мм - на 0,35 мм.

Отверстия должны быть обработаны по пятому классу точности.

Высокопрочные болты, применяемые в настоящее время для ответственных монтажных соединений, изготавливают из качественных углеродистых и легированных марок сталей. Высокопрочные болты, гайки, шайбы для повышения прочности подвергаются термообработке.

Соединения на высокопрочных болтах обладают следующими преимуществами:

- более равномерным по сравнению с заклепочным соединением распределением напряжения по сечению, что обеспечивает большую выносливость соединения при переменных нагрузках;

- ослабление деталей отверстиями может не учитываться в расчете на выносливость, поскольку усилия в соединении воспринимаются силами трения сопряженных поверхностей, а не стержнем болта;

- болты устанавливаются в отверстие с зазором в холодном состоянии, трудоемкость соединения снижена по сравнению с заклепками, отверстия под болт проще выполнить;

- возможность осуществления контроля необходимого натяжения болтов, как при сборке соединения, так и при эксплуатации;

- не требуются специальные средства стопорения гаек в соединениях.

Отверстия под высокопрочные болты выполняются на 1...3 мм больше номинальных диаметров болтов.

Гайки высокопрочных болтов заворачивают в два этапа:

- закручиванием обычным накидным ключом (длиной не более 50 см) до отказа (рис. 10 -12);

- довертывание гаек до требуемого натяжения болтов.

Довертывание гайки производят:

- специальными динамометрическими ключами с контролем крутящего момента;

- удлинненными ключами на заданный угол поворота (после закручивания обычным ключом).

При довертывании гаек на заданный угол поворота (без контроля крутящего момента), после закручивания гаек до отказа накидным ключом, на гайку и шайбу наносят масляной краской черту. От этой черты отмеряют угол поворота гайки при

довертывании и наносят масляной краской новую черту, до которой любым ключом довертывают гайки.

Значение углов поворота гайки при довертывании:

Число листов, стягиваемых в пакете	2-3	4-6	7-8
Требуемый угол (град.) поворота гайки при довертывании для болтов диаметром:			
M18 и M22	180	270	360
M24 и M27	120	210	300

Натяжение болтов следует производить от середины к краям узла или стыка.

Плотность стяжки пакета проверяют шупом толщиной 0,3 мм, который не должен заходить более, чем на 20 мм.

Постоянство стяжки пакета при эксплуатации конструкции значительно зависит от твердости шайб. Поэтому в соединениях на высокопрочных болтах применяют специальные шайбы, имеющие твердость по Бринеллю HB 325 - 432. Диаметр шайб в этих соединениях принимают на один размер больше, чем для обычных болтов. Например, для болта M18 принимают шайбы, как для болта M20 и т. д.

В процессе эксплуатации следует вести систематические наблюдения за узлами и стыками на высокопрочных болтах, 2 раза в год проверять их отстукиванием контрольным молотком (0,4...0,5 кг) и контролировать натяжение гаек динамометрическими ключами.

При отстукивании ослабленное соединение издает дребезжащий звук (рис. 13).

<b>Виды брака при нарезании резьбы</b>	
<b>Брак</b>	<b>Причины</b>
Рваная резьба	Тупой метчик или плашка, перекося инструментов при их установке

Неполный профиль резьбы	Неправильный выбор диаметра стержня или сверла под резьбу, износ инструментов
Конусность резьбы	Разбивание верхней части отверстия из-за неправильного вращения метчика
Срыв резьбы	Диаметр просверленного отверстия меньше требуемого или диаметр стержня больше требуемого. Затупившийся метчик. Забивание канавок стружкой.
Полоска метчика	<del>Забивание канавок метчика стружкой</del> Малый диаметр отверстия под резьбу

## 5.2. Клепанные соединения

Заклепочные соединения широко применяются в металлических конструкциях различных механизмов и машин. В заклепочных соединениях элементы конструкции связаны между собой заклепками, создающими требуемую прочность соединения (рис. 14, 15).

Заклепка представляет собой стержень с одной готовой головкой - закладной; вторая часть, образуемая в процессе клепки, называется замыкающей. В зависимости от требований к заклепочному соединению применяют заклепки с различной формой головки (рис. 16):

- полукруглые высокие;
- полукруглые низкие;
- плоские;
- потайные;
- полупотайные.

Наиболее распространено использование заклепки с полукруглой головкой (ГОСТ 10299-88), она является наиболее



прочной. В некоторых случаях, когда внешняя поверхность заклепочного соединения не должна иметь выступов, применяют заклепки с потайной головкой (ГОСТ 10300-88) (рис. 16).

В зависимости от материала склепываемых деталей и требований к прочности соединения применяют заклепки из мягкой стали, меди или алюминия.

Процесс формирования замыкающей головки (клепка) может быть выполнен как в холодном, так и в горячем состоянии. Для всех видов клепки стержень должен свободно входить в отверстия сопрягаемых деталей, поэтому отверстия выполняют несколько большего диаметра, чем номинальный диаметр заклепки.

При холодной клепке стержень сначала осаживается, заполняя отверстие, затем образуется замыкающая головка, а стержень, продолжая осаживаться, немного раздвигает отверстие. Характерной особенностью холодной клепки является хорошее заполнение отверстия стержнем заклепки и отсутствие трещин склепанных элементов друг к другу.

Недостатком холодной клепки является наличие значительных местных пластичных деформаций, снижающих работоспособность конструкции.

Горячая клепка производится с нагревом заклепки до температуры пластичности металла, что позволяет значительно уменьшить усилия, необходимые при склепывании элементов конструкции. В первый период расклепывания горячий стержень заклепки осаживается, заполняя отверстие, из-за значительной пластичности металла деформируется выступающая часть стержня заклепки, по которой наносят удары пневматическим молотком. После образования замыкающей головки заклепка начинает остывать, стержень ее укорачивается, стягивая склепанные элементы, одновременно значительно уменьшается диаметр заклепки. Таким образом, при горячей клепке, благодаря уменьшению длины заклепки, между склепываемыми элементами возникают значительные силы трения. Горячая клепка является очень надежным соединением, допускающим при правильном ее выполнении длительную работоспособность соединения.

Заклепку из углеродистых сталей нагревают до температуры 1000....1150 °С (светло-оранжевый цвет) и из низколегированной стали до 1000....1100 °С (темно-оранжевый цвет). Заклепка должна быть равномерно нагрета по всей длине. Недостаточный нагрев закладной головки вызывает хрупкое разрушение, при котором

закладная головка отлетает.

Клепка должна быть закончена, когда закладная головка приобретает темно-красный цвет (температура 600°C). Преждевременное окончание клепки, когда закладная головка нагрета выше 800°C, снижает качество клепки.

Для заклепочных соединений металлических конструкций широко используются заклепки, изготовленные из Ст2 и Ст3, а также из стали марки 09Г2. Заклепки из легированной стали марки 09Г2 в процессе изготовления маркируют буквой "Г" на закладной головке. Заклепки из Ст2 и Ст3 не маркируют.

Диаметры отверстий под заклепку рекомендуются следующие:

Номинальный диаметр, мм											
заклепки	8	10	13	16	19	22	25	28	31	34	37
отверстия	9	11	14,5	17,5	20,5	23,5	26,5	29,5	32,5	35,5	38,5

С кромок отверстия необходимо снять заусеницы, выполнив фаску 0,5 мм.

Заклепки в соединении располагают рядами, вместе со скрепляемыми частями они образуют заклепочные швы. В зависимости от числа рядов заклепок и их расположения различают однорядные, двухрядные и многорядные швы (рис. 17).

По расположению скрепляемых деталей швы подразделяются на швы внахлестку и встык с одной или двумя накладками (рис. 17).

По назначению заклепочные швы подразделяются на следующие виды:

- прочные, выдерживающие высокие механические нагрузки, например заклепочные швы для соединения деталей ферм мостов;
- плотные, обеспечивающие, главным образом, плотность соединения, например швы различных сосудов для жидкостей и газов;
- прочноплотные, удовлетворяющие требованиям, предъявляемым к первому и второму видам заклепочных швов;

Заклепочные соединения получают следующими способами:

- ручными инструментами - прямым (открытым) и обратным (закрытым) способами;
- механизированными инструментами - пневматический пресс, клепальный молоток;

- на станках - стационарный пресс (до 40 заклепок в секунду) и др. (рис. 15).

Достоинствами заклепочных соединений являются:

- простота конструкции и технологических процессов;
- несложная технологическая оснастка;
- дешевизна;
- надежность.

Плотность посадки заклепки, зазоры, внешний вид выполненного соединения контролируют отстукиванием контрольным молотком (0,4...0,5 кг). При отстукивании ослабленное соединение издает дребезжащий звук.

<b>Виды брака при клепке</b>	
<b>Брак</b>	<b>Причина</b>
Смещение в сторону замыкающей головки	Неровный конец стержня заклепки или стержень длиннее требуемого
Смещение обеих головок в разные стороны	Отверстие просверлено косо
Величина замыкающей головки больше (или меньше) требуемой	Неверный выбор длины стержня заклепки
Неплотное прилегание замыкающей головки	Перекося обжимки
Рваные края замыкающей головки	Плохое качество материала заклепки

### **5.3. Сварные соединения**

Во всех сферах материального производства в настоящее время широко применяются высокопроизводительные и экономичные виды сварки, наплавки, пайки, газоплазменной резки, металлизации. Сваркой обрабатываются почти все конструкционные материалы толщиной от десятков микрон до нескольких метров.

### 5.3.1. Основные виды сварки и наплавки

В настоящее время существует около 100 способов сварки, 30 способов газоплазменной обработки и немного меньше способов пайки.

Рассмотрим некоторые из них.

#### Сварка плавлением

**Электродуговая сварка.** Необходимое для местного расплавления деталей и присадочного материала тепло образуется при горении электрической дуги между свариваемым металлом и электродом (плавящимся или неплавящимся). Температура электродуговой сварки достигает 6000 °С и обеспечивает быстрый и сосредоточенный на небольшом участке процесс сварки.

По способу механизации сварка может быть ручная, полуавтоматическая и автоматическая.

**Ручная сварка** может выполняться тонкокрытыми или тостокрытыми электродами (рис. 18), открытой дугой (угольным электродом) или в защитных газах (вольфрамовым электродом в гелии и аргоне) (рис. 19).

**Полуавтоматическая сварка** может выполняться под флюсом (плавленным или керамическим электродом), открытой дугой (порошковой проволокой или голой легированной проволокой), в защитных газах (азоте, аргоне и гелии, углекислом газе) или вольфрамовым электродом (в гелии и аргоне с автоматической подачей проволоки) (рис. 20).

**Автоматическая сварка** может выполняться под флюсом (плавленным или керамическим электродом), в защитных газах (аргоне и гелии, углекислом газе) или вольфрамовым электродом (в гелии и аргоне с автоматической подачей проволоки) (рис. 21, 22).

**Электрошлаковая сварка.** Плавление основного металла и присадочного материала происходит за счет тепла, выделяющегося при прохождении электрического тока через расплавленный шлак (в период установившегося процесса). Может выполняться электродной проволокой, пластинчатым электродом, плавящимся мундштуком (рис. 23).

**Электроннолучевая сварка.** Сварка выполняется в камерах с разрежением до  $10^{-4}$ ... $10^{-6}$  мм рт. ст. Тепло выделяется за счет бомбардировки зоны сварки электронным потоком, приобре-

тающим высокими скоростями в высоковольтной установке, имеющей мощность до 50 кВт. Анодом является свариваемая деталь, а катодом - вольфрамовая нить или спираль, нагретая до температуры 2300 °С (рис. 24, 25).

**Плазменная сварка.** Плавление металла осуществляется плазменно-дуговой струей, имеющей температуру выше 10000 °С.

**Лазерная сварка.** Сварка основана на использовании фотоэлектронной энергии. При большом усилении световой луч способен плавить металл. Для получения такого луча применяют лазеры, в которых при помощи оптических систем луч собирается в пучок до размеров, соизмеримых с длиной волны.

**Импульсно-дуговая сварка.** Сущность способа состоит в том, что сварочный ток не сохраняет постоянную величину, а поступает в дежурную сварочную дугу определенными кратковременными импульсами.

**Газовая сварка.** Основной и присадочный металлы расплавляются высокотемпературным газокислородным пламенем, имеющим температуру до 3200 °С (рис. 26).

Газовая сварка может осуществляться:

- ацетиленом и кислородом;
- другими горючими газами;
- парами горючих жидкостей.

Нагреваемое место доводится до расплавленного состояния, затем к пламени подводят присадочный материал, который, расплавляясь вместе с металлом детали, образует сварочный шов.

При сварке газами нагревается значительная площадь поверхности, что приводит к возникновению внутренних напряжений, вызывающих трещины и коробление свариваемых деталей.

## Сварка давлением

**Контактная сварка.** Место сварки разогревается или расплавляется теплом, образованным при прохождении электрического тока через контактируемые места изделий.

Контактная сварка бывает:

• **Точечная сварка.** Сварка производится пропусканием тока большой силы через электроды при напряжении 2...10 В, между которыми зажаты наложенные внахлестку свариваемые детали (рис. 27). Большое сопротивление в местах прохождения тока

вызывает быстрый нагрев свариваемого металла, после чего детали сдавливают, сближая электроды. В месте сдавливания образуется сварная точка. Перемещая через определенное расстояние свариваемые детали, и повторяя операцию сварки, получают точечный сварной шов. Недостатком точечной сварки является образование вблизи сварных точек значительных местных напряжений, которые ослабляют прочность детали, особенно если она работает в условиях переменных нагрузок. Сварка бывает одно- и многоточечная.

- **Стыковая сварка.** Сварка происходит по всей поверхности стыкуемых деталей. Для чего свариваемые детали устанавливают в зажимы сварочной машины. После включения тока при напряжении 1...3 В свариваемые детали сближают, а после разогрева сдавливают в осевом направлении. Высокая температура и давление обеспечивают сваривание деталей. В месте сварки образуется утолщение - шов. Сварка данного вида бывает плавлением и сопротивлением (рис. 28, 29).

- **Шовная сварка.** Сварка заключается в том, что свариваемые детали (листы) накладываются друг на друга внахлестку и сжимаются двумя роликами, являющимися электродами. При прохождении тока через ролики и перемещении между ними свариваемых деталей (один ролик имеет принудительное вращение) под действием высокой температуры и давления, оказываемого роликами, детали свариваются по линии качения роликов и образуют шов (рис. 30). Сварочный шов может быть сплошным или прерывистым в зависимости от подачи тока.

- **Рельефная сварка.** Является контактной сваркой при сваривании рельефных поверхностей (разновидность точечной сварки). Здесь электроды выполнены в виде медных плит с ровной поверхностью.

- **Ультразвуковая сварка.** Сварка осуществляется за счет превращения при помощи специального преобразователя ультразвуковых колебаний в механические высокой частоты (10...100 кГц) и применения небольшого сдавливающего усилия.

- **Сварка трением.** Сварка заключается в том, что вследствие трения одного из свариваемых стержней о другой место соединения разогревается; при приложении осевого усилия соединяемые металлы свариваются.

- **Холодная сварка.** Сварка основана на способности металла образовывать общие кристаллы при значительном давлении.

Применяется для соединения пластичных металлов (алюминий, медь, серебро, никель, цинк) и их сплавов. Сварка выполняется при комнатной температуре.

**Газопрессовая сварка.** Сварка осуществляется нагреванием концов стержней или труб по всему периметру окружности многопламенными горелками до пластического состояния или плавления с их последующим сжатием.

**Термитная сварка.** Процесс сварки заключается в том, что свариваемые детали закладываются в огнеупорную форму, а в установленный сверху тигель засыпается термит - порошок из алюминия и окиси железа. При горении термита окись железа восстанавливается, а образующийся при этом жидкий металл при заполнении формы оплавляет и соединяет кромки свариваемых изделий.

**Сварка токами высокой частоты.** Этот способ сварки основан на разогреве токами высокой частоты концов стыкуемых стержней или труб до пластического состояния с последующим приложением осевых усилий для получения неразъемного соединения.

Существуют также способы сварки: диффузная, взрывом и др.

**Наплавка** - это процесс нанесения слоя сплава необходимого состава на рабочую поверхность изделия. Наплавляемый слой обычно обладает специальными свойствами: высокой твердостью и износостойкостью, кислотостойкостью, жаропрочностью и т. п.

Наплавка выполняется на специальном оборудовании при помощи электродов, присадочных проволок, порошковых лент и флюсов.

### 5.3.2. Сварные соединения (определения).

**Сварное соединение** - неразъемное соединение деталей, выполненное сваркой и включающее в себя шов и зону термического влияния.

По положению в пространстве сварные швы в момент выполнения бывают: нижние, вертикальные, горизонтальные и верхние потолочные.

**Сварной узел.**

**Сварной узел** - часть конструкции, в которой сварены примыкающие друг к другу элементы.

**Сборочная единица.**

**Сборочная единица** - часть свариваемого изделия, содержащая один или несколько сварных соединений.

**Сварная конструкция.**

**Сварная конструкция** - металлическая конструкция, изготовленная сваркой отдельных деталей.

### 5.3.3. Типы сварных соединений

**Стыковое соединение** - сварное соединение двух элементов, примыкающих друг к другу торцевыми поверхностями (рис.31):

**Угловое соединение** - сварное соединение двух элементов, расположенных под углом и сваренных в месте примыкания их краев (рис. 32).

**Нахлесточное соединение** - сварное соединение, в котором сварные элементы расположены параллельно и частично перекрывают друг друга (рис. 33).

**Тавровое соединение** - сварное соединение, в котором торец одного элемента примыкает под углом и приварен к боковой поверхности другого элемента (рис. 34).

**Торцевое соединение** - сварное соединение, в котором боковые поверхности сваренных элементов примыкают друг к другу (рис. 35).

### 5.3.4. Элементы сварного шва

**Сварной шов** - участок сварного соединения, образовавшийся в результате кристаллизации расплавленного металла или в результате пластической деформации при сварке давлением или сочетания кристаллизации и деформаций.

Сварные швы бывают следующих видов:

**Стыковой шов** - сварной шов стыкового соединения.

**Угловой шов** - сварной шов углового, нахлесточного или таврового соединения.

**Точечный шов** - сварной шов, в котором связь между сваренными частями осуществляется сварными точками.

**Непрерывный шов** - сварной шов без промежутков по длине.

**Прерывистый шов** - сварной шов с промежутками по длине.

**Цепной прерывистый шов** - двухсторонний прерывистый шов,



у которого промежутки расположены по обеим сторонам стенки один против другого (рис. 36).

**Шахматный прерывистый шов** - двухсторонний прерывистый шов, у которого промежутки на одной стороне стенки расположены против сваренных участков шва с другой ее стороны (рис. 37).

**Многослойный шов** - сварной шов деталей, выполненный в несколько слоев по высоте.

**Подварочный шов** - меньшая часть двухстороннего шва, выполняемая предварительно для предотвращения прожогов при последующей сварке или выполняемая в последнюю очередь в корне шва после его зачистки (выборки).

**К элементам сварного шва относятся:**

**Корень шва** - часть сварного шва, наиболее удаленная от его лицевой поверхности (рис. 38).

**Валик** - металл сварного шва, наплавленный или переплавленный за один проход.

**Слой сварного шва** - часть металла сварного шва, которая состоит из одного или нескольких валиков, располагающихся на одном уровне поперечного сечения шва.

**Прихватка** - короткий сварной шов для фиксации взаимного расположения подлежащих сварке деталей.

**Выпуклость сварного шва** - часть сварного шва, выступающего над уровнем расположения поверхностей сваренных деталей (оценивается по максимальной высоте расположения поверхности шва над указанной линией) (рис. 39).

**Вогнутость сварного шва** - это максимальное расстояние между плоскостью, проходящей через видимые линии границы сварного шва с основным металлом и поверхностью шва, измеренное в любом поперечном сечении по длине шва (рис. 40).

**Толщина углового шва** - наибольшее расстояние от поверхности углового шва до точки максимального проплавления основного металла (рис. 41).

**Расчетная высота углового шва ( $h$ )** - указанный в чертеже размер перпендикуляра, опущенного из точки сопряжения сваренных деталей (точка  $O$ ) на прямую линию, соединяющую края поверхности шва в одном поперечном сечении или на параллельную указанной линии касательную к поверхности сварного шва (при вогнутом угловом шве). Для двустороннего

углового шва определяется как сумма высот с разных сторон (рис.42).

**Катет углового шва** - кратчайшее расстояние от поверхности одной из свариваемых частей до границы углового шва на поверхности второй свариваемой части (рис. 43).

**Ширина сварного шва** - расстояние между краями поверхности сварного шва в одном поперечном сечении (рис. 44).

**Параметры элементов свариваемых деталей при подготовке под сварку.**

**Основной металл** - металл деталей, соединяемых сваркой.

**Разделка кромок** - придание кромкам деталей, подлежащих сварке, необходимой формы.

**Скос кромок** - прямолинейный наклонный срез кромок детали, подлежащей сварке (рис. 45).

**Притупление кромок** - не скошенная часть торца кромок детали, подлежащей сварке (рис. 46).

**Угол скоса кромок** - острый угол между плоскостью скоса кромок и плоскостью торца детали или торцевая поверхность детали после механической обработки до заданных чертежом размеров (рис. 47).

**Угол разделки кромок** - угол между скошенными кромками свариваемых деталей (рис. 48).

**Смещение кромок** - несовпадение уровней расположения свариваемых (сваренных) деталей в стыковых сварных соединениях (рис. 49).

**Зазор в сварном соединении** - расстояние между собранными под сварку деталями в поперечном сечении их кромок (рис. 50).

**Конструктивный зазор** - зазор в сварном соединении, предусмотренный конструкторской документацией на сварной узел (рис. 51).

**Подкладка** - остающееся подкладное кольцо - стальная пластина или кольцо заданной формы, ширины и толщины, устанавливаемое при сварке плавлением под кромки свариваемых деталей (рис. 52).

**Расплавляемая вставка** - стальная проволочная вставка заданной формы и размеров, устанавливаемая между кромками свариваемых деталей и расплавляемая при сварке (рис. 53).

**Провар** - сплошная металлическая связь между поверхностями основного металла, слоями и валиками сварного шва.

**Зона сплавления при сварке (зона сплавления)** - зона частично оплавившихся зерен на границе основного металла и металла шва.

**Зона термического влияния при сварке** (зона термического влияния) - участок основного металла, не подвергшийся расплавлению, структура и свойства которого изменились в результате нагрева при сварке или наплавке.

**Номинальная толщина свариваемых деталей** - указанная в чертеже (без учета допусков) толщина основного металла в зоне, примыкающей к сварному шву.

### 5.3.5. Электроды для сварки и наплавки

Электроды, применяемые для сварки и наплавки, классифицируются:

- по назначению (для сварки стали, чугуна, цветных металлов и наплавочных работ);
- по технологическим особенностям (для сварки в различных пространственных положениях, для сварки с глубоким проплавлением и для ванной сварки);
- по типу покрытия (рудно-кислородное, фтористо-кальциевое, рутиловое и газозащитное);
- по химическому составу стержня и покрытия;
- по характеру шлака;
- по механическим свойствам металла шва;
- по способу нанесения покрытия (опрессовкой или окунанием);

При ручной дуговой сварке плавлением применяют неплавящиеся и плавящиеся электроды и некоторые другие вспомогательные материалы.

Электроды для дуговой сварки сталей и наплавки по ГОСТ 9466-75 подразделяются на следующие классы:

- для сварки углеродистых и легированных конструкционных сталей (ГОСТ 9467-75);
- для сварки легированных и теплоустойчивых сталей (ГОСТ 9467-75);
- для сварки высоколегированных сталей с особыми свойствами (ГОСТ 10052-75);
- для наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами (кроме электродов для наплавки цветных сплавов) (ГОСТ 10051-75).

Диаметр электрода выбирают в зависимости от толщины свариваемых элементов, типа сварного шва и положения его в пространстве в момент выполнения (нижнее, вертикальное, потолочное).

Диаметр электрода при сварке стыковых швов в нижнем положении следующий:

Толщина свариваемых деталей (мм).	2	3	4-5	6-8	9-12	13-15	16-20	св. 20
Рекомендуемый диаметр электрода (мм)	2	3	3-4	4	4-5	5	5-6	6

При сварке многослойных швов на металле толщиной 10-12 мм и более первый слой должны накладывать электродами диаметром на 1 мм меньше, чем указано выше, но не более 5 мм, так как применение электродов больших диаметров не позволяет проникнуть в глубину разделки для проварки шва. При сварке в вертикальном положении диаметр электрода составляет не более 5 мм. При сварке в горизонтальном и потолочном положении диаметр электрода составляет 3-4 мм.

При сварке угловых швов диаметр электрода выбирают в зависимости от катета шва:

Катет шва (мм)	2	3	4	5	6-8
Рекомендуемый диаметр электрода (мм)	1,6-2,0	2,5-3,0	3,0-4,0	4,0	4,0-5,8

При ручной сварке за один проход можно сваривать швы катетом не более 8 мм.

## **6. Основные требования к материалам и соединениям**

Металлы и их сплавы являются важнейшими конструкционными материалами.

Металлические конструкции различных механизмов и машин, в основном, эксплуатируются в условиях при действии переменных

нагрузок ударного характера. Поэтому к металлам, предназначенным для их изготовления, предъявляется ряд определенных требований, от выполнения которых зависит надежность и долговечность конструкции в целом. Согласно этим требованиям металлы должны обладать устойчивыми прочностными характеристиками, способностью воспринимать в течение длительного времени переменные нагрузки, способностью противостоять зарождению и распространению трещин.

Количественная оценка соответствия металла указанным требованиям устанавливается на основе следующих показателей:

- механических свойств;
- химического состава;
- свариваемости;
- склонности к хрупкому разрушению.

### 6.1. Основные свойства материалов

**Сплошность** - отсутствие дефектов недопустимых размеров и характера.

**Плотность** - отсутствие микроскопических дефектов, обуславливающих при воздействии статических напряжений.

**Плотность** - отношение массы вещества  $M$  к его объему  $V$

$$\gamma = M/V \text{ (кг/м}^3\text{)}.$$

**Прочность при статическом нагружении.**

Прочность (выносливость) при знакопеременных нагрузках.

**Прочность** - способность материалов выдерживать нагрузки без разрушения, характеризуется пределом текучести, пределом прочности.

**Предел текучести**  $\sigma_T$  - растягивающее напряжение, при котором деформация начинает расти без увеличения нагрузки.

**Предел прочности**  $\sigma_B$  (временное сопротивление разрыву) - условное напряжение, получаемое делением максимальной нагрузки  $P_{MAX}$  на площадь поперечного сечения  $F$ :

$$\sigma_B = P_{MAX}/F \text{ (кгс/мм}^2\text{)}.$$

**Пластичность** - способность металлов и сплавов изменять свою форму и размеры под действием внешних сил, не разрушаясь,

и оставаться в этом состоянии после прекращения действия этих сил.

Пластичность оценивается отношением предела текучести к пределу прочности  $\sigma_T/\sigma_B$ . Чем меньше отношение  $\sigma_T/\sigma_B$ , тем пластичней материал.

Например, для малоуглеродистых сталей  $\sigma_T/\sigma_B \leq 0,6$ , для сталей повышенной и высокой прочности  $\sigma_T/\sigma_B > 0,7$  (низколегированные стали).

**Относительное удлинение** (сужение) так же является показателем пластичности и характеризует деформационную способность материала и определяется:

**удлинение:**

$$\delta = (l_1 - l_0)/l_0 \cdot 100\%, \text{ где}$$

$l_0$  - первоначальная длина образца,

$l_1$  - длина образца после разрушения.

**сужение:**

$$\psi = (F_0 - F_1)/F_0 \cdot 100\%, \text{ где}$$

$F_0$  - первоначальная площадь поперечного сечения образца,

$F_1$  - минимальная площадь поперечного сечения образца (в месте разрыва).

Рекомендуется использовать стали в ГМП.с  $\delta \geq 18\%$ .

**Теплоустойчивость** в условиях длительной работы при высокой температуре.

**Коррозионная стойкость** при воздействии различных факторов.

**Жаростойкость** (окалиностойкость) - стойкость против химического разрушения в газовых средах при  $t > 50$  °С.

**Стабильность структуры**, препятствующая графитизации и коагуляции структурных составляющих.

**Эрозионная стойкость.**

Само собой разумеется, что набор необходимых свойств зависит от условий эксплуатации, исходя из которых, выбирают материалы и технологию изготовления.

**Склонность к хрупкому разрушению**

Основными внешними факторами, способствующими возникновению хрупкого (наиболее опасного) разрушения являются:

- динамическое (внезапное) воздействие нагрузки;

- пониженная температура;
- наличие резких концентраторов.

Показателем склонности перехода стали в хрупкое состояние является удельная **ударная вязкость  $a_k$**  (кгс м/см<sup>2</sup>), т.е. работа, затраченная на ударный излом стандартного образца. Сталь способна противостоять хрупкому разрушению, если ее ударная вязкость при заданной температуре будет не ниже 3 кгс м/см<sup>2</sup>.

С течением времени происходит самопроизвольное изменение физических и механических свойств стали, называемое старением. Старение является либо следствием быстрого охлаждения после нагрева проката, либо наличием пластических деформаций (наклепа). В первом случае старение - термическое, во втором - механическое. При неблагоприятных условиях через несколько дней вследствие старения стали ударная вязкость может снизиться более чем в 2 раза по сравнению с первоначальным значением.

Сравнивая, различные стали в одинаковых условиях, можно сказать, что та из них лучше, которая имеет более высокую ударную вязкость. Однако высокая ударная вязкость не дает гарантии неразрушения стали в конструкции даже если она будет более 3 кгс м/см<sup>2</sup>. Безопасная работа металлических конструкций в основном зависит от правильного конструктивного решения отдельных элементов и качественного их исполнения.

Показателем прочности материала при повторно-переменных нагрузках является предел выносливости (усталости), т.е. наибольшее напряжение, которое может выдержать металл без разрушения при бесконечном числе повторных нагружений. Разрушение от усталости всегда происходит от многократного воздействия переменной нагрузки. Стали, обладающие хорошей пластичностью (например, Ст3), наиболее выносливы. Низколегированные стали, вследствие их повышенной чувствительности к концентрации напряжений, по сравнению со сталью Ст3, не имеют преимуществ.

## **6.2. Элементы химического состава и их влияние на свойства сталей,**

Свойства сталей существенно зависят от примесей и легирующих элементов, входящих в их состав. Кроме углерода, в сталях всегда присутствуют кремний (Si), марганец (Mn), сера (S), фосфор (P).

**Углерод** является основной примесью, от его содержания зависят механические свойства стали. С увеличением содержания углерода (С) увеличивается прочность, твердость, сопротивление деформированию, но уменьшается пластичность.

Верхний предел углерода не должен превышать 0,22 %, нижний не ниже 0,1 %.

**Марганец** благоприятно влияет на стойкость стали к хрупкому разрушению. Содержание его в стали допускается в пределах 0,5...0,8 %. В сталях, предназначенных для сварки, количество марганца по отношению к углероду должно быть в пределах 2,5...3,0.

Чрезмерное повышение марганца (более 1,0%) ухудшает свариваемость стали.

**Кремний** неоднозначно влияет на механические свойства стали. В небольших количествах (0,1...0,2 %) кремний используют в качестве раскислителя, что способствует более однородному распределению элементов в стали и повышению стойкости ее против хрупкого разрушения. Содержание кремния используется для ориентировочной оценки стали по степени ее раскисления:

- спокойная сталь - 0,1...0,25 % Si;
- полуспокойная сталь - 0,05...0,4 % Si;
- кипящая сталь - менее 0,05 % Si.

Увеличение содержания кремния более чем 0,2...0,25 % (Сталь Ст3) оказывает вредное влияние на качество сварного шва, способствует возникновению трещин. Учитывая сказанное, рекомендуемое содержание кремния должно быть в пределах 0,1...0,25 %.

**Сера и фосфор** оказывают отрицательное влияние на свойства стали и сварные соединения. Обычно их содержание составляет до 0,05 %, Фосфор способствует повышению хрупкости стали. Вредное влияние серы появляется в следующем:

- при содержании ее свыше 0,06 % наблюдается красноломкость стали (образование трещин при сварке, термообработке);
- нарушение сплошности стали, повышается склонность к ее хрупкому разрушению (разрушение при отсутствии пластических деформаций).

**Хром, никель, медь**, в углеродистых сталях обычного качества являются случайными элементами, попадающими в сталь по различным причинам. Их содержание не должно превышать 0,3 %.



**Азот** - свыше 0,008 % влияет на свойства стали подобно фосфору, а именно, повышает склонность к хрупкому разрушению.

Машиностроительные конструкционные материалы можно разделить на металлы и неметаллы. (Термин "металл" происходит от греческого слова "металлон", которое в свою очередь родилось из латинского "металлум". В переводе означает "шахта, руда, рудник". Термин "сталь" в переводе с немецкого языка означает "резец".)

В свою очередь, металлы делятся на черные и цветные.

Черные металлы включают стали и чугуны, т.е. сплавы железа (Fe) с углеродом (C) и другими химическими элементами.

### **6.3. Чугуны**

Чугун содержит более 2 % углерода (C). Для повышения прочности чугуны легируют (хромом, никелем, молибденом и другими металлами) и подвергают термической обработке (отжигу, закалке и отпуску). Углерод в чугуне может находиться в химическом соединении с железом или в свободном состоянии - в виде частиц графита: пластинок, зерен, хлопьев или шариков.

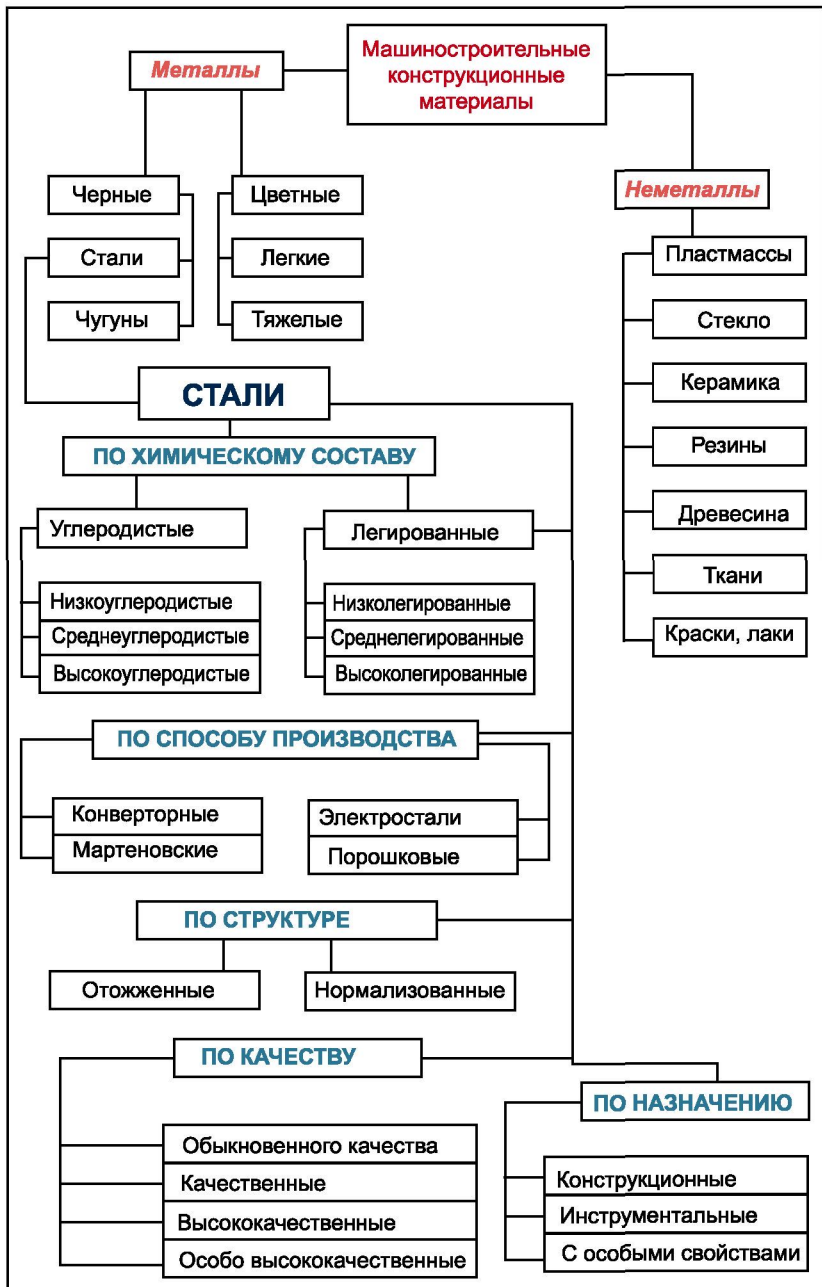
Чугуны бывают:

**Белый** - на изломе матово-белого цвета. Углерод в нем находится в виде цементита (соединение углерода и железа, до 6,67 %). Белый чугун очень твердый и хрупкий, плохо обрабатывается резанием и имеет низкие литейные свойства. Используется чаще всего для переделки в сталь или ковкий чугун.

**Серый** - на изломе серого цвета. Углерод в нем находится, в основном, в форме графита (это чистый углерод в свободном виде). Серый чугун мягче белого чугуна, хрупок, но хорошо обрабатывается резанием. Имеет высокие литейные свойства (станины металлообрабатывающих станков, шкивы, мясорубки и т.п.). Серый чугун подразделяется на:

- серый литейный СЧ10, СЧ15, СЧ20...СЧ40, СЧ45;
- высокопрочный ковкий КЧ-30-6, КЧ-35-10, КЧ-65-3;
- жаростойкий ЖЧХ, ЖЧХ16, ЖЧЮ22;
- жаропрочный ЧН1МШ, ЧН1ХМД
- коррозионностойкий ЧНХТ, ЧН15Д7Х2, ЧН15Д3ХШ;
- антифрикционный.

**Ковкий чугун** - название "Ковкий" условное, т.к. этот чугун практически не куется. Получают его путем отжига белого чугуна. Он обладает повышенной прочностью, вязкостью, но не высокой



пластичностью (ступицы колес, картер заднего моста автомобиля и т.п.). Высокопрочный чугун получают из серого чугуна введением в него в жидком состоянии специальных добавок. Он прочнее серого чугуна и труднее обрабатывается (тормозные колодки, коленчатые валы, шестерни и т.п.).

Чугуны маркируются буквами и цифрами, например: СЧ 15, КЧ 35-10, ВЧ 50-7. Буквы обозначают: СЧ - серый чугун, КЧ - ковкий чугун, ВЧ - высокопрочный чугун; первое число после букв - временное сопротивление ( $\text{МПа} \cdot 10^{-1}$ ), второе - относительное удлинение (%).

## **6.4. Стали**

Сталью называют сплав железа (Fe) с углеродом (до 2% С). По химическому составу сталь разделяют на углеродистую и легированную.

*По качеству стали разделяют на:*

- обыкновенного качества (S до 0,06 %, P до 0,07 %);
- качественные (S до 0,04 %, P до 0,035%);
- высококачественные (S до 0,025%, P до 0,025%);
- особовысококачественные.

*По содержанию углерода стали бывают:*

- 0,6...2,0 % С - высокоуглеродистые;
- 0,25...0,60 % С - среднеуглеродистые;
- менее 0,25 % С - низкоуглеродистые.

*По назначению стали бывают:*

- конструкционные;
- инструментальные;
- специального назначения (с особыми свойствами - электротехнические, жаростойкие, коррозионностойкие и др.).

*По степени раскисления стали бывают:*

- спокойные "СП" - раскислитель Mn, Si, Al;
- полуспокойные "ПС" - раскислитель Mn;
- кипящие "КП" - без раскислителей.

*По структуре стали подразделяются на:*

- перлитные - это углеродистые и низколегированные стали.

**Перлит** - это смесь цементита и феррита при температуре 650 - 670° С.

**Цементит** - это химическое соединение железа и углерода.

**Феррит** - это твердый раствор внедрения углерода в  $\alpha$ -железе.

- мартенситные - это средне- и высоколегированные стали.

**Мартенсит** - это пересыщенный твердый раствор углерода в  $\alpha$ -железе.

- аустенитные - высоколегированные, коррозионные стали.

**Аустенит** - это твердый раствор внедрения углерода в  $\gamma$ -железе.

*Стали перлитного класса:*

- углеродистые - Ст3сп5, 10, 15, 20, 15Л, 20Л, 25Л, 20К, 22К;

- кремнемарганцовистые - 15ГС, 16ГС, 20ГСЛ, 09Г2С;

• легированные - 10ХСНД, 10ХН1М, 16ГНМА, 15ГНМФА, 12МХ, 12ХМ, 15ХМ, 20ХМ, 20ХМА, 10Х2М, 12Х1МФ, 15Х1М1Ф, 10ГН2МФА, 10ГН2ФАЛ, 12Х2МФА, 15Х2МФА, 15Х2МФА-А, 18Х2МФА, 15Х2НМФА, 15Х2НМФА-А, 15Х3НМФА, 15Х3НМФА-А;

• высоколегированные ("высокохромистые") - 08Х13, 05Х12Н2М, 06Х12НЗД, 06Х12НЗДЛ, 08Х14МФ, 1Х12В2МФ, 07Х16Н4Б.

*Стали аустенитного класса:*

• высоколегированные коррозионностойкие - 08Х18Н9, 09Х18Н9, 10Х18Н9, 12Х18Н9, 08Х18Н10, 03Х16Н9М2, 08Х16Н11М3, 10Х18Н12МЗЛ, 10Х18НН9ТЛ, 12Х18Н9Т, 12Х18Н9ТЛ, 06Х18Н10Т, 08Х18Н10Т, 12Х18Н10Т, 08Х18Н12Т, 12Х18Н12Т, 10Х17Н13М2Т, 10Х17Н13М3Т, 10Х18Н12М3ТЛ.

*Стали "железобетонных сплавов":*

- 03Х21Н32МЗБ, ХН35ВТ-ВД, 10Х16Н36М3ТЮБР.

*Конструкционные углеродистые стали обыкновенного качества* маркируются буквами "Ст" и порядковым номером от 0 до 7 в зависимости от химического состава и механических свойств (номер не указывает на содержание углерода),

Пример обозначения: ВКСт 3пс, где

В - сталь обыкновенного качества группы "В",

К - сталь выплавлена кислородно-конверторным способом (если М - мартеновским способом),

"пс" - полуспокойная.

*Конверторную сталь* получают в конверторах - стальных сосудах грушевидной формы. Бессемеровский процесс разработал в 1855-1856 гг. английский изобретатель Генри Бессемер (1813 - 1898), томасовский - в 1878 г. английский металлург Сидни Джилкрист Томас (1850 - 1885).

*Мартеновскую сталь* получают в мартеновских печах. Способ предложил в 1864 г. французский металлург Пьер Мартен (1824 - 1915).

*Электросталь* выплавляют в электропечах. Это наиболее совершенный способ получения стали. Его предложил в 1802 г. русский физик и электротехник В. В. Петров (1761 - 1834).

#### **Примечание:**

По ГОСТ 380-71 сталь углеродистую обыкновенного качества подразделяют на три группы:

**А** - поставляемую по механическим свойствам и применяемую, в основном, тогда, когда изделия из нее не подвергаются горячей обработке (сварка, ковка и др.); которая может изменить регламентируемые механические свойства (Ст0, Ст1 и др.).

**Б** - поставляемую по химическому составу и применяемую для деталей, подвергаемых такой обработке, при которой механические свойства меняются, а уровень их, кроме условий обработки, определяется химическим составом (БСт0, БСт1 и др.).

**В** - поставляемую по механическим свойствам и химическому составу для деталей, подвергаемых сварке (ВСт1, ВСт2 и др.).

*Конструкционные углеродистые качественные стали* имеют меньшее содержание вредных примесей и неметаллических включений.

Пример обозначения: сталь 08КП, сталь 45, сталь 30Г и т.д. Число обозначает содержание углерода в сотых долях процента, буква "Г" указывает на повышенное содержание марганца (Mn).

*Легированные стали* - выплаваются качественными, высококачественными и особовысококачественными. В маркировке последних в конце марки ставится буква А и Ш, соответственно.

Пример маркировки: 16ГНМА, 12Х2МФА, 30ХГСШ и др.

Числа в начале марки обозначают содержание углерода (С)

сотых долях процента, числа после букв указывают на содержание легирующих элементов в процентах, если число отсутствует - содержание элемента до 1 %.

По степени легирования стали подразделяются на:

- низколегированные (легирующих элементов до 2,5 %);
- среднелегированные (легирующих элементов от 2,5 до 10 %);
- высоколегированные (легирующих элементов от 10 до 50 %).

В зависимости от основных легирующих элементов различают стали 14 групп: хромистые, марганцовистые, хромомарганцовистые, марганец-кремнистые, никель-молибденовые и др.

К высоколегированным сталям относятся:

1. *Коррозионностойкие* (нержавеющие) стали и сплавы, обладающие стойкостью против электрохимической и химической коррозии, межкристаллитной коррозии, коррозии под напряжением и др.

2. *Жаростойкие* (окалиностойкие) стали и сплавы, обладающие стойкостью против химического разрушения в газовых средах при температуре выше 50 °С, работающие в ненагруженном и нагруженном состоянии.

3. *Жаропрочные* стали и сплавы, работающие в нагруженном состоянии при высоких температурах в течение определенного времени и обладающие при этом достаточной жаростойкостью.

Легирующие элементы, входящие в состав сталей обозначаются буквами:

<b>Х</b> - хром,	<b>С</b> - кремний,	<b>Т</b> - титан,
<b>Н</b> - никель,	<b>Ф</b> - ванадий,	<b>Ю</b> - алюминий,
<b>М</b> - молибден,	<b>К</b> - кобальт,	<b>Ш</b> - магний,
<b>Д</b> - медь,	<b>Р</b> - бор,	<b>Л</b> - бериллий,
<b>В</b> - вольфрам,	<b>Г</b> - марганец,	<b>Ви</b> - висмут,
<b>Б</b> - ниобий,	<b>П</b> - фосфор,	<b>Ц</b> - цирконий и др.

Выпускаемые отечественной металлургической промышленностью разнообразные конструкционные стали не все могут быть использованы в машинах и механизмах. Нормативными документами для изготовления различных сварных конструкций механизмов и машин рекомендованы такие марки сталей, служебные качества которых наиболее полно удовлетворяли бы требованиям машиностроения, перечисленным выше.

К числу рекомендуемых марок сталей относится сталь СтЗ (ГОСТ 380-71) спокойной и полуспокойной плавок с поставкой

по группе В с обеспечением механических свойств и химического состава.

Служебные свойства сталей ВСтЗсп, ВСтЗпс в толщинах до 10 мм идентичны и подтверждены опытом эксплуатации нагруженных конструкций. Они имеют удовлетворительные показатели по ударной вязкости до температуры  $-40^{\circ}\text{C}$  (порог хладноломкости  $-40\dots-60^{\circ}\text{C}$ ). На этом основании стали рекомендованы в механизмах, эксплуатируемых до температуры  $-40^{\circ}\text{C}$ .

Полуспокойная сталь ВСтЗпс5 в толщинах от 11 до 25 мм имеет более высокий порог хладноломкости по сравнению со спокойной сталью (порог хладноломкости  $-10\dots-30^{\circ}\text{C}$ ). Поэтому ее применение ограничено не только температурой эксплуатации ( $-30^{\circ}\text{C}$ ), но и типом конструкции. Эта сталь рекомендована только для конструкций общего назначения.

Спокойная сталь ВСтЗсп5 в толщинах до 25 мм обладает удовлетворительным показателем ударной вязкости до  $-40^{\circ}\text{C}$  при небольшой чувствительности к старению. В качестве надежного заменителя спокойной стали для ответственных нагруженных конструкций, работающих при температуре до  $-40^{\circ}\text{C}$  рекомендована сталь ВСтЗГсп5 (В18Гпс) по ГОСТ 380-71.

Недопустимо применение в сварных конструкциях кипящей стали ВСтЗкп, которая характеризуется неоднородностью химического состава, крупнозернистым строением. Порог хладноломкости стали лежит в пределах от  $-10$  до  $-30^{\circ}\text{C}$ . Сталь ВСтЗкп может быть применена только в малонагруженных сварных элементах, не участвующих в работе конструкции, таких как настилы, ограждения, лестницы, кожухи, обшивки кабин и т.п. Для клепаных конструкций возможно использование стали ВСтЗкп в ответственных элементах при температуре не ниже  $0^{\circ}\text{C}$ .

Низколегированные стали (09Г2С, 09Г2, 10ХСНД, 15ХСНД, 18Г2АФпс и др.) применяют, главным образом, в конструкциях, предназначенных для эксплуатации при температуре ниже  $-40^{\circ}\text{C}$ . Независимо от температурного режима низколегированные стали используют в конструкциях, испытывающих большие нагрузки (свыше 100 т) при наличии толщин проката свыше 25 мм, а также для экономии металла.

Допускается применение низколегированных сталей (09Г2С, 09Г2, 14Г2) для ремонта сварных конструкций, изготовленных из углеродистой стали обыкновенного качества (Ст3). В то же время

е следует использовать сталь Ст3 для ремонта сварных конструкций, выполненных из низколегированных сталей.

Примечание:

Украина (ГОСТ)	ГДР (TGL)	ЧССР (CSN)	ФРГ (DYN)	США (ASTM)
Ст0	St33	10001,10003	St33	A7-58T
ВСтЗкп	St38u-2	11373,11374	MUSt37-2	-
ВСтЗпс	St38hb-2	-	MRSt37-2	A283-58A
ВСтЗсп	St38b-2	11375,11376, 11377	MRSt37-2	A283-58C
ВСт4сп	St42b-2	11425,11426	MRSt42-2	A283-58D
ВСт5сп	St50	11508	MSt50-2	A94-56
M16C	St38-3	-	MSt37-3	-
10	St35.5	12021	St35.8.II.III	A106A
20	St45.5	12022	St45.8.II.III	A106B
14Г2	14Mn6, St52-3	11523	MSt 52-3	A212-B
16ГС,	10Ni36,	13030	17Mn4	A225-A
17ГС	17Mn4			
09Г2	9Mn6	-	-	-
09Г2С	18Mn5Al	-	14Ni6	-
10Г2С1	12Ni19	-	12Ni19	-
18Г2АФ	20MnVN6	1623	-	-

Маркировку сталей ФРГ производят двумя способами: с помощью цифр и с помощью букв и цифр.

В обозначениях углеродистых сталей обычного качества на первом месте ставят букву, характеризующую способ раскисления: U - кипящая, R - спокойная или полуспокойная, RR - сталь, успокоенная по специальной технологии. На втором месте ставят



буквы St, на третьем месте - двузначное число, соответствующее минимальному пределу прочности в кгс/мм<sup>2</sup>, на четвертом месте - номер группы качества в зависимости от содержания фосфора, серы, углерода. Всего имеется три группы (1, 2, 3). Сталь третьей группы имеет наиболее низкое содержание указанных компонентов. Номер группы качества отделяется от остальных цифр дефисом. Для указания способа выплавки впереди добавляется буква М - мартеновская, У - кислородно-конверторная.

*Например:* MRSt38-2 - мартеновская углеродистая сталь обыкновенного качества, полуспокойная с пределом прочности 38 кгс/мм<sup>2</sup> второй группы качества.

Углеродистые качественные стали обозначают буквой С, а затем содержанием углерода, умноженным на 100.

*Например:* С35 - углеродистая качественная сталь со средним содержанием углерода 0,35 %.

Отличие в обозначении углеродистых улучшенных сталей от качественных заключается в наличии двух букв Ск.

*Например:* Ск35 - углеродистая улучшенная сталь со средним содержанием углерода 0,35 %.

В маркировке низколегированных сталей на первом месте стоит число, указывающее среднее содержание углерода, умноженное на 100, затем обозначение легирующих химических элементов. Причем, указывают только важные легирующие элементы. На последнем месте стоит среднее содержание легирующих элементов, представляющих произведение среднего содержания данного элемента на определенный множитель.

Принцип маркировки в ГДР совпадает с ФРГ. В ГДР существует четыре группы качества (1, 2, 3, 4). Кроме того, способ раскисления указывают после цифр предела прочности: и - кипящая сталь, hb - полуспокойная сталь, b - спокойная.

*Например:* St38hb-2 - углеродистая сталь обычного качества, предел прочности 38 кгс/мм<sup>2</sup>, полуспокойная второй группы качества.

## **6.5. Цветные металлы и сплавы**

В современном машиностроении, приборостроении и энергетике используют почти все цветные металлы и сплавы на их основе. К наиболее распространенным относятся:

### **Сплавы на медной основе.**

- латуни - сплавы меди с цинком;
- бронзы - все другие медные сплавы.

### **6.5.1. Латуни**

По сравнению с чистой медью латуни прочнее, пластичнее и тверже. Кроме того, они жидкотекучи и коррозионностойки. Так как цинк дешевле меди, следовательно, латунь так же дешевле меди. Марки латуни обозначаются буквой Л и числом, указывающим долю меди в сплаве.

*Например:* Л62 - латунь, содержащая около 62 % меди и 38 % цинка.

Латуни могут быть легированы, легирующие элементы обозначаются:

Ц - цинк, Ж - железо, О - олово, А - алюминий и др.  
Ф - фосфор, Мц - марганец, К - кремний,  
Н - никель, С - свинец, Б - бериллий,

*Например:* ЛЖМц59-1-1 - обозначает многокомпонентную специальную латунь, содержащую примерно 59 % меди, 1 % железа, 1 % марганца, остальное цинк.

### **6.5.2. Бронзы**

Бронзы являются сложными многокомпонентными сплавами и бывают:

- оловянистые;
- алюминиевые;
- кремневые;
- свинцовые;
- никелевые;
- бериллиевые и др.

Бронзы маркируются буквами Бр, за которыми следуют буквы словных обозначений компонентов и легирующих элементов, затем числами указывается процентный состав компонентов.

Например: БрАЖМц10-3-1,5 обозначает алюминиевую бронзу, содержащую 10 % алюминия, 3 % железа, 1,5 % марганца, остальное - медь.

Широкое применение находят также медно-никелевые сплавы: мельхиоры, нейзильберы, константаны и др.

*Металлическими сплавами* называют сочетание двух или нескольких металлов и неметаллов, у которых сохраняются металлические свойства. Большинство сплавов получают в жидком состоянии, т.е. сплавлением. Сплавы могут быть получены также спеканием, электролизом, конденсацией из парообразного состояния и другими способами.

Химические элементы и их соединения в составе сплава называют компонентами. К легким сплавам относятся сплавы на основе алюминия, магния и титана.

### 6.5.3. Алюминиевые сплавы

Алюминиевые сплавы чаще всего содержат кремний, медь или магний. Сплавы алюминия с кремнием называют *силуминами*, их обозначают АЛ и цифрой - АЛ-2, АЛ-4 и др.

Алюминий, легированный медью, марганцем, магнием называют *дуралюмином*. Такие сплавы обозначают Д 1.. Д 16.

В качестве жаропрочных применяют ковочные алюминиевые сплавы - они хорошо обрабатываются горячей объемной штамповкой. Такие сплавы обозначают буквами АК и цифрой, например: АК-4, АК-8 и др.

Пластичные, термически не упрочняемые сплавы, например: АМц и АМг содержат марганец и магний.

### 6.5.4. Магниевого сплавы

Магниевого сплавы в качестве легирующих элементов содержат алюминий (до 9,2 %), цинк (до 6 %), марганец (до 2,5 %), а также церий и цирконий.

К эксплуатационным и технологическим преимуществам магниевых сплавов относятся малая плотность, химическая стойкость к щелочам, бензину, и хорошая обрабатываемость режущим инструментом.

Магниевого сплавы маркируются МА и цифрой, например: МА1...МА3 и др.

### 6.5.5. Титановые сплавы.

Титановые сплавы в качестве легирующих элементов содержат алюминий (Al), хром (Cr), молибден (Mo), ванадий (V), олово (Sn).

Окисление и насыщение титановых сплавов водородом, кислородом и азотом снижают их пластичность. У титановых сплавов с повышением температуры резко возрастает химическая активность к газовым и металлическим примесям.

Титановые сплавы маркируют буквами ВТ и цифрой, например: ВТ1, ВТ3, ВТ8, ВТ14, ВТ15 и др.

К преимуществам титановых сплавов относят небольшую плотность, высокую прочность, коррозионную стойкость и жаропрочность.

## 6.6. Неметаллы

К неметаллам, применяемым в промышленности, относятся:

- пластмассы;
- стекло;
- керамика;
- резины;
- древесина;
- ткани;
- краски и лаки и др.

### 6.6.1. Пластические массы

Пластические массы получают на основе высокомолекулярных соединений - полимеров. Их разделяют на два класса:

- термопласты;
- реактопласты.

Термопласты при нагревании расплавляются, а при охлаждении возвращаются в исходное состояние.

Реактопласты (термореактивные пластмассы) отличаются более высокими рабочими температурами, но при нагреве разрушаются и при последующем охлаждении не восстанавливают своих исходных свойств. Основные механические характеристики пластмасс те же, что и для металлов.

К достоинствам пластмасс относятся:

- хорошие теплоизоляционные и диэлектрические свойства;
- оптическая и радиопрозрачность;
- упругость и эластичность;
- коррозионная стойкость;
- легкая формоизменяемость;
- устойчивость к атмосферным воздействиям и др.

Однако пластмассы, как конструкционные материалы, обладают рядом недостатков:

- низкая теплостойкость;
- склонность к старению (изменение состава и структуры макромолекул при окислении, облучении и т. п.).

Источником для производства пластмасс служит природный газ, продукты нефти, уголь, ацетилен, древесина и др.

Изделия из пластмасс получают прессованием, литьем под давлением, штамповкой листовых пластмасс и другими способами.

**Прессование** - наиболее широко распространенный способ получения изделий из терморезистивных пластмасс в прессформах, предварительно нагретых до 130.....150 °С. В качестве основного оборудования для прессования используют гидравлические и механические прессы.

Пластмассы легко поддаются обработке на металлорежущих станках.

### **6.6.2. Керамика**

**Керамика** - это поликристаллические материалы, получаемые спеканием природных глин и их смесей с минеральными добавками, а также окислов металлов и других тугоплавких соединений.

### **6.6.3. Ситаллы**

**Ситаллы** - это неорганические материалы, получаемые путем направленной кристаллизации стекла. Эти материалы обладают высокими диэлектрическими свойствами, стойкостью в химически активных средах, высокими механическими свойствами.

Механическую обработку керамики и ситаллов производят шлифованием, инструментом из синтетических и природных алмазов. Детали из керамики и ситаллов соединяются друг с другом и другими материалами с помощью стеклокристаллического цемента.

#### **6.6.4. Резина**

Резина как конструкционный материал отличается высокими пластичными свойствами в широком диапазоне температур и частой деформации. Кроме того, резины обладают высоким сопротивлением разрыву, износу, газо- и водонепроницаемостью, химической и радиационной стойкостью и др.

По назначению различают резины:

- мягкие;
- жесткие (эбонитовые);
- пористые и губчатые;
- пастообразные для герметизации и уплотнений.

Основой всех резин являются каучуки.

#### **6.6.5. Композиционные материалы**

Композиционные материалы - это материалы, образованные объемным сочетанием разнородных компонентов с четкой границей раздела между ними. В композиционных материалах сочетаются лучшие свойства различных составляющих фаз:

- прочность;
- пластичность;
- износостойкость и т. п.

Детали из композиционных материалов изготавливают прессованием, прокаткой, вибрационным уплотнением и т. д. последующим спеканием в защитной среде.

*К композиционным материалам относятся:*

- волокна бора на алюминиевой связке;
- углеродное волокно на алюминиевой связке;
- волокно карбида кремния на титановой связке;
- вольфрам на никелевой связке;
- волокно молибдена на никелевой связке и др.

#### **6.7. Материалы для изготовления электродов для дуговой сварки**

Для получения качественного сварного шва необходимо использовать электроды, предназначенные для сварки данной марки стали.

**Неплавящиеся электродные стержни** изготавливают из вольфрама, электротехнического угля или синтетического графита. Угольные и графитовые электроды изготавливают диаметром от 4 до 18 мм длиной 250...700 мм. Графитовые электроды имеют лучшую электропроводность и более стойки против окисления при высоких температурах, чем угольные электроды.

Для автоматической и полуавтоматической сварки электродом служит калиброванная проволока диаметром от 0,3 до 12 мм, так называемая сварочная или электродная проволока. В настоящее время находят также применение порошковая (трубчатая с наполнителем) проволока, голая легированная проволока, электродная лента и пластины.

**Плавящиеся электроды** изготавливают из сварочной проволоки, которую согласно ГОСТ 2246-75 разделяют на углеродистую, легированную и высоколегированную.

Всего в ГОСТ включено 77 марок проволоки.

Обозначение проволоки включает сочетание букв и цифр. Первые две цифры указывают на содержание в проволоке углерода в сотых долях процента. Затем буквой и цифрой (цифрами) поочередно указываются наименование и содержание в процентах легирующих элементов. При содержании легирующего элемента в проволоке менее 1 % ставится только буква этого элемента. Буква А в конце марки стали свидетельствует о том, что она высококачественная и в ней находится минимальное количество серы и фосфора. Обозначение сварочной проволоки состоит из букв Св (сварочная) и буквенно-цифрового обозначения ее состава.

*Например:* Св-08Г2С по ГОСТ 2246-75 - сварочная проволока из низкоуглеродистой кремнемарганцевой стали, содержащей 1,4...1,8 % Mn и 0,6...0,85 % Si.

Проволока для изготовления электродов для сварки алюминия и его сплавов маркируется: А0, А1, АД, АД1, АМц, АМг и т. д., где цифра показывает общее количество примесей (ГОСТ 7871-75). Выпускается также стальная наплавочная проволока по ГОСТ 10543-75.

Для сварки меди и ее сплавов применяют электроды со стержнями из медной проволоки М1 и М2, бронзы БрКМц3-1 и др. Медь маркируют буквой М, бронзы - буквами Бр.

Электроды для сварки углеродистых и легированных конструкционных сталей, а также электроды для сварки легированных теплоустойчивых сталей классифицируются по ГОСТ 9467-75. Этим стандартом предусмотрено 8 типов электродов для сварки низкоуглеродистых, среднеуглеродистых и низколегированных сталей (Э34, Э42, Э42А, Э46, Э46А, Э50, Э50А и Э55), 7 типов электродов для легированных сталей повышенной прочности (Э60, Э60А, Э70, Э85, Э100, Э125, Э145) и 7 типов электродов для сварки теплоустойчивых сталей (Э-М, Э-МХ, Э-ХМ, Э-ХМФ, Э-ХМФБ, Э-Х2МФБ и Э-Х5МФ).

Электроды для сварки углеродистых и легированных конструкционных сталей обозначают по марке и типу электрода, диаметру стержня, по типу покрытия и ГОСТу.

*Например:* условное обозначение электрода  
ЦМ7-Э42-5,0-Р по ГОСТ 9467-75.

**ЦМ** - марка электрода;

**Э42** - тип электрода (Э - электрод для дуговой сварки; 42 - минимальное гарантируемое временное сопротивление металла шва в  $\text{кГ/мм}^2$  при растяжении);

**5,0** - диаметр электродного стержня в мм;

**Р** - рудно-кислотный тип покрытия (Ф - фтористо-кальциевое, Т - рутиловое, О - органическое).

Электроды для сварки теплоустойчивых сталей классифицируются по механическим свойствам металла шва и по химическому составу наплавленного металла в процентах. Буквы, стоящие после буквы Э, указывают на наличие легирующих элементов в наплавленном металле, а цифры - их содержание в процентах (если оно превышает 1 %).

При содержании легирующего элемента менее 1 % ставится только соответствующая буква.

Например: при использовании электродов типа Э-Х2МФБ в наплавленном металле шва гарантируется содержание более 2 % хрома, до 1 % молибдена, ванадия и ниобия.

Электроды для сварки высоколегированных сталей с особыми свойствами классифицируются ГОСТ 10052-75 по химическому составу наплавленного металла, содержанию ферритной фазы, стойкости сварного соединения против межкристаллитной коррозии и механическим свойствам наплавленного металла, испытанного при 20 °С. Этот стандарт предусматривает 27 типов



электродов. Буква А, стоящая после буквы Э, обозначает аустенитные, а буква Ф - ферритные электроды. Буквы, стоящие после тире, обозначают название элементов, по которым гарантировано содержание этих элементов в наплавленном металле шва.

Электроды для дуговой наплавки регламентируются ГОСТ 10051-75 (25 типов электродов, которые характеризуются химическим составом наплавленного металла и его твердостью).

Электроды для сварки чугуна характеризуются по применяемому стержню электрода.

Стержень электрода может быть изготовлен из чугунных прутков, стальной сварочной проволоки, медной проволоки и ее сплавов, а также из некоторых проволок легированных сталей. В основном для сварки чугуна применяются электроды следующих марок: ОМЧ-1, МНЧ-1, ОЗЧ-1, ЦЧ-4 и ЦЧ, ЗА, АНЧ-1.

Для каждого цветного металла, который поддается электродуговой сварке, разработаны специальные электроды.

*Например:*

Алюминий и его сплавы свариваются электродами ОЗА-1, АФ-4аКр, А2, ОЗФ-2 и др.

Медь и ее сплавы свариваются электродами комсомолец-100, МН-5, АНМц, ЛКЗ-АБ и др.

Никель и его сплавы свариваются электродами МЗОК, ХН-1 и др.

В зависимости от металла основной металлоконструкции и условий ее эксплуатации выбирают электроды следующих типов:

Конструкции	Электрод марки при температуре эксплуатации	
	-40 °С	-65 °С
Несущие из сталей: углеродистых горячекатанных	<b>Тип Э42А-Ф</b>	
	УОНИИ-13/45, СМ-11, ОЗС-2, УП-1/45, УП-2/45	СМ-11, УП-1/45, УП-2/45
	<b>Тип Э46Т</b>	<b>Тип Э46А</b>
	АНО-3, АНО-4, ОЗС-3, ОЗС-4, МР-3	АНО-7, АНО-9

низколегированных горячекатанных	Тип Э50А-Ф	
	УОНИИ-13/55, ДСК-50, УП-1/55	УОНИИ-13/55, УП-1/55, УП-2/55
нормализованных и термоупрочненных	Тип 60А-Ф	
	УОНИИ-13/65	УОНИИ-13/65
вспомогательные из сталей углеродистых горячекатанных	Тип Э42-Т	Тип Э42А-Ф
	АНО-1, АНО-5, АНО-6	УОНИИ-13/45, СМ-11, ОЗС-2
	Тип Э46-Т	Тип Э50А-Ф
	АНО-3, АНО-4, ОЗС-4, МР-3	УОНИИ-13/55, УП-2/55

*Примечание:* вспомогательные элементы приваривают к несущим конструкциям электродами, применяемыми для сварки несущих конструкций.

## **6.8. Окисление металлов и борьба с коррозией**

В процессе эксплуатации на металлы действуют кислород, углекислый и сернистый газы, пыль и грязь, водяные пары, растворы щелочей, кислот, солей и др., в результате чего металлы разрушаются (подвергаются коррозии). С повышением температуры окружающей среды увеличивается скорость коррозии.

Основными видами коррозии являются:

- поверхностная;
- межкристаллитная;
- местная.

### **6.8.1. Поверхностная коррозия**

Поверхностная коррозия (рис. 54, а) характеризуется равномерным разрушением металла по всей поверхности и определяется толщиной слоя (в мм), разрушаемого в течение года. По этому виду коррозии все металлы разбиты на шесть групп

(ГОСТ 5272-75). Разрушение в зависимости от группы достигает от 0,001 до 10 мм.

### **6.8.2. Межкристаллитная коррозия**

Межкристаллитная коррозия (рис. 54, б) характеризуется тем, что коррозия не видна на поверхности. Поверхность на глаз может быть чистой; разрушение, проникая внутрь металла, происходит по границам зерен. Этот вид коррозии наиболее опасен, так как нарушает связь между зёрнами, вследствие чего металл теряет прочность и может полностью разрушиться.

### **6.8.3. Местная коррозия**

Местная коррозия (рис. 54, в) характеризуется разрушениями металла в отдельных местах поверхности детали. Местная коррозия может быть вызвана различными причинами, например разрушением защитного слоя, неоднородной консервацией поверхности, неудовлетворительно подготовленной поверхностью под нанесение защитного слоя, царапинами, плохим обезжириванием и др. Местная коррозия - наиболее встречающийся вид коррозии.

### **6.8.4. Защита от коррозии (покрытия)**

Коррозия наносит огромные убытки народному хозяйству. Из-за нее ежегодно теряется около 2 % общего количества выпускаемого металла.

Больше других коррозии подвергаются черные металлы. От коррозии их покрывают защитным слоем краски или металла (хромируют, никелируют, лудят и т. д.), эмали, смазывают, а также вводят в сплав легирующие элементы, повышающие сопротивление коррозии (сплав железа с никелем, хромом, медью и др.). Так получают нержавеющие стали.

Основными видами защитных покрытий являются:

- металлические;
- химические;
- неметаллические.

**К металлическим покрытиям** относятся цинковые, свинцовые, алюминиевые и др. Нанесение этих металлов, как защитных слоев

от коррозии, производится горячим способом, путем погружения в расплавленный металл.

Защитными и одновременно декоративными являются никелевые, хромовые, многослойные из меди-никеля-хрома, серебряные, золотые покрытия. Нанесение этих металлов, в основном, производится гальваническим методом, основанным на электролизе водных растворов солей металла, предназначенного для покрытия. Защищаемый металл помещают в ванну в качестве катода, а анодом является металл, предназначенный для покрытия.

Одним из методов покрытия является металлизация (набрызгивание) расплавленным металлом, который распыляется сжатым воздухом.

**Химические защитные покрытия** образуются в виде различных прочных пленок при химической или электрохимической обработке металла различными растворами. Наиболее распространенным является оксидирование, при котором происходит образование оксидных пленок. Детали помещают в ванну с раствором едкого (NaOH) и азотнокислого (NaNO<sub>2</sub>) натрия, который нагревают до кипения.

Оксидирование имеет невысокую коррозионную стойкость и требует дополнительного покрытия смазками. Фосфатирование - это покрытие металла пленкой фосфорнокислых соединений марганца и железа. Для закрепления пленки деталь дополнительно помещают в расплавленную смазку или поверхность покрывают лаком.

В настоящее время также широко применяются такие методы покрытия, как пассивирование, анодирование и электрохимическое оксидирование.

**К неметаллическим покрытиям** относятся различные лакокрасочные покрытия, эмали, смазки, которые наносятся на предварительно обезжиренные поверхности металла.

### 6.8.5. Контроль покрытий

Контроль покрытий **внешним осмотром** должен проводиться при дневном свете или при лампах с матовыми стеклами на расстоянии 45...50 см во избежание световых бликов, мешающих контролю.

Детали не должны иметь наростов, трещин, забоин, царапин, рисок, пузырей, отслоений, шелушения, непокрытых участков, шероховатостей в виде губчатых осадков. Отслаивание не должно

происходить при нанесении твердым острием пересекающихся рисок, зашлифовании детали с торца напильником, изгибе детали до излома, наматывании проволоки вокруг стержня того же диаметра.

При цинковании, кадмировании, лужении и никелировании недопустимы такие дефекты, как пятнистый и полосатый осадок, пористость, шелушение и отслаивание, крупные риски. К допустимым недостаткам относятся неравномерный цвет, следы подтеков воды, отдельные точки от контакта деталей с подвесками, незначительные риски, которые могут исчезнуть при полировании.

При многослойном покрытии также недопустимы искажения размеров и конфигурации деталей в виде заваливания углов, фасок, формы отверстий и т. п.

При хромировании не допускаются отклонения по цвету и блеску, непрочность сцепления с основным металлом и хрупкость покрытия.

**Химические методы контроля** включают в себя метод струи, метод капли, метод снятия.

Сущность первых двух методов контроля заключается в том, что участок покрытия растворяют специальным раствором (в виде струи или капли).

При контроле методом снятия толщину покрытия определяют по разности массы детали до и после снятия покрытия.

Также толщину покрытия контролируют **магнитным контролем** (по изменению магнитного потока, являющегося функцией толщины покрытия или по измерению величины тока при отрыве электромагнита от поверхности детали и др.), **ультразвуковыми методами** и т. д.

Качество покрытий обеспечивается соблюдением технологического процесса и зависит, главным образом, от состояния поверхности детали, правильности загрузки деталей в гальванические ванны, конструкции подвесов, от времени выдержки деталей в ванне и режима ванн, состава электролита, который периодически (не реже двух раз в месяц) должен контролироваться химической лабораторией.

## **7. Дефекты и причины их возникновения в различных соединениях конструкций, механизмов и машин**

### **7.1. Виды дефектов и повреждений**

**Дефект** - недопустимое отклонение от требований нормативной документации.

**✓ Явный дефект** - это дефект, для выявления которого в нормативной документации, обязательной для данного вида контроля предусмотрены соответствующие правила, методы и средства.

**Скрытый дефект** - это дефект, для выявления которого в нормативной документации, обязательной для данного вида контроля не предусмотрены соответствующие правила, методы и средства.

По своей значимости дефекты подразделяются на:

**Критический** - дефект, при наличии которого использование продукции по назначению практически невозможно или недопустимо.

**Значительный** - дефект, который существенно влияет на использование продукции по назначению и на ее долговечность, но не является критическим.

**Малозначительный** - дефект, который существенно не влияет на использование продукции по назначению и на ее долговечность.

**✓ Брак** - это продукция, передача которой потребителю из-за наличия дефектов не допускается.

*Примечание:*

С позиции экономической рентабельности и возможности устранения (ремонтпригодности) различают устранимые и неустраиваемые дефекты.

Рассмотрим дефекты и причины их образования в некоторых соединениях, которые наиболее применяются при изготовлении различных механизмов и машин.

## **7.2. Дефекты и причины их образования в болтовых соединениях**

Одним из основных видов повреждения металлоконструкций, возникающем при работе различных механизмов и машин является разработка и ослабление болтовых соединений.

При ослаблении зажатия болтового соединения нагрузка передается на само соединение (что сопровождается толчками и ударами).

Этот вид неисправности представляет опасность для прочности, как самих болтовых соединений, так и конструкции в целом.

Ослабление болтовых соединений возникает, как правило, из-за несвоевременного подтягивания гаек.

В процессе эксплуатации болтовые соединения подвергаются два раза в год отстукиванию контрольным молотком (0,4...0,5 кг), а затем контролируют натяжением гаек динамометрическими ключами (в случае необходимости производят дозатяжку соединения).

## **7.3. Дефекты и причины их образования в клепаных соединениях**

Дефектами заклепочного соединения являются:

- ржавые потеки, выступающие из-под заклепок;
- неплотное прилегание элементов;
- шелушение краски и др.

В заклепочных соединениях на пути распространения трещины в большинстве случаев имеется препятствие в виде соседних заклепочных отверстий. В работающей на растяжение полосе с заклепочными отверстиями трещины будут выходить из одних отверстий и распространяться к другим только из-за концентрации напряжений у отверстия. Если трещина дошла до отверстия, то для дальнейшего ее распространения должна образоваться трещина на стенках отверстия. Но концентрация напряжений в гладкопросверленном отверстии меньше, чем в трещине, поэтому дальнейшее ее продвижение будет временно приостановлено.

Ослабление заклепок обнаруживают отстукиванием контрольным молотком (0,4...0,5 кг). Заклепки с дефектом при ударе издают глухой дребезжащий звук.

Заклепки с дефектом подлежат замене.

#### **7.4. Дефекты и причины их образования в сварных соединениях**

В сварных конструкциях дефекты могут возникнуть при изготовлении. Вызваны они технологическими особенностями сварки и конструктивными недостатками. Особую опасность для конструкции представляют трещины в самом шве или околошовной зоне, которые склонны беспрепятственно распространяться на основной металл, поражая все сечение. Причем, распространение трещины часто происходит с мгновенной скоростью.

**Несплошность** - обобщенное название трещин, отслоений, прожогов, свищей, пор, непроваров и включений.

**Трещина** - дефект сварного соединения в виде разрыва металла в сварном шве и (или) прилегающих к нему зонах сварного соединения и основного металла.

**Продольная трещина** - трещина сварного соединения, ориентированная вдоль оси сварного шва (рис. 55).

**Поперечная трещина** - трещина сварного соединения, ориентированная поперек оси сварного шва (рис. 56).

**Разветвленная трещина** - трещина сварного соединения, имеющая ответвления в различных направлениях или группа соединенных трещин, отходящих от одной общей трещины (рис. 57).

**Радиальная трещина** - несколько трещин разного направления, исходящих из одной точки (могут располагаться в металле сварного шва, в зоне термического влияния, в основном металле) (рис. 58).

*Примечание:* маленькие трещины этого типа известны, как звездообразные трещины.

**Трещина в кратере** - трещина (продольная, поперечная, разветвленная) в кратере валика (слоя) сварного шва (рис. 59).

**Кратер** (усадочная раковина сварного шва) - дефект в виде полости или впадины, образовавшейся при усадке расплавленного металла при затвердевании (располагается, как правило, в местах обрыва дуги или окончания сварки) (рис. 60).



**Включение** - полость в металле, заполненная газом, шлаком или инородным металлом (обобщенное наименование пор, шлаковых и вольфрамовых включений).

**Расслоение (отслоение)** металла - дефект в виде нарушения сплошности давления наплавленного металла с основным металлом (рис. 61).

**Максимальный размер одиночного включения (а)** - наибольшее расстояние между двумя точками внешнего контура включения (рис. 62).

**Максимальная ширина включения (b)** - наибольшее расстояние между двумя точками внешнего контура включения, измеренное в направлении, перпендикулярном наибольшему размеру включения (рис. 62).

**Включение одиночное** - минимальное расстояние  $l$ , от края которого до края любого другого соседнего включения - не менее максимальной ширины (b) каждого из рассматриваемых включений, но не менее трехкратного максимального размера (а) включения с меньшим значением этого показателя (из двух рассматриваемых) (рис. 63).

**Скопление** - два или несколько включений (пор, шлаковых и вольфрамовых включений) с наибольшим размером (а) более 0,2 мм, минимальное расстояние между краями которых меньше установленного для одиночных включений, но не менее максимальной ширины (b) каждого из двух рассматриваемых любых соседних включений (рис. 64).

$$\begin{aligned} 3b_1 > l_{1-2} \geq b_1 \text{ (при } b_1 > b_2) \text{ или } 3b_2 > l_{1-2} \geq b_2 \text{ (при } b_2 > b_1); \\ 3b_2 > l_{2-3} \geq b_2 \text{ (при } b_2 > b_3) \text{ или } 3b_3 > l_{2-3} \geq b_3 \text{ (при } b_3 > b_2); \\ 3b_1 > l_{1-3} \geq b_1 \text{ (при } b_1 > b_3) \text{ или } 3b_3 > l_{1-3} \geq b_3 \text{ (при } b_3 > b_1); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} l_{1-2} < 3a_1 \text{ (при } a_1 < a_2) \text{ или } l_{1-2} < 3a_2 \text{ (при } a_2 < a_1); \\ l_{1-3} < 3a_3 \text{ (при } a_3 < a_1) \text{ или } l_{1-3} < 3a_1 \text{ (при } a_1 < a_3); \\ l_{2-3} < 3a_2 \text{ (при } a_2 < a_3) \text{ или } l_{2-3} < 3a_3 \text{ (при } a_3 < a_2); \end{aligned}$$

**Внешний контур скопления** - контур, ограниченный внешними краями включений, входящих в скопление, и касательными линиями, соединяющими указанные края (рис. 65)

**Максимальный размер скопления (А)** - наибольшее расстояние между двумя соседними точками внешнего контура (рис. 65).

**Максимальная ширина скопления (В)** - наибольшее расстояние между двумя точками внешнего контура скопления, измеренное в направлении, перпендикулярном максимальному размеру скопления (рис. 65).

**Скопление одиночное** - скопление, минимальное расстояние (L) от внешнего контура которого до внешнего контура любого другого соседнего скопления или включения не менее трехкратной максимальной ширины (В) каждого из двух рассматриваемых скоплений (или скопления и включения), но не менее трехкратного максимального размера скопления (А) (включения) с меньшим значением этого показателя (из двух рассматриваемых) (рис. 66).

$$L_1 \geq 3B_1 \text{ (при } B_1 > B_2);$$

$$L_1 \geq 3A_2 \text{ (при } A_2 < A_1);$$

$$L_2 \geq 3B_1 \text{ (при } B_1 > b);$$

$$L_2 \geq 3a \text{ (при } a < A_1);$$

$$L_3 \geq 3B_2 \text{ (при } B_2 > b);$$

$$L_3 \geq 3a \text{ (при } a < A_2);$$

**Группа включений** - два или несколько включений, минимальное расстояние между краями которых менее максимальной ширины (b) хотя бы одного из двух рассматриваемых соседних включений; при этом, внешний контур рассматриваемой группы включений ограничивается внешними краями включений, входящих в рассматриваемую группу, и касательными линиями, соединяющими указанные края (рис. 67).

$$l_{1-2} < b_1 \text{ (при } b_1 > b_2) \text{ или } l_{1-2} < b_2 \text{ (при } b_2 > b_1);$$

$$l_{1-3} < b_1 \text{ (при } b_1 > b_3) \text{ или } l_{1-3} < b_3 \text{ (при } b_3 > b_1);$$

$$l_{2-3} < b_2 \text{ (при } b_2 > b_3);$$

$$l_{2-3} < b_3 \text{ (при } b_3 > b_2).$$

**Недопустимые скопления и включения** - одиночные включения (скопления), превышающие установленные нормы по размерам, количеству или суммарной приведенной площади, а также все неодионые включения (скопления), т.е включения (скопления), минимальные расстояния между которыми меньше, чем у одиночных включений (у одиночных скоплений).

**Свищ в сварном шве** - дефект в виде воронкообразного или трубчатого углубления в сварном шве (рис. 68).

**Подрез** - острые углубления на границе поверхности сварного шва с основным металлом или на границе поверхностей двух соседних валиков (рис. 69).

**Брызги металла** - дефект в виде затвердевших капель расплавленного металла на поверхности сваренных или наплавленных деталей с образованием или без образования кристаллической связи с основным металлом.

**Несплавление** - отсутствие сплавления между металлом сварного шва и основным металлом или между отдельными валиками шва (рис. 70).

**Непровар** - дефект в виде несплавления в сварном соединении вследствие неполного расплавления кромок основного металла или поверхностей ранее выполненных валиков сварного шва (рис. 71).

**Углубление между валиками шва** - продольная впадина между двумя соседними валиками (слоями) шва (оценивается по максимальной глубине) (рис. 72).

**Чешуйчатость сварного шва** - поперечные или округлые (при автоматической сварке под флюсом удлинено-округлые) углубления на поверхности валика, образовавшиеся вследствие неравномерности затвердевания металла сварной ванны (оценивается по максимальной глубине) (рис. 73).

**Выпуклость корня шва** (превышение проплавления) - часть одностороннего сварного шва со стороны его корня, выступающая над уровнем расположения поверхностей сваренных деталей (оценивается по максимальной высоте расположения поверхности корня шва над указанным уровнем) (рис. 74).

**Вогнутость корня шва** - дефект в виде углубления на поверхности сварного соединения с односторонним швом в месте расположения его корня (оценивается по максимальной глубине расположения поверхности корня шва от уровня расположения поверхностей сваренных деталей) (рис. 75).

**Цепочка пор.** Линейная пористость - группа пор в сварном шве, расположенная в линию параллельно оси сварного шва (рис. 76).

**Превышение усиления сварного шва** - избыток наплавленного металла на лицевой стороне (сторонах) стыкового шва (рис. 77).

**Превышение выпуклости углового шва** - избыток направленного металла на лицевой стороне углового шва (оценивается по максимальной высоте) (рис. 78).

**Неправильный профиль сварного шва** - слишком малый угол ( $\alpha$ ) между поверхностью основного металла и плоскостью касательной к поверхности сварного шва (рис. 79).

**Наплыв (натек)** в сварном соединении - дефект в виде металла, натекшего в процессе сварки (наплавки) на поверхность сваренных (наплавленных) деталей или ранее выполненных валиков и не сплавившегося с ними (рис. 80).

**Перелом осей деталей.** Угловое смещение - смещение между двумя свариваемыми деталями, при котором их плоские поверхности не параллельны (или не направлены под определенным углом) (рис. 81).

**Протек** - стекание металла вследствие действия силы тяжести (рис. 82).

**Не полностью заполненная разделка кромок** - продольная непрерывная или прерывистая вогнутость на поверхности сварного шва из-за недостаточности присадочного материала (рис. 83).

**Асимметрия углового шва** - несоответствие фактического значения катета шва проектному значению (рис. 84).

**Плохое возобновление шва** - местная неровность поверхности в месте возобновления сварки (рис. 85).

**Прожег сварного шва** - дефект в виде сквозного отверстия в сварном шве, образовавшийся вследствие вытекания части жидкого металла сварочной ванны в процессе выполнения сварки.

## **8. Методика проведения визуально-оптического и измерительного контроля разъемных и неразъемных соединений и основного металла объектов контроля**

### **8.1. Общие положения**

**Визуальный и измерительный контроль болтовых соединений** проводится с целью выявления трещин, наличия коррозионных повреждений, разработки и ослабления затяжки гаек, зазоров в соответствии с требованиями нормативной документации. На резьбе не должно быть сорванных ниток, забоин.

**Визуальный и измерительный контроль заклепочного соединения** проводится с целью выявления ржавых потеков, выступающих из-под заклепок, неплотного прилегания элементов, трещин, шелушения краски, ослабления заклепок (согласно требованиям нормативной документации).

**Визуальный контроль основных материалов на стадии входного контроля соединений** проводится с целью выявления плен, рванин, закатов, трещин (согласно требованиям нормативной документации).

**Измерительный контроль основных материалов на стадии входного контроля соединений** проводится с целью проверки соответствия их геометрических размеров (сортамента) требованиям нормативной документации, допустимости размеров, выявленных при визуальном контроле, поверхностных забоин, раковин, шлаковых включений и других несплошностей нормам стандартов или ТУ.

**Визуальный контроль сварных соединений** проводится с целью выявления поверхностных трещин, непроваров, отслоений, прожогов, свищей, наплывов, усадочных раковин и брызг металла, недопустимых подрезов, поверхностных включений и скоплений.

**Измерительный контроль деталей и сборочных единиц** производится с целью проверки соответствия их геометрических размеров, а также допустимости размеров, выявленных при визуальном контроле поверхностных несплошностей требованиям нормативной документации.

**Измерительный контроль деталей, подготовленных под сварку (наплавку)**, проводится с целью проверки соответствия форм и

размеров конструктивных элементов, подготовленных под сварку (наплавку) кромок и поверхностей требованиям нормативной документации.

**Измерительный контроль выполненных сварных соединений (наплавки)** проводится с целью проверки соответствия размеров, расположения и количества, выявленных при визуальном контроле поверхностных включений и скоплений, а также размеров подрезов, углублений между валиками и чешуйчатости их поверхности, ширины и выпуклости (вогнутости) поверхности шва, выпуклости и вогнутости корня шва, смещения кромок сваренных деталей, минимального расстояния от края выпуклости шва до зоны сплавленных предварительной наплавкой с основным металлом, толщины первого слоя и общей толщины, наплавленного антикоррозионного покрытия и других наплавки, а также геометрического положения осей или поверхностей сваренных деталей требованиям нормативной документации.

**Объем контроля соединений и основных материалов** устанавливается производственно-контрольной документацией (ПДК) и конструкторской документацией (КД).

Размеры зон, в пределах которых следует производить визуальный контроль сварных соединений, должны соответствовать установленным нормативной документацией. Контролируемая зона должна включать весь объем металла шва, а также примыкающие к нему участки основного металла, в обе стороны от шва:

а) для стыковых сварных соединений, выполненных дуговой сваркой шириной не менее 5 мм - при номинальной толщине свариваемых деталей 5 мм включительно; не менее номинальной толщины свариваемых деталей - при номинальной толщине свариваемых деталей свыше 5 мм до 20 мм включительно; не менее 20 мм при номинальной толщине свариваемых деталей свыше 20 мм;

б) для угловых, тавровых, торцевых сварных соединений и вварки труб в трубные доски, выполненные дуговой или электронно-лучевой сваркой шириной не менее 3 мм (независимо от толщины детали);

в) для сварных соединений, выполненных электрошлаковой сваркой шириной 50 мм (независимо от толщины детали).

В сварных соединениях различной номинальной толщины ширина контролируемых участков основного металла определяется отдельно для каждой из свариваемых деталей в зависимости от их номинальной толщины.

Ширина зоны контроля наплавки должна составлять  $l + 20$  мм, где  $l$  - ширина наплавки.

Поверхности сварных соединений и околошовной зоны, подлежащих контролю, перед его проведением должны быть очищены от шлака, брызг металла, окалины, продуктов коррозии и других загрязнений, препятствующих проведению контроля (на контролируемой поверхности допускается наличие цветов побежалости) до чистого металла, не менее 20 мм в каждую сторону от шва при всех видах дуговой и газовой сварки и не менее 100 мм при электрошлаковой сварке.

Все измерения должны проводиться после визуального контроля, либо параллельно с ним. Измерение деталей, подготовленных под сварку, следует проводить до их сборки.

При доступности основных материалов и сварных соединений для визуального контроля с двух сторон, контроль следует проводить как с наружной, так и с внутренней стороны.

Визуальный контроль основных материалов и сварных соединений (наплавки), подлежащих термической обработке, производится как до, так и после указанной обработки.

Если основным материал или сварное соединение (наплавка) подлежат механической обработке (в том числе с удалением части шва или наплавки) или деформированию, визуальный контроль должен быть проведен после выполнения указанных операций.

Измерительный контроль гнутых колен труб предусматривает проверку:

- отклонение от круглой формы (овальность) в любом сечении гнутых труб (колен);
- толщины стенки в растянутой части гнутого участка трубы (колена);
- радиуса гнутого участка трубы (колена);
- высоты волнистости (гофры) на внутреннем обводе гнутой трубы (колена);
- неровностей (плавных) на внешнем обводе (в случаях установленных НТД);
- предельные отклонения габаритных размеров.

Выявленные при визуальном и измерительном контроле дефекты должны быть исправлены до проведения контроля другими методами.

Исправление дефектов на одном и том же участке сварного соединения или наплавленной детали допускается проводить не

более трех раз, в ГПМ - двух раз. При этом под исправляемым участком понимается прямоугольник наименьшей площади, в контур которого вписывается подлежащая заварке выборка (рис. 86) и примыкающие к нему поверхности на расстоянии, равном трехкратной ширине указанного прямоугольника (рис. 87). Участок шва с трещиной, подлежащий засверловке и заварке составляет длину трещины плюс 15 мм с каждой стороны.

В случаях, предусмотренных ПКД, на проконтролированные основные материалы и сварные соединения (наплавки) ставится клеймо (штамп), удостоверяющие положительные результаты контроля.

Перед проведением визуального и измерительного контроля рекомендуется проверить также:

- наличие документов, подтверждающих положительные результаты контроля сварочных материалов;
- дату прокалки покрытых электродов и флюсов или соответствие влажности флюсов и покрытия электродов установленным требованиям;
- соответствие поверхности присадочных материалов требованиям стандартов или технических условий.

Освещенность контролируемых поверхностей должна быть достаточной для надежного выявления дефекта, но не менее 2500 люкс при комбинированном освещении с использованием ламп накаливания и не менее 300 люкс при общем освещении с использованием ламп накаливания согласно ГОСТ 23479-79.

## ***8.2. Приборы и инструменты для визуального и измерительного контроля***

Визуальный контроль соединений проводится невооруженным глазом. Разрешается применение луп с увеличением до 7 кратного.

Для измерительного контроля следует применять приборы и инструменты, класс точности которых обеспечивает надежное определение измеренных величин с погрешностью, не более, указанной в таблице.

Измерительные инструменты и приборы должны периодически проходить поверку в метрологических службах в сроки установленные НТД на соответствующие приборы и инструменты.



Измерительные инструменты, изготовленное предприятием-изготовителем оборудование трубопроводов для собственных нужд должны быть аттестованы метрологической службой и подлежат указанной выше периодической поверке.

При измерении следует использовать следующий инструмент и приборы:

- линейки измерительные по ГОСТ 427-75;
- штангенциркуль по ГОСТ 166-80;
- микрометр по ГОСТ 6507-78;
- рулетки измерительные металлические по ГОСТ 7502-80;
- лупы измерительные по ГОСТ 25706-83;
- шаблоны и лупы соответствующей конструкции для контроля формы и размеров выполненных сварных швов и др.

Допускается применение зеркал, перископов, волоконных световодов и телекамер при условии выявления дефектов.

Для измерения толщин стенок изделий допускается применять физические методы контроля с использованием ультразвуковых дефектоскопов и толщиномеров.

Чешуйчатость сварного шва и углубления между валиками допускается определять по слепку, снятому с контролируемого участка; слепок разрезают (не допуская его деформации) так, чтобы искомый размер располагался в плоскости разреза. Материалом для слепка может служить пластилин, воск и другие пластичные материалы.

Погрешность измерений при измерительном контроле не должна превышать указанную в таблице, если конструкторской документацией не предусмотрены более жесткие требования.

<b>Допустимая погрешность измерений при измерительном контроле</b>		
Диапазон измеряемой величины, мм		Погрешность измерений, мм
	-	до 0,5
Свыше 0,5	-	до 1,0
Свыше 1,0	-	до 1,5
Свыше 1,5	-	до 2,5
Свыше 2,5	-	до 4,0
		0,1
		0,2
		0,3
		0,4
		0,5

Свыше 4,0	-	до 6,0	0,6
Свыше 6,0	-	до 10	0,7
Свыше 10	-		1,0

### **8.3. Проведение визуального и измерительного контроля**

Визуальный и измерительный контроль соединения проводится в соответствии с требованиями и указаниями конструкторской документацией ПБД.

Визуальный контроль производится невооруженным глазом с расстояния до контролируемой поверхности 250 - 600 мм, а в сомнительных местах при помощи лупы с оптическим увеличением до 7-кратного,

Измерительный контроль размеров углублений между валиками и чешуйчатости поверхности, ширины и выпуклости (вогнутости) поверхности шва, выпуклости и вогнутости шва, смещения кромок сваренных деталей на выполненных сварных соединениях следует проводить в соответствии с нормативной документацией.

Выпуклость (вогнутость) углового шва оценивается по максимальной высоте (глубине) расположения поверхности от линии, соединяющей края поверхности шва в одном поперечном сечении.

Выпуклость (вогнутость) стыкового шва оценивается по максимальной высоте (глубине) расположения поверхности шва от уровня расположения поверхности сваренных деталей.

Визуальный и измерительный контроль подготовки деталей и сборочных единиц под сборку проводится в следующей последовательности:

**Визуальный контроль** подготовки и сборки деталей под сварку следует проводить для проверки:

- наличия заводской маркировки и/или документации, подтверждающей приемку деталей отделом технического контроля;
- чистоты (отсутствия визуально наблюдаемых загрязнений, пыли, продуктов коррозии, масла и т. п.) на подлежащих сварке кромках и прилегающих к ним поверхностях, а также подлежащих неразрушающему контролю участков основного металла;

- формы подготовленных кромок сваренных деталей;
- формы расточки или раздачи труб;
- материала, формы подкладных колец и расплавляемых вставок;
- выполнение плавных переходов (скосов) при подготовке деталей различной номинальной толщины под стыковое сварное соединение.

**Измерительный контроль** конструктивных элементов следует проводить для проверки:

- толщины деталей;
- овальности трубопроводов;
- угла разделки кромок;
- глубины разделки кромок;
- размера притупления кромок;
- положения вершины разделки;
- размеров остающихся подкладных колец и расплавляемых вставок;
- перпендикулярности подготовленных под сварку цилиндрических изделий к их осям;
- размеров расточки (калибровки, раздачи) концов труб (патрубков, штуцеров);
- минимальной фактической толщины стенки на концах подготовленных под сварку деталей после расточки (раздачи) и зачистки.

Для измерения толщины стенок деталей допускается применять физические методы контроля (ультразвуковые дефектоскопы, толщиномеры и другие средства измерений).

Детали трубопроводов следует измерять не менее чем в трех местах, расположенных равномерно по периметру стыка.

Собранная под сварку сборочная единица (узел) подлежит маркировке (при необходимости) и приемке отделом технического контроля (или другими выделенными этой службой для этой цели, специалистами), о чем проводится запись в специальном журнале или Маршрутном (технологическом) паспорте, и должна проводиться в следующей последовательности:

**Визуальный контроль собранных под сварку сборочных единиц (узлов) следует проводить для проверки:**

- наличия клейм (штампов) ОТК, подтверждающих соответствие подготовки под сборку и сварку установленным требованиям и правильности технологической маркировки;

- чистоты поверхности свариваемых кромок, отсутствие дефектов на кромке;
- наличия и состояния используемых приспособлений и оборудования;
- порядок сборки;
- способов и надежности крепления свариваемых деталей;
- соблюдение условий, предотвращающих возникновение напряжений от собственной массы деталей в зоне подготовленных под сварку кромок;
- методов подгонки деталей;
- количества, расположения и качества прихваток;
- форма временных технологических креплений;
- качества приварки временных технологических креплений;
- положения подкладного кольца;
- смещения кромок (несовпадения поверхностей) собранных деталей, а также смещения притуплений собранных деталей с двусторонней разделкой кромок;
- дополнительной зачистки и обезжиривания подлежащих сварке кромок и примыкающих к ним поверхностей собранных деталей;
- наличия защитного покрытия от брызг металла в соответствии с указаниями технологического процесса или производственной инструкции;
- соответствия температуры подогрева деталей из перлитной стали, подлежащих сварке с подогревом, требованиям технологического процесса или производственной инструкции;
- условий транспортирования собранных деталей (сборочных единиц).

***Измерительный контроль собранных под сварку сборочных единиц (узлов) следует проводить для проверки:***

- общего угла разделки кромок;
- величины зазора между деталями, зазором между остающимся подкладным кольцом и трубой;
- контрольных размеров узла;
- смещения кромок (несовпадения поверхностей) собранных деталей, а также смещения притуплений собранных деталей с двусторонней разделкой кромок;
- размеров, количества и расположения временных технологических креплений;
- перелома осей соединяемых деталей.

Проверку смещения свариваемых кромок по внутреннему диаметру относительно друг друга проводить не менее чем в трех местах, расположенных равномерно по периметру стыка.

Качество выполнения прихваток и приварки технологических креплений проверять внешним осмотром. При этом нормы оценки качества прихваток принимаются по категории собираемого под сварку соединения изделия.

Визуальный и измерительный контроль в процессе сварки должен проводиться в следующей последовательности:

***При сварке сборочных единиц (узлов) визуальный контроль следует проводить для проверки:***

- наличия клейм (штампов) ОТК, подтверждающих соответствие сборки установленным требованиям;
- пространственных положений сварки;
- количества и порядка наложения валиков и слоев шва;
- качества зачистки свариваемых поверхностей соединений перед наложением последующих валиков, законченных швов и околошовной зоны от брызг металла, шлака, окалины и других загрязнений;
- наличия аргонодуговой обработки мест сопряжения шва с поверхностью основного металла (где это требуется по технологическому процессу);
- очередности выполнения швов;
- послыйного контроля качества швов (при невозможности проведения неразрушающих методов контроля полностью выполненного сварного соединения);
- зачистки поверхности валиков в процессе сварки, а также поверхности шва и примыкающих к нему зон основного металла после окончания сварки;
- маркировки (клеймения) сварных соединений выполнявшими их сварщиками.

***Измерения в процессе сварки проводить для проверки:***

- количества и размеров наложения валиков и слоев шва;
- толщины отдельных слоев;
- минимального расстояния от края усиления шва до линии сплавления наплавки с основным металлом;
- температуры окружающей среды и температуры свариваемого металла.

***В процессе сварки также контролируются:***

- применяемые сварочные материалы и защитный газ;
- квалификация сварщиков;

- режимы сварки;
- исправность сварочного оборудования, аппаратуры, приборов, приспособлений.

Контроль, проводимый в процессе сварки, должен обеспечивать не только выявление и своевременное исправление обнаруженных дефектов, но и принятие профилактических мер при последующей сварке.

В процессе изготовления мастер по сварке и представитель ОТК производят визуальный контроль качества каждого отдельного законченного шва и узла в соответствии с требованиями нормативной документации.

Результаты визуального послойного контроля сварных соединений, контроль которых радиографическим или ультразвуковым методами невозможен, считаются удовлетворительными, если выдержаны требования по нормам на поверхностные дефекты.

**Визуальный и измерительный контроль выполненных сварных соединений должен проводиться в следующей последовательности:**

***Визуальный контроль качества сварных соединений необходимо проводить по всей их длине с целью выявления:***

- наличия клейма сварщика;
- несоответствия формы шва требованиям нормативной документации, ПКД и рабочих чертежей;
- поверхностных трещин;
- непроваров;
- отслоений;
- прожогов;
- свищей;
- наплывов;
- усадочных раковин;
- брызг металла;
- подрезов;
- поверхностных включений и скоплений;
- пятен коротких замыканий электрода на основном металле и других дефектов.

***Измерительный контроль выполненных сварных соединений производится с целью проверки:***

- соответствия конструктивных элементов сварного шва требованиям нормативной документации;

- расположения, количества и размеров выявленных при визуальном контроле поверхностных включений и скоплений;
- размеров подрезов;
- углублений между валиками;
- чешуйчатости их поверхности;
- выпуклости и вогнутости корня шва (в доступных местах);
- смещения кромок сваренных деталей;
- расстояния от оси сварного шва до реперных точек;
- уплотнений в местах зачистки швов и околошовной зоны;
- геометрического положения осей или поверхностей сваренных деталей требованиям нормативной документации.

При визуальном контроле необходимо проверять также качество подготовки сварных соединений изделий для проведения последующих контрольных операций неразрушающими методами.

На сварное соединение, принятое по результатам визуального и измерительного контроля, должно быть проставлено клеймо ОТК, удостоверяющее их соответствие требованиям ПКД и рабочих чертежей.

Поверхность швов в местах, подвергающихся ремонту, а также в местах, вызывающих сомнение по результатам визуального контроля, должна быть проконтролирована капиллярной или магнито-порошковой (для сталей перлитного класса) дефектоскопией.

Измеренные характеристики геометрического положения осей и поверхностей сваренных деталей (излома, перпендикулярности) должны соответствовать требованиям конструкторской документации.

На деталях из чугуна литья все наружные и внутренние поверхности должны быть очищены от формовочной земли и пригара. Места обрубки литников и прибылей, заливы на необрабатываемых поверхностях должны быть зачищены в пределах допусков, указанных в чертежах отливок. Допускается наличие пригара в труднодоступных для удаления местах, если это не влияет на внешний вид отливки и работоспособности в изделии. Отклонение размеров отливки после зачистки не должно превышать допускаемых отклонений, указанных в чертежах.

В отливках не допускаются трещины, спаи и прочие дефекты, снижающие прочность отливок и ухудшающие их внешний вид.

Заварка дефектов отливок в одном и том же месте более одного раза не допускается.

На деталях из стального литья места отрезки литников и прибылей, заливки, заусеницы, швы по разьему формы и наплывы должны быть зачищены в пределах допусков, указанных в чертежах отливок.

В отливках не допускаются трещины, спаи и прочие дефекты, снижающие прочность отливок и ухудшающие их внешний вид.

Размеры и припуски на механическую обработку должны приниматься по чертежу отливки или детали. Заварка дефектов в одном и том же месте допускается не более двух раз.

На деталях из цветного литья не должны присутствовать трещины, раковины газового характера, неметаллические включения и другие дефекты, снижающие прочность, герметичность и ухудшающие товарный вид изделия.

На деталях из стального проката не допускаются трещины, плены, неметаллические включения, закаты и другие дефекты, величины которых превышают допустимые согласно нормативной документации. Исправление дефектов проката заваркой допускается только для нерасчетных элементов конструкций.

На деталях, изготовленных поковкой и штамповкой, не должно быть трещин, заковов, плен и других дефектов. Заварка дефектов на поковках для расчетных элементов сварных конструкций не допускается.

На деталях из пластмасс, полимеров и синтетических материалов должны быть удалены: облой, заусеницы, литники. На деталях не допускаются вздутия, трещины, волнистость, рябь, раковины, пористость, коробление, расслоения, недопрессовки, острые кромки, снижающие их прочность и ухудшающие товарный вид.

Резьбовые соединения, в том числе крепеж, должны выполняться по соответствующим государственным стандартам.

Если предельные отклонения на резьбу не оговорены в чертеже, она должна быть выполнена: у метрических резьб - для болтов - 8g, для гаек - 7H по ГОСТ 16093-81; у трубных цилиндрических резьб - В по ГОСТ 6357-81; у трапецеидальных резьб по степени точности 8 ГОСТ 90562-81.

На резьбе не должно быть сорванных ниток, забоин. Допустимые дефекты резьбы должны быть не выше, указанных в ГОСТ 1759-2-82 и ГОСТ 1759-3-83. На концах резьб должны быть заходные фаски.



## **8.4. Требования к отчетной документации**

### **Группы отчетной документации**

Отчетная документация по контролю качества сварных соединений и наплавленных деталей при изготовлении и монтаже оборудования и трубопроводов подразделяется на четыре группы:

- группа 1 - отчетная документация по аттестации персонала;
- группа 2 - отчетная документация по контролю материалов;
- группа 3 - отчетная документация по операционному контролю;
- группа 4 - отчетная документация по приемочному контролю.

Выше перечисленная отчетная документация должна оформляться соответствующими службами предприятия-изготовителя (монтажной организации), ответственными за проведение и достоверность результатов закрепленных за ними видов контроля.

### **Сроки хранения отчетной документации**

Отчетная документация 1, 2 и 3-й группы хранится на предприятии-изготовителе, монтажной организации и других организациях и заказчику не передается.

Срок хранения указанной документации со дня ее оформления должен составлять:

- для 1 группы - не менее 5 лет;
- для 2 и 3 групп - не менее 3 лет.

Отчетная документация 4 группы хранится на предприятии-изготовителе (монтажной организации) в течение расчетного срока службы изготовленного (смонтированного) оборудования или трубопровода.

Радиографические пленки должны храниться в течение 5-ти лет.

### **Отчетная документация по контролю квалификации персонала (1 группа)**

Результаты аттестации сварщиков и контролеров оформляются протоколами аттестационной комиссии.

## Отчетная документация по контролю материалов (2 группа)

Результаты контроля:

- основных материалов, подлежащих сварке или наплавке;
- сварочных материалов;
- материалов для дефектоскопии.

Оформляются записями в специальных журналах с указанием:

- наименования и марки материала;
- обозначения стандарта или технических условий на материал;
- номера партии (плавки) материала;
- номера и даты сертификата на партию материала;
- соответствия данных сертификата техническим условиям

на материал;

- массы партии материала (без упаковки);
- сохранности упаковки;
- результатов входного контроля;
- заключением о допуске материала к применению.

## Отчетная документация по операционному контролю (3 группа)

Результаты каждого вида операционного контроля фиксируются в соответствующих журналах контроля (маршрутных паспортах) с указанием следующих данных:

1. Журнал контроля (маршрутный паспорт, карта) сборочно-сварочного и термического оборудования и аппаратуры:

- наименование оборудования (аппаратуры);
- дата проверки (контроля);
- заключение о годности, срок очередной проверки.

2. Журнал контроля (маршрутный паспорт, карта) подготовки и сборки деталей под сварку (наплавку):

- наименование предприятия, номер цеха и участка;
- номер чертежа;
- марка основного материала свариваемых (наплавляемых) деталей;
- номер сварного соединения;
- сведения о видах и объемах контроля;
- фамилия и инициалы контролеров;

- дата проведения контроля;
- заключение о результатах контроля.

3. Журнал контроля (маршрутный паспорт, карта) процессов сварки и наплавки:

- наименование предприятия, номер цеха и участка;
- наименование, шифр и обозначение деталей, сборочных единиц и изделия;
- номер чертежа;
- номер выполняемых сварных соединений (наплавков);
- категории сварных соединений;
- фамилии и инициалы сварщиков с указанием номеров удостоверений или личных клейм;
- отклонения и их исправления;
- отметка о выполнении контрольных сварных соединений (при наличии таковых);
- дата проведения контроля;
- должности, фамилии и инициалы лиц, проводивших контроль;
- заключение о результатах контроля.

### **Отчетная документация по приемочному контролю (4 группа)**

Результаты всех видов неразрушающего контроля оформляются протоколами, актами, заключениями с фиксацией следующих данных:

- наименование предприятия, выполнявшего сварные соединения (наплавку);
- номер чертежа;
- номер контролируемых сварных соединений (наплавков);
- сведения о проведении термической обработки;
- метод и объем контроля;
- дата проведения контроля;
- фамилии и инициалы (или обозначение личных клейм контролеров), выполнявших контроль;
- сведения о выявленных дефектах и местах их расположения;
- сведения о результатах контроля после исправления дефектов;
- окончательное заключение о результатах контроля.

## **9. Мероприятия по вопросам охраны труда и технике безопасности при визуально-оптическом и измерительном контроле.**

### **Охрана окружающей среды**

В производственных условиях человек может подвергаться различным вредным и опасным воздействиям. Созданию безопасных условий для высокопроизводительного труда и охране здоровья в нашей стране придается большое значение. Систематически предусматриваются мероприятия, направленные на дальнейшее улучшение условий труда, повышение оснащенности предприятий истроек современными средствами техники безопасности и охраны труда.

Основные положения по охране труда заключены в Конституции и Кодексе законов о труде (КЗОТ).

Основой охраны труда в нашей стране служит предупреждение производственного травматизма и заболеваний.

Для исключения воздействия на работающих опасных факторов существует система стандартов безопасности труда (ССБТ), которая устанавливает требования и нормы по видам опасных и вредных производственных факторов, требования безопасности к производственному оборудованию и процессам, а также к средствам защиты работающих.

Наряду с системой стандартов безопасности труда в каждом секторе промышленности имеются документы, определяющие безопасное производство работ и являющиеся дополнением к ССБТ в части правил, подлежащих неукоснительному исполнению.

Перед допуском дефектоскописта к работе администрация обязана провести на рабочем месте первичный инструктаж по технике безопасности.

После первичного инструктажа все вновь принятые дефектоскописты должны пройти стажировку на рабочем месте (12 смен) под руководством опытного специалиста и получить допуск на проведение работ.

Все дефектоскописты, независимо от их квалификации и стажа работы по профессии, должны периодически проходить инструктаж по технике безопасности в сроки, указанные директивными

документами, или каждый квартал. Проверка знаний или правил техники безопасности проводится ежегодно. Чтобы не причинить вреда ни себе, ни другим, каждый работник должен их строго выполнять.

Перед проведением визуально-измерительного контроля дефектоскописты должны получить:

- допуск-наряд на проведение контроля;
- пройти дополнительный инструктаж в случае выполнения работ на высоте;
- дефектоскопист должен быть обеспечен головным убором (каскай), специальной одеждой, не стесняющей движения и в случае работы на высоте предохранительным поясом.
- знать и соблюдать общие правила внутреннего распорядка.

Производственные участки и рабочие места, на которых осуществляется визуальный и измерительный контроль, должны удовлетворять требованиям "Общих правил техники безопасности и производственной санитарии для предприятий и организаций" (ГОСТ 12.2.00-75, СН 245-71 и др.).

Рабочее место дефектоскописта должно соответствовать санитарным нормам для проведения контроля ГОСТ 8.050-73, освещенность контролируемых поверхностей должна быть достаточной для надежного выявления дефектов и соответствовать требованиям ГОСТ 23479, но в любом случае должна быть не менее 300 лк, а также соответствовать "Правилам техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей", "Типовым правилам пожарной безопасности в Украине (ДНАОП 0.01-1.01-95), "Правилам пожарной безопасности при производстве строительного-монтажных работ" (ГОСТ 12.1.004-76).

Дефектоскописты, осуществляющие контроль, должны быть защищены от действия прямой и отраженной блескости (вспышек сварочных дуг и их отражений) светозащитными экранами.

С целью предупреждения утомления глаз и повышения качества визуального и измерительного контроля рекомендуется дефектоскопистам делать десятиминутные перерывы через каждый час работы.

Очень важным фактором поддержания работоспособности человека является освещенность рабочего места. Освещение должно быть общим или комбинированным. В качестве источника света следует использовать преимущественно люминесцентные лампы.

Весьма отрицательно сказывается на работоспособности человека, быстро его утомляют вибрация и шум. Величина шума на рабочем месте не должна превышать 75 дБ.

Наиболее частыми причинами производственного травматизма является несоблюдение работающими режима личной безопасности и недостаточное владение безопасными приемами работ. К несчастному случаю и травме может привести неправильное пользование средствами индивидуальной защиты или вообще не использование их. Здесь имеются ввиду такие средства, как рукавицы, очки, каски и спецодежда. Причиной травмы может быть и работа неисправным инструментом или использование его не по назначению.

К травмам приводит также нарушение установленного порядка производства работ.

Кроме того, в местах установки различных агрегатов и механизмов имеются зоны повышенной опасности, при нахождении в которых требуется особая осторожность. К этим зонам относятся:

- места вблизи неизолированных токоведущих частей установок (места подключения инструмента, рубильники и т. п.).
- территория вблизи не огражденных перепадов по высоте;
- места, где перемещаются машины и оборудование или их части и рабочие органы, особенно при отсутствии ограждений;
- места, над которыми происходит перемещение грузов и прилегающая территория.

Все ручные инструменты и приспособления необходимо использовать в соответствии с характером и требованиями выполняемой работы. Пользоваться ими можно только если они исправны. Класть инструменты надо так, чтобы они не могли упасть.

При проведении визуально-оптического и измерительного контроля на высоте важно, чтобы настил лесов и подмостей был ровным и без щелей, а зазор между конструкцией и подмостями не превышал 5 см. Все настилы лесов и подмостей высотой более 1,3 м ограждают перилами высотой не менее 1 м. Перила должны иметь внизу бортовую доску высотой 15 см, а поручень должен быть отструган.

Зоны, опасные для движения людей, должны быть ограждены и оборудованы хорошо видимыми предупредительными сигналами.

Проверочные и верхолазные работы на открытом воздухе при силе ветра в 6 баллов и более, при гололедице, сильном снегопаде и дожде не допускаются.

Для перехода проверяющих от одной конструкции к другой следует применять монтажные лестницы, переходные мостики и трапы.

Во время проверки конструкций необходимо обязательно принять предохранительные меры против падения людей, материалов и инструментов, а также меры по безопасности людей, находящихся внизу, в зоне выполнения работ, путем:

- применения проверяющими предохранительных поясов, прикрепленных к монтажным петлям, балкам или специально натянутому тросу;

- ограждения и охраны зоны работ внизу забором из переносных звеньев, имеющих предупредительные надписи.

Наиболее частыми причинами возникновения пожаров являются:

- небрежное обращение с открытым огнем (выполнение сварочных работ, курение в не отведенных местах, брошенные не потушенные спички и окурки и т. п.);

- плохое и неправильное складирование горючих и взрывоопасных материалов;

- неисправности электрических сетей и нарушение правил эксплуатации электрооборудования;

- грозовые разряды и т. п.

Все работники должны быть проинструктированы о способах вызова пожарной охраны и обращения с простейшими средствами для тушения огня (песок, вода, огнетушители т. п.).

Мерами по охране окружающей среды являются совершенствования технологических процессов и транспортных средств с целью сокращения выбросов вредных веществ в окружающую среду и улучшения очистки отходящих газов от примесей, а также ряд других важных мероприятий по охране природы:

- уменьшение шума, вибраций, пыли;

- улучшение эргономических показателей машин (внедрение электрического привода вместо дизельного);

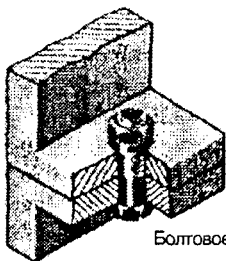
- организационные вопросы по работе с персоналом (чтобы не сливали горюче-смазочные материалы на землю, не сжигали их на траве и у лесных насаждений);

- надзор со стороны санитарно-эпидемиологической службы за выполнением санитарно-гигиенических норм и правил.

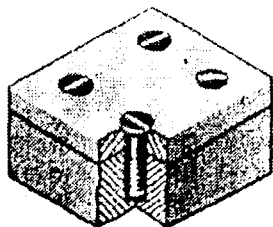
***Иллюстрации к темам 5, 6, 7, 8.***



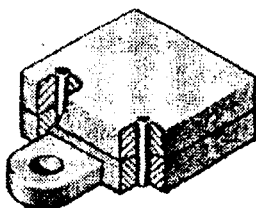
### Разъемные соединения



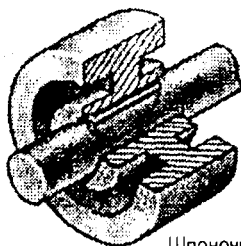
Болтовое



Винтовое

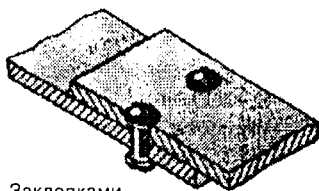


Штифтовое

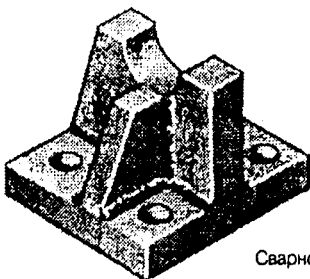


Шпоночное

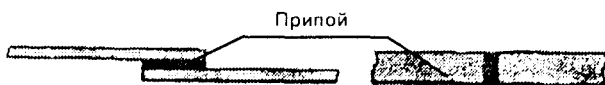
### Неразъемные соединения



Заклепками



Сварное



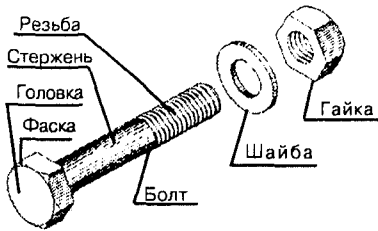
Припой

Пайкой

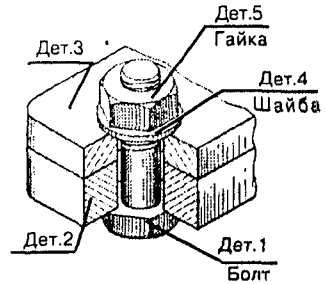
Рис. 1

Элементы резьбы	Изображение	Описание
		<p><b>Профиль</b> - очертание выступов и впадин в продольном направлении;</p> <p><b>Виток</b> - часть резьбы, образуемая при одном полном обороте профиля;</p> <p><b>Угол профиля <math>\alpha</math></b> - угол между боковыми сторонами профиля;</p> <p><b>высота профиля</b> - расстояние между вершиной и впадиной профиля в направлении, перпендикулярном к оси резьбы;</p> <p><b>шаг резьбы <math>p</math></b> - расстояние между двумя одноименными точками на соседних витках;</p> <p><b>наружный диаметр <math>d</math></b> - наибольшее расстояние между противоположными вершинами резьбы;</p> <p><b>внутренний диаметр <math>d_1</math></b> - наименьшее расстояние между противоположными впадинами резьбы;</p> <p><b>средний диаметр <math>d_2</math></b> - расстояние между серединами двух противоположных профилей резьбы</p>

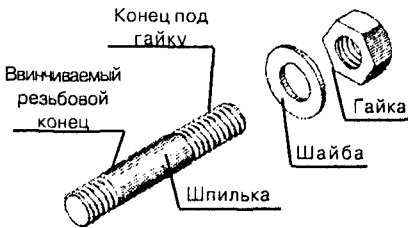
Рис. 2



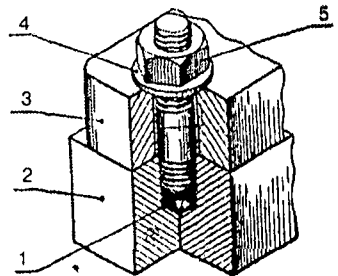
**Рис. 3**  
**Детали болтового соединения**



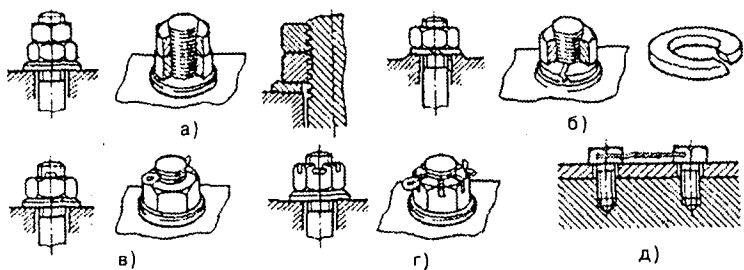
**Рис. 4**  
**Болтовое соединение**



**Рис. 5**  
**Детали шпилечного соединения**

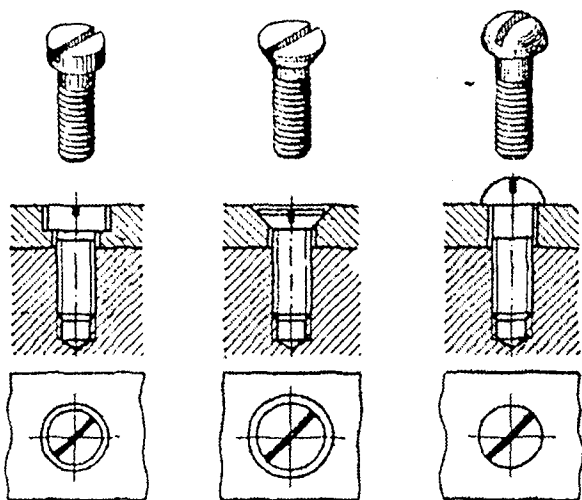


**Рис. 6**  
**Шпилечное соединение**



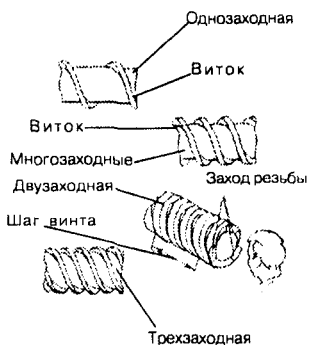
**Рис. 7 Закрепляющие (стопорные устройства):**

а) гайка-контргайка; б) пружинная шайба; в) шплинт; г) корончатая гайка со шплинтом; д) проволока, пропущенная в отверстия, просверленные в головках болтов.



**Рис. 8 Соединение различными винтами**

По числу заходов (витков на поперечном сечении)



**Однозаходная**  
Используется там, где требуется надежное соединение, - для крепежных резьб.

**Многозаходная**  
Используется в механизмах, служащих для передачи движения. Ход резьбы равен шагу, умноженному на число заходов.

По профилю витков

Треугольная



Для нарезания на крепежных деталях (шпильках, болтах, винтах и гайках)

Трапецидальная



Для передачи движения или больших усилий: в металлорежущих станках (ходовые винты), домкратах, прессах и т.п.

Упорная



Для передачи большого одностороннего усилия (в винтовых прессах, домкратах и т.п.)

Круглая



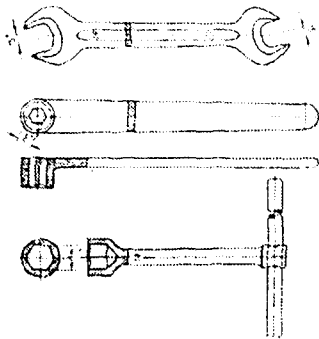
Для соединений, подвергающихся сильному износу, эксплуатирующихся в загрязненной среде (пожарные трубопроводы, крюки грузоподъемных машин и т.п.)

Прямоугольная



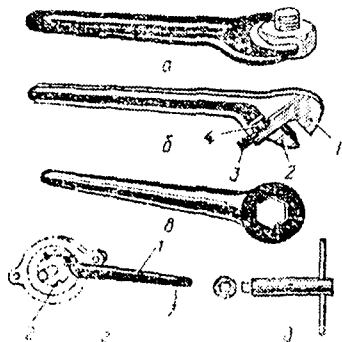
Используется редко, так как непрочна и трудна в изготовлении

Рис. 9



**Рис. 10**

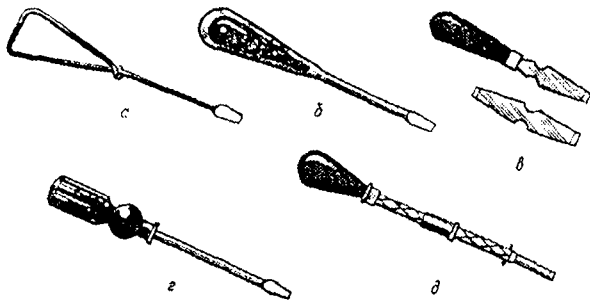
Виды гаечных ключей



**Рис. 11**

Гаечные ключи:

а) односторонний открытый;  
 б) раздвижной с червячным винтом (1 - неподвижная губка; 2 - подвижная губка; 3 - зубчатая рейка; 4 - червячный винт);  
 в) накладной (закрытый);  
 г) радиусный для круглых гаек (1 - штырь ключа; 2 - паз);  
 д) торцовый.

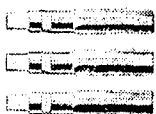
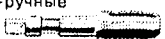
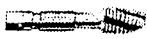


**Рис. 12**





Отвертки:

а) - проволочная; б) - с деревянными щечками;  
 в) - вставная; г) - электротехническая; д) - механическая.

Виды метчиков

Название и изображение	Примечание
<p>ручные</p> 	<p>Для нарезания вручную резьбы в глухих и сквозных отверстиях. Бывают двух- и трехкомплектные <i>черновые, средние, чистовые</i>.</p> <p>Для нарезания резьбы в глухих и сквозных отверстиях вручную и на станках. Бывают одинарными или двухкомплектными.</p>
<p>машинно-ручные</p> 	
<p>машинные</p> 	

Виды плашек

Название и изображение	Примечание
<p>Круглые цельные</p> 	<p>Для нарезания наружной резьбы диаметром до 52 мм за один проход.</p> <p>Для нарезания наружной резьбы за несколько проходов. Изготавливаются по 4-5 пар в каждом.</p> <p>Для нарезания наружной резьбы. Позволяют регулировать диаметр готовой резьбы в небольших пределах (0,1...0,25 мм)</p> <p>Для накатывания точных профилей наружных резьб на станках и вручную.</p>
<p>Раздвижные (призматические)</p> 	
<p>Разрезные</p> 	
<p>Резьбонакатные</p> 	

Приспособления для нарезания резьбы




Название и изображение	Примечание
<p>Воротки:</p> 	<p>Для закрепления и удержания метчиков</p>
<p>Воротки</p> 	
<p>Клуппы</p> 	

Рис. 13

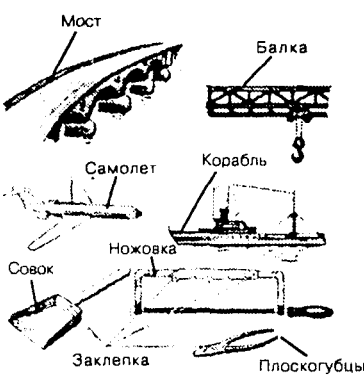
Заклепочные соединения	
Примеры конструкций	Описание
 <p>Мост</p> <p>Балка</p> <p>Самолет</p> <p>Корабль</p> <p>Совок</p> <p>Заклепка</p> <p>Ножовка</p> <p>Плоскогубцы</p>	<p>Заклепочные соединения используются при изготовлении металлических конструкций мостов, рам, ферм, балок, в производстве котлов, а также в самолетостроении, судостроении и т.д.</p>

Рис. 14

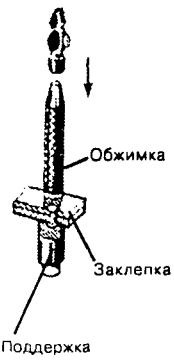
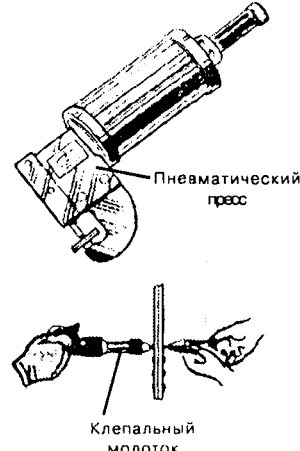
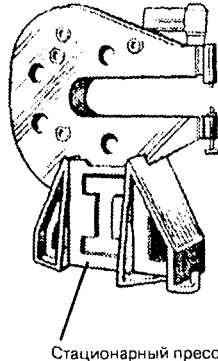
Способы получения заклепочных соединений		
Ручными инструментами	Механизированными инструментами	На станках
 <p>Обжимка</p> <p>Заклепка</p> <p>Поддержка</p>	 <p>Пневматический пресс</p> <p>Клепальный молоток</p>	 <p>Стационарный пресс</p>

Рис. 15






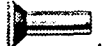

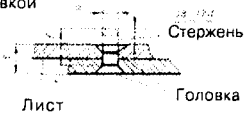
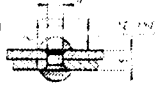
Виды заклепок по форме закладной головки				
Полукруглые высокие	Полукруглые низкие	Плоские	Потайные	Полупотайные
				
Определение длины стержня заклепки				
Название и изображение		Расчет		
<p>С потайной головкой</p>  <p>Стержень</p> <p>Лист</p> <p>Головка</p> <p>С полукруглой головкой</p> 		<p>Длина стержня при образовании замыкающей головки определяется по формуле:  <math>l = s + (0,8 \dots 1,2) d</math>, где <math>l</math> - длина стержня заклепки, мм;  <math>s</math> - толщина склепываемых листов, мм;  <math>d</math> - диаметр заклепки, мм.</p> <p>Длина стержня при образовании замыкающей головки определяется по формуле:  <math>l = s + (1,2 \dots 1,5) d</math>                      (обозначения в формуле те же)</p>		

Рис. 16

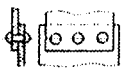
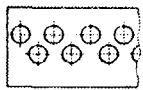
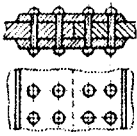
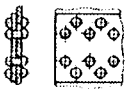



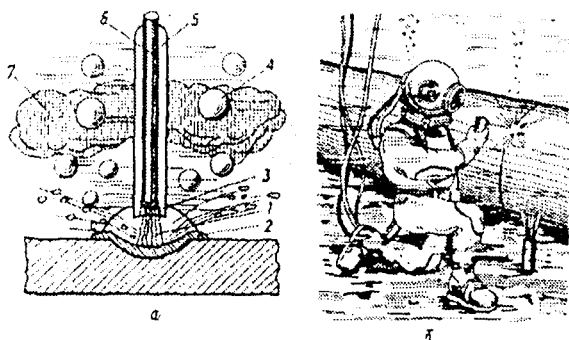
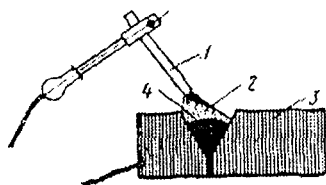
Виды заклепочных швов		
По числу рядов заклепок	По расположению заклепок в рядах	По расположению соединяемых деталей
<p>Однорядные</p>  <p>Многорядные</p> 	<p>С параллельным расположением</p>  <p>С шахматным расположением</p> 	<p>Внахлестку</p>  <p>Встык с одной накладкой</p> <p>Накладка</p>  <p>Встык с двумя накладкой</p> <p>Накладка</p> 

Рис. 17



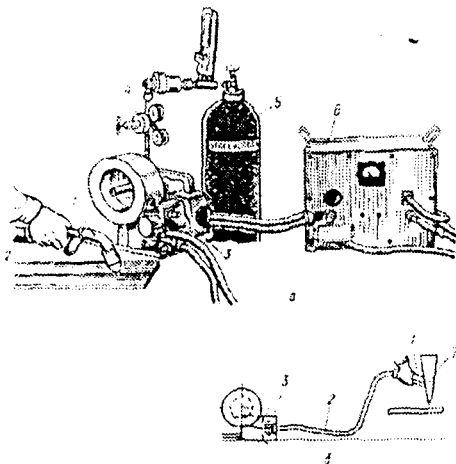
**Рис. 18**

Схема подводной сварки толстопокрытыми электродами: а — плавление электрода; б — сварка стыка трубопровода (1 - сварочная дуга, 2 - расплавленный металл, 3 - козырек на электроде, 4 - выделение газов, 5 - покрытие электрода, 6 - стержень, 7 - облако окислов)



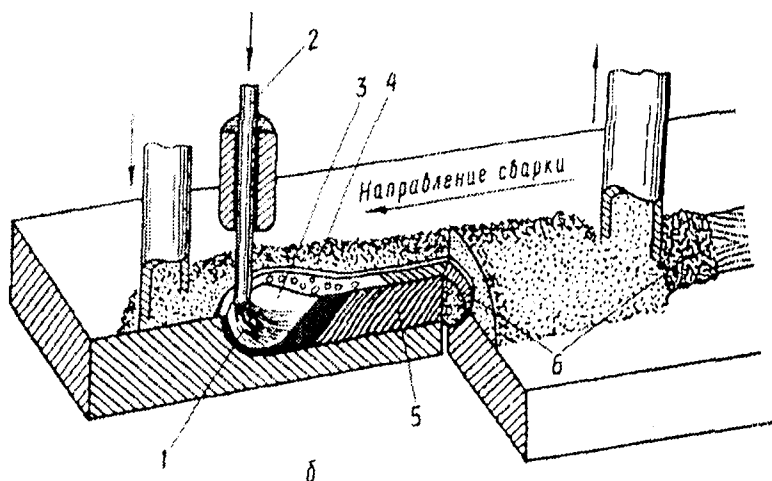
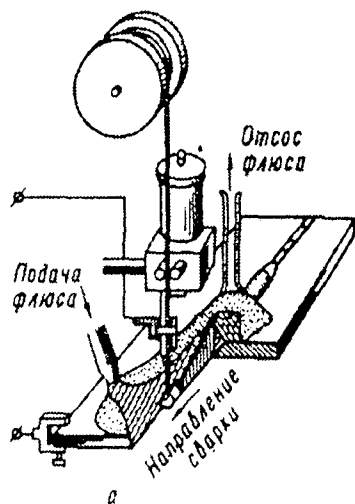
**Рис. 19**

Дуговая сварка



**Рис. 20**

Схема полуавтоматической сварки: а — в среде CO<sub>2</sub>, б — под слоем флюса (1 - горелка, 2 - гибкий шланг, 3 - механизм подачи проволоки, 4 - газовый редуктор, 5 - баллон с газом, 6 - источник питания, 7 - воронка для флюса)

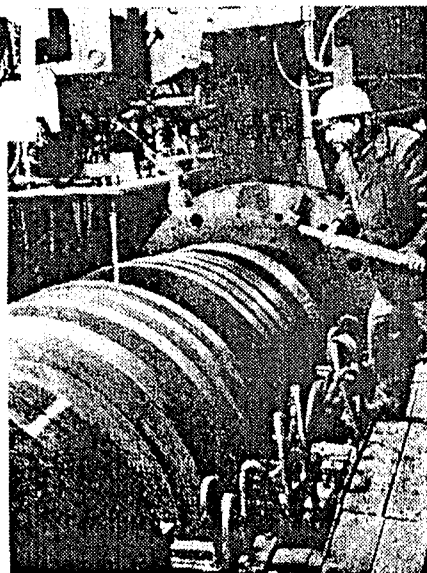


**Рис. 21**

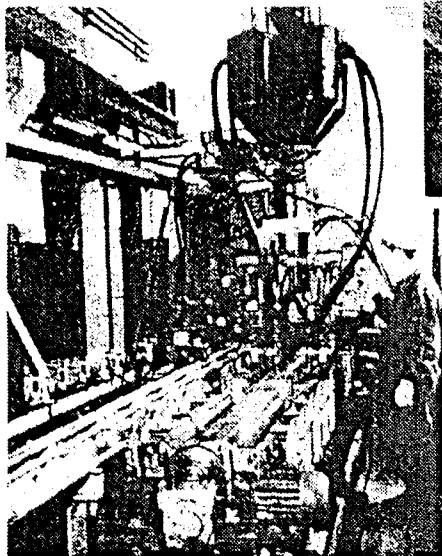
Схема автоматической сварки под слоем флюса: а - схема сварочной головки; б - горение дуги и формирование шва (1 - сварочная дуга, 2 - присадочная проволока, 3 - газовый пузырь, 4 - флюс, 5 - металл шва, 6 - шлак)



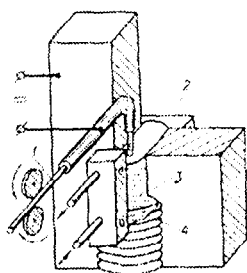
Ручная сварка на конусе засыпного аппарата доменной печи



Автоматическая сварка под флюсом ротора паровой турбины

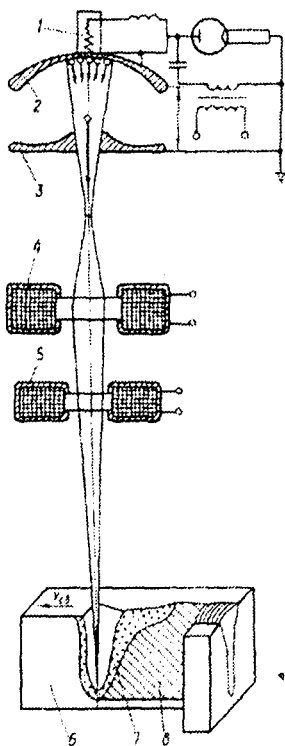


Установка для автоматической сварки под флюсом



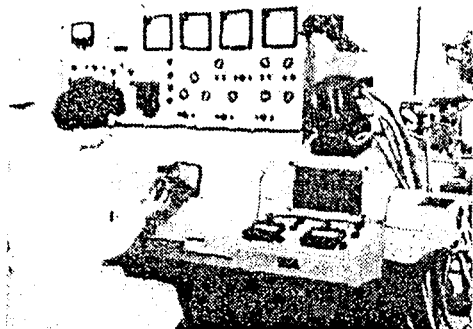
**Рис. 23**

Схема электрошлаковой электродной сварки; 1 - присадочная проволока, 2 - водоохлаждаемые башмаки, 3 - ванна жидкого шлака, 4 - ванна жидкого металла



**Рис. 24**

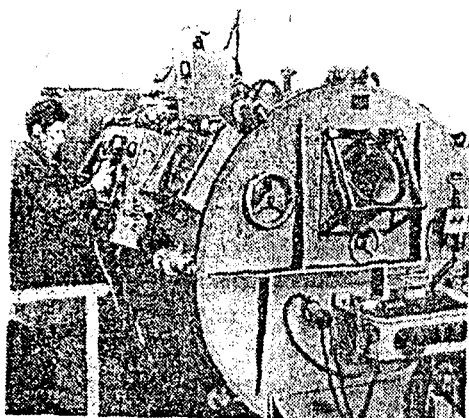
Схема электронно-лучевой сварки: 1 — нагреватель катода, 2 — катод, 3 — анод, 4 — фокусирующая система, 5 — отклоняющая система, 6 — свариваемый металл, 7 — жидкий металл, 8 — металл шва



Автоматическая электронно-лучевая сварка корпусов электрических реле



Ручная электронно-лучевая пушка для сварки



Электронно-лучевая сварка диафрагм паровых турбин

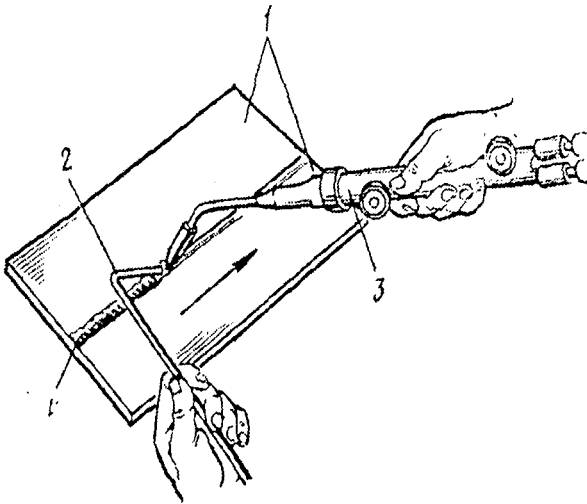


Рис. 26 Газовая сварка

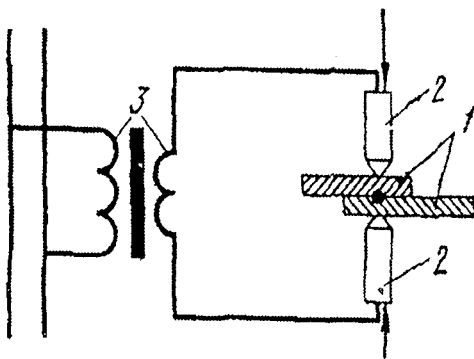


Рис. 27 Точечная сварка

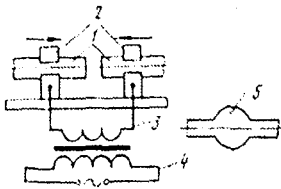
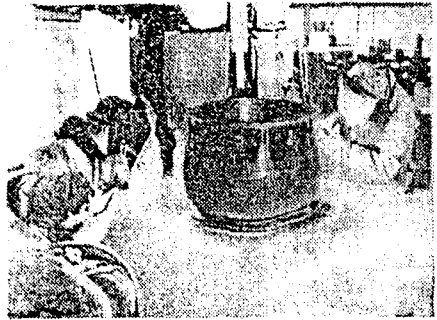
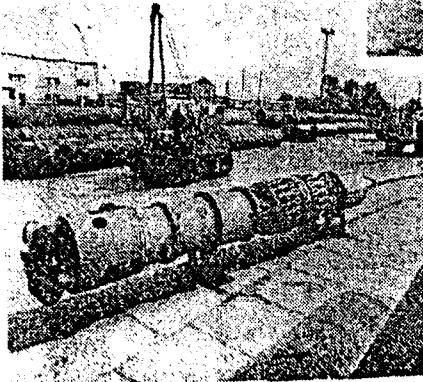


Рис. 28  
Стыковая сварка



Приварка патрубка к корпусу барабана котла ручкой дуговой сваркой толстопокрытыми электродом



Машина для стыковой сварки  
оплавлением труб большого  
диаметра

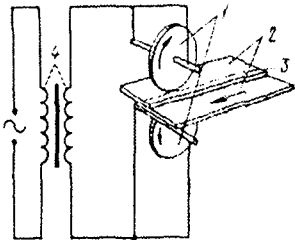


Рис. 30  
Шовная сварка



Рис. 29  
Электрошлаковая отливка  
патрубка на корпус реактора



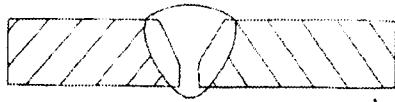


Рис. 31

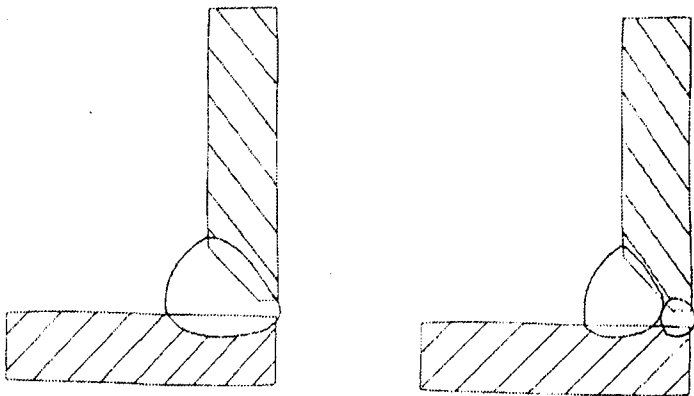


Рис. 32

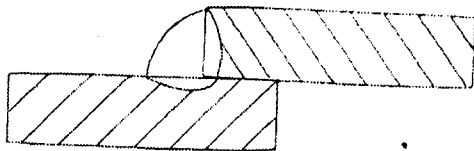
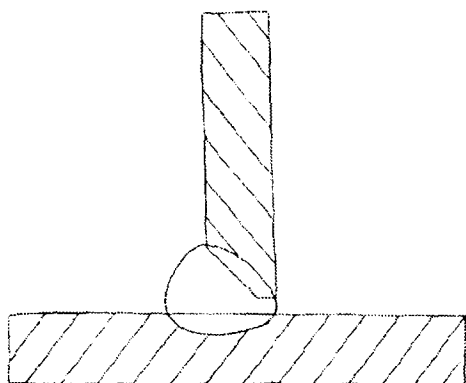
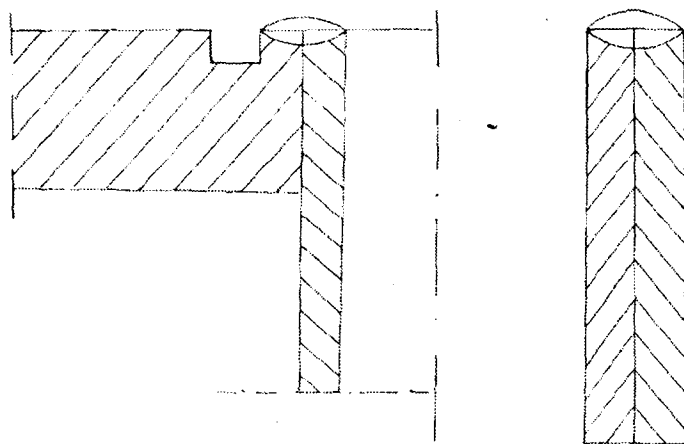


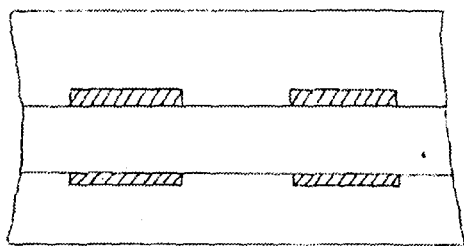
Рис. 33



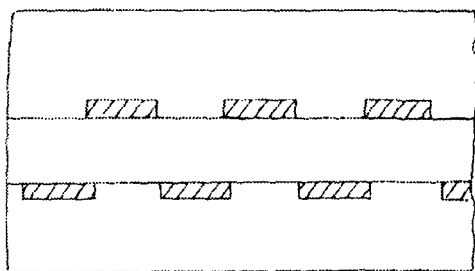
**Рис. 34**



**Рис. 35**



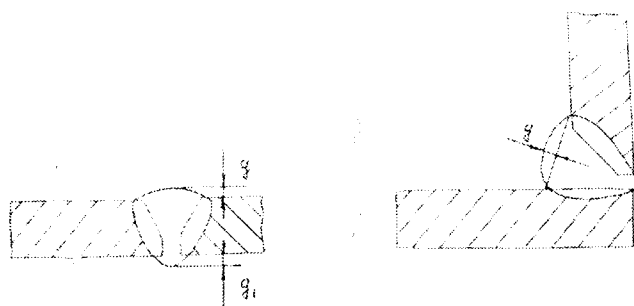
**Рис. 36**



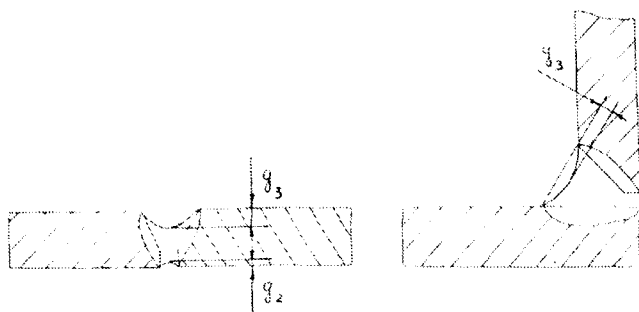
**Рис. 37**



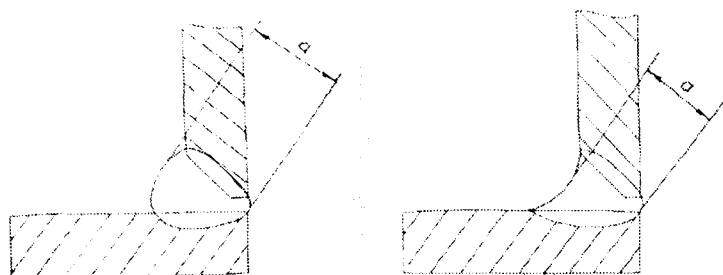
**Рис. 38**



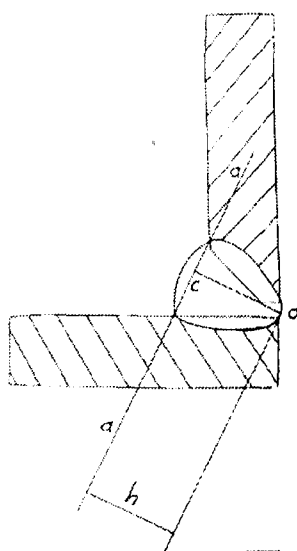
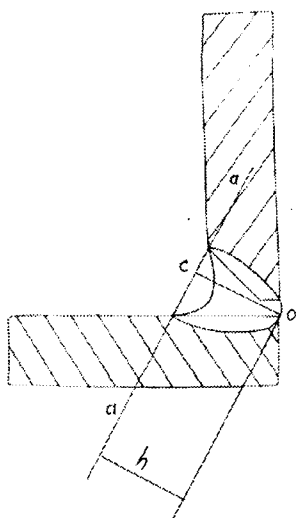
**Рис. 39**



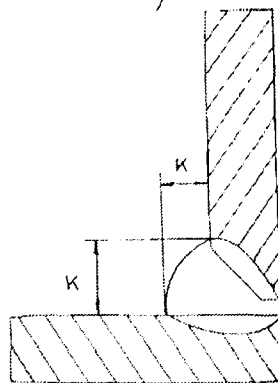
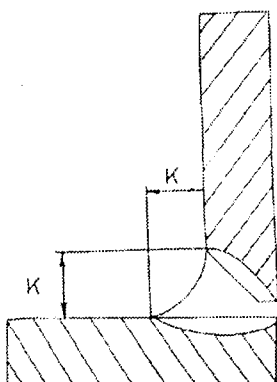
**Рис. 40**



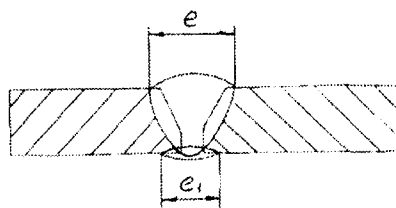
**Рис. 41**



**Рис. 42**



**Рис. 43**



**Рис. 44**



Рис. 45

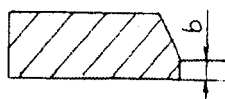


Рис. 46

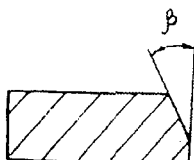


Рис. 47

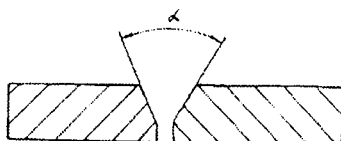


Рис. 48

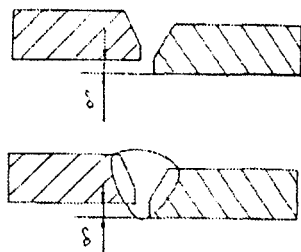


Рис. 49

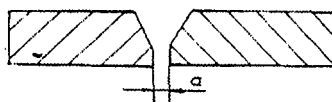
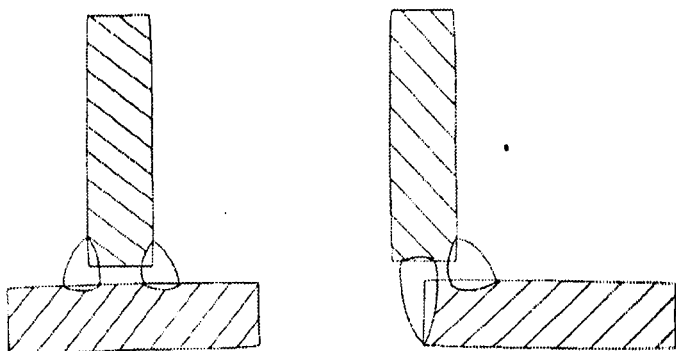
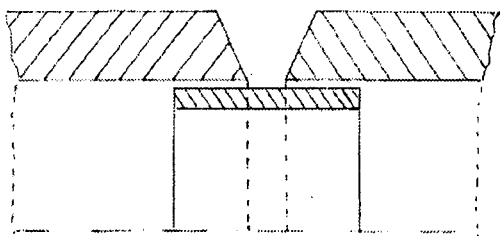


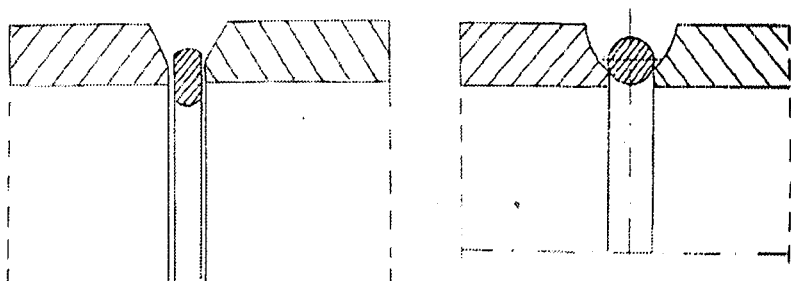
Рис. 50



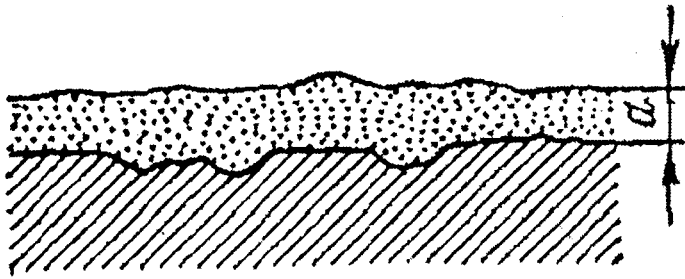
**Рис. 51**



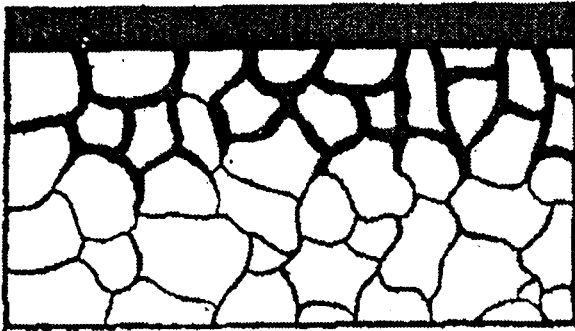
**Рис. 52**



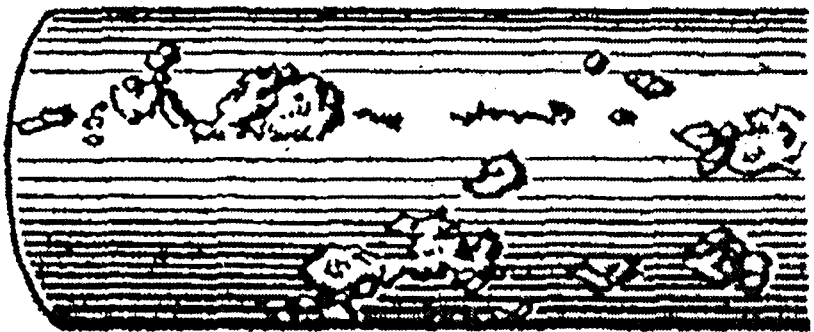
**Рис. 53**



а)



б)



в)

Рис. 54

Виды каррозии: а) поверхностная; б) межкристаллитная; в) местная.



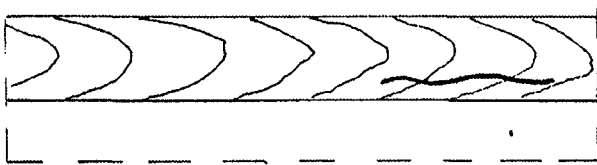


Рис. 55

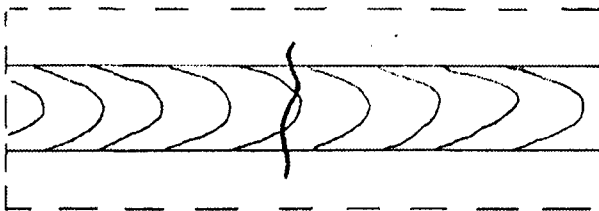


Рис. 56

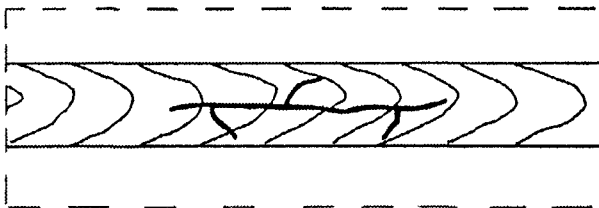


Рис. 57

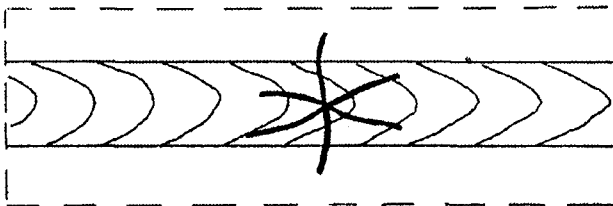


Рис. 58

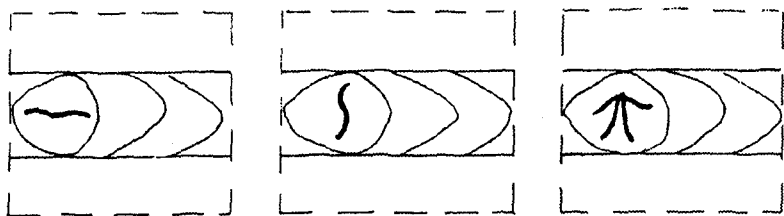


Рис. 59

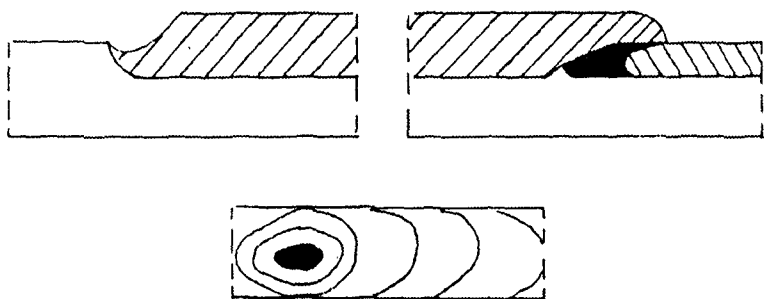


Рис. 60

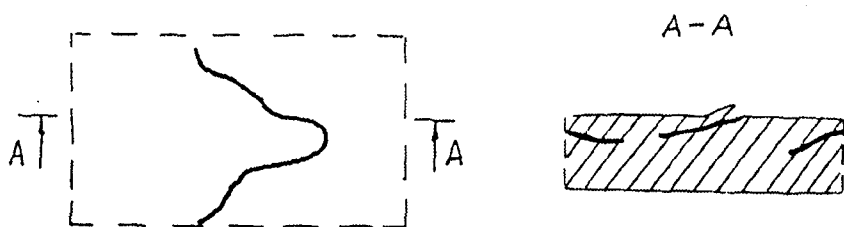


Рис. 61

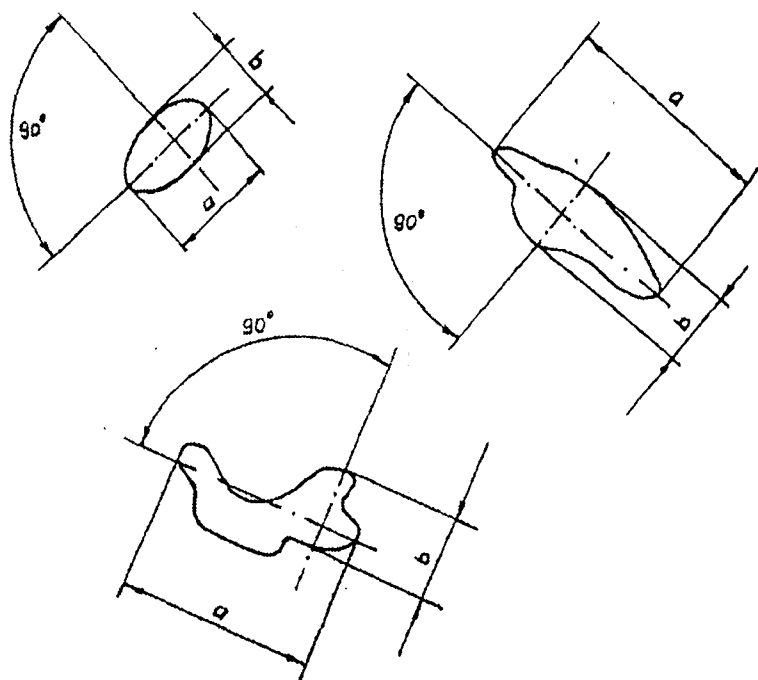


Рис. 62

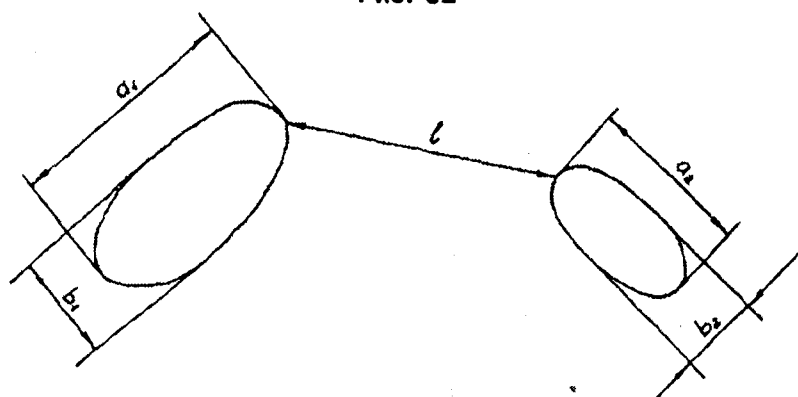


Рис. 63

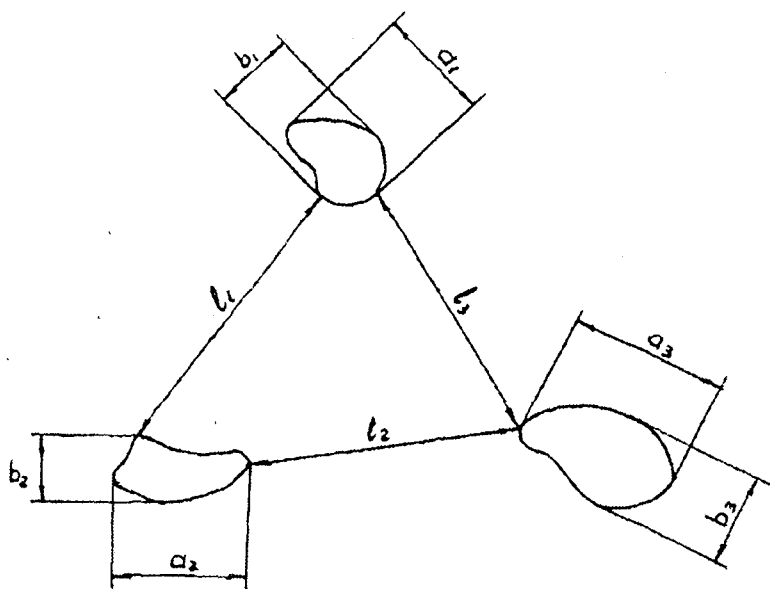


Рис. 64

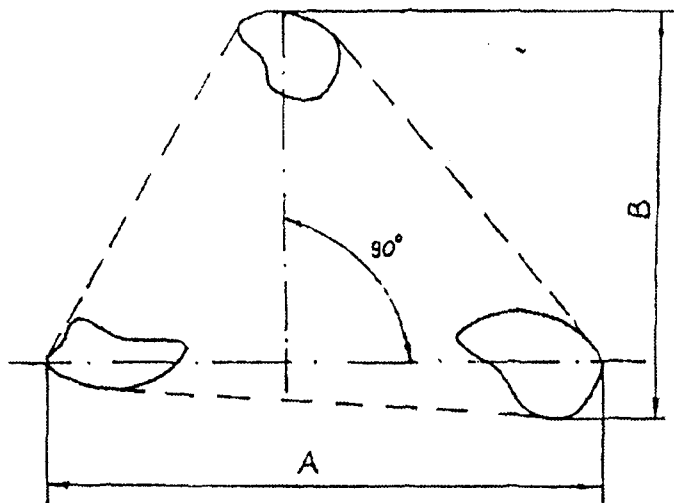


Рис. 65

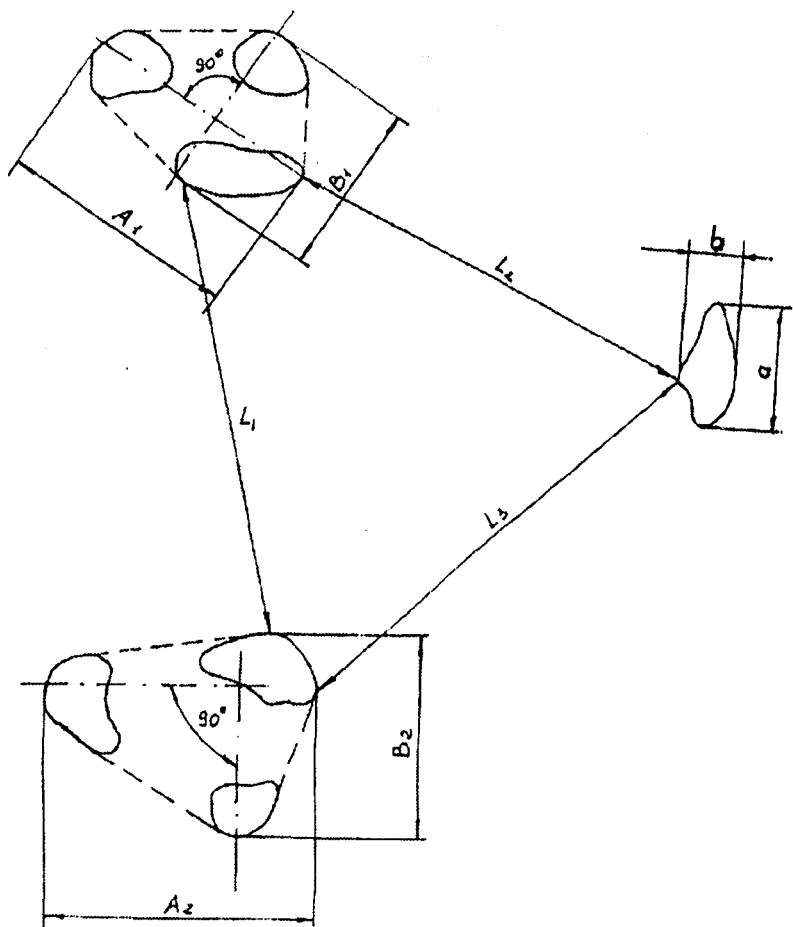
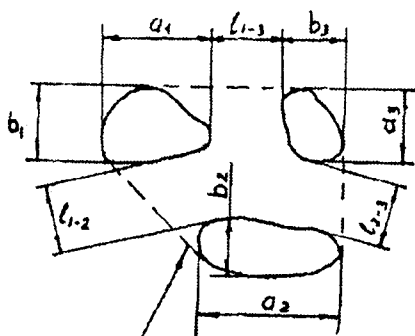


Рис. 66



Внешний контур группы включений

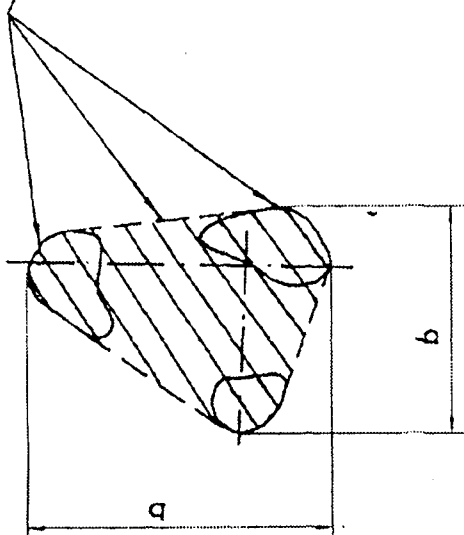


Рис. 67

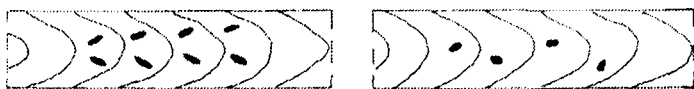


Рис. 68



Рис. 69



Рис. 70

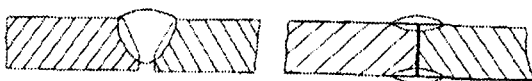


Рис. 71

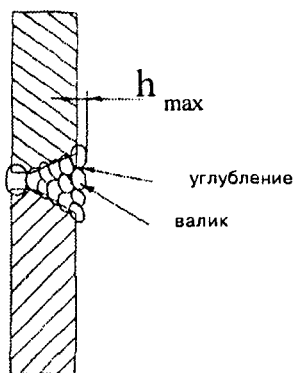


Рис. 72

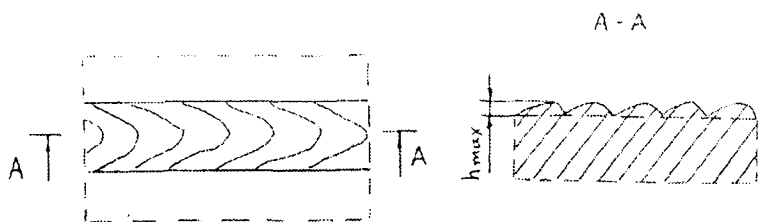


Рис. 73

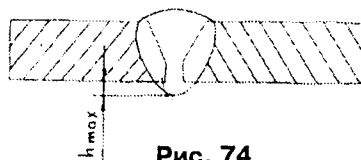


Рис. 74



Рис. 75

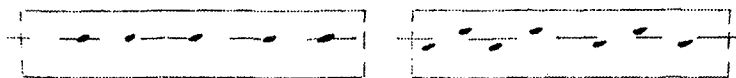


Рис. 76

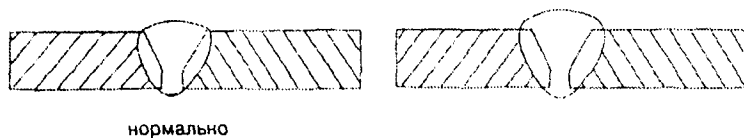
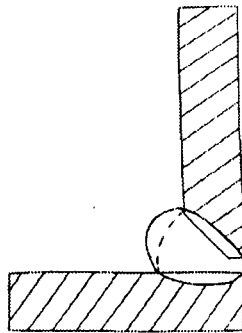
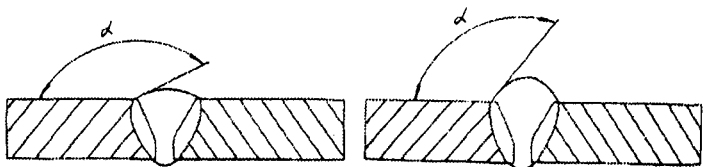


Рис. 77





**Рис. 78**



нормально

**Рис. 79**



**Рис. 80**

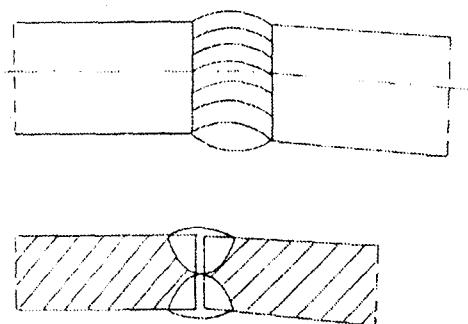


Рис. 81

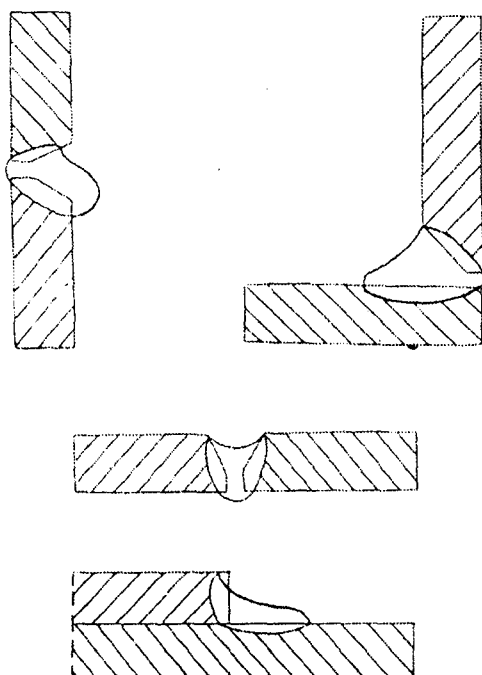
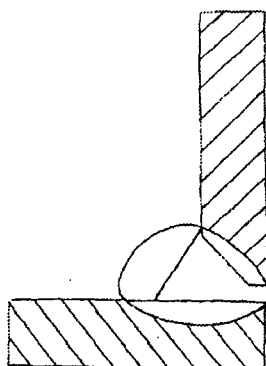


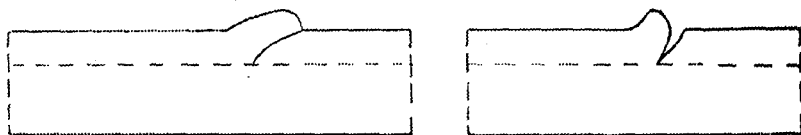
Рис. 82



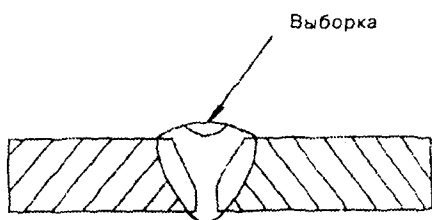
**Рис. 83**



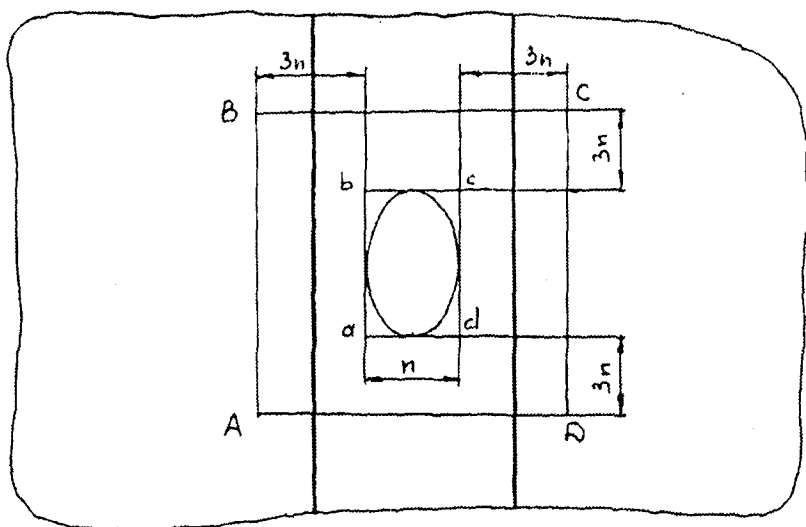
**Рис. 84**



**Рис. 85**



**Рис. 86**



**Рис. 87**

а, b, с, d - прямоугольник наименьшей площади, в контур которого вписывается  
выборка.

ABCD - исправленный участок;

n - ширина прямоугольника

## **Список использованной литературы.**

1. ГОСТ 23479-79 Методы оптического вида. Контроль неразрушающий. Общие требования.
2. ПНАЭ Г-7-010-89. Оборудования и трубопроводы атомных и энергетических установок. Сварные соединения и наплавки. Правила контроля.
3. ПНАЭ Г-7-016-89. Унифицированные методики контроля основных материалов (полуфабрикатов) сварных соединений и наплавки оборудования и трубопроводов АЭУ. Визуальный и измерительный контроль.
4. Н.А. Родина. Световые явления. Москва. Просвещение. 1986г.
5. В.И. Кузнецов. Свет. Москва. Педагогика. 1977г.
6. А.В. Корякин, А. С. Боровиков. Люминесцентная и цветная дефектоскопия. Москва. Машиностроение. 1972г,
7. Б.Ф. Билимович. Световые явления вокруг нас. Москва. Просвещение. 1986г.
8. Г.С. Самойлович. Неразрушающий контроль металлов и изделий. Москва. Машиностроение. 1976г.
9. В.П. Фоминых, А.П. Яковлев. Электросварка. Москва. Высшая школа. 1974г.
10. С.М. Рождественский. Объем, методы и нормы неразрушающего контроля изделий авиационной техники в условиях эксплуатации. ВИАМ ОНТИ. 1977г.
11. Р.И. Гжиров. Краткий справочник конструктора. Ленинград. Машиностроение. 1983г.
12. Н. С. Ознобишин, А. М. Лурье. Технический контроль в механических цехах. Москва. Высшая школа. 1979г,
13. П.П. Серебrenицкий. Краткий справочник станочника. Лениздат. 1982г.
14. Е.А. Скорородов. Общетехнический справочник. Москва. Машиностроение. 1982г.
15. А.И. Якушев. Справочник контролера машиностроительного завода. Допуски, посадки, линейные изменения. Москва. Машиностроение. 1980г.
16. Ф.В. Цидулко, В.А. Редкозубова. Современные приборы для измерения после механической обработки. Москва. Машиностроение. 1982г.
17. О. Боярова, А. Кольбенова. С головы до пят. Детская литература. 1967г.

18. Н.И.Кошкин. Элементарная физика. Москва. Наука.1991г.
19. Б.М.Яворский, Ю.А.Селезнев. Справочное руководство по физике. Москва. Наука.1979г.
20. Н.И. Кошкин, М.Г.Ширкевич. Справочник по элементарной физике. Москва. Наука.1974г.
21. А.С.Енохович. Справочник по физике и технике. Москва. Просвещение.1983г.
22. В.В.Козлов. Поверка средств неразрушающего контроля. Москва. Издательство стандартов 1989г.
23. ДНАП 0.00-1.27-97. Правила аттестации специалистов по неразрушающему контролю.
24. ГОСТ 264 33.0-85. Правила выполнения измерений. Общие положения.
25. ГОСТ 264 33.1-89. Правила выполнения измерений. Элементы заводского изготовления.
26. А.Л.Мартов, Ф.П.Волосевич. Краткий справочник контрольного мастера машиностроительного завода. Ленинград. Машиностроение.1973г.
27. Tacis 2.3.2/VT-01 от 04.96г. Курс профессиональной подготовки по визуальному контролю. Tacis.Задача 2.3.2.
28. ДНАОП 0.01-1.01-95 . Типовые правила пожарной безопасности и безопасности при использовании электроустановок промышленных предприятий.
29. ГОСТ 8.051-73. Погрешности, допускаемые при измерении линейных размеров от I до 500 мм.
30. ГОСТ 8.050-73. Нормальные условия выполнения линейных и угловых измерений.
31. ГОСТ 16504-81. Испытания и контроль качества продукции (основные термины и определения ).
32. ГОСТ 16263-70. Метрология (термины и определения).
33. ГОСТ 8.009-84. Нормирование и использование метрологических характеристик средств измерений (нормативно-технические документы).
34. РД-50-453-84. Методы расчета погрешностей средств измерений.
35. ДСТУ 2682-94. Метрологическое обеспечение. Основные положения.
36. ДОГУ 2708-94. Поверка средств измерений (организация и порядок).
37. ГОСТ 8.401-80. Нормирование погрешностей.

38. ГОСТ 24521-80. Контроль неразрушающий. Оптический. Термины и определения.
39. Мак.Мастер. Неразрушающие испытания. Книга 1. М. Энергия. 1965г.
40. В.В.Клюев (под редакцией). Визуальный и измерительный контроль. М.РОНКТД. 1998г.
41. В.В.Клюев, Ф.Р.Соснин, В.Н.Филинов. Неразрушающий контроль. М.Машиностроение. 1995г.
42. Ю.Б.Айзенберг (под редакцией). Справочная книга по светотехнике. М.Энергоатомиз -дат. 1983г.
43. А.Н.Журавлёв. Допуски и технические измерения. М.Высшая школа. 1981г.
44. Н.И.Марков, А.А.Кеткович, Д.К.Саттаров. Волоконно-оптическая интроскопия. Л.Машиностроение. 1989г.
45. ГОСТ 2.309-73. Шероховатость поверхностей.
46. В.И.Санцевич, Допуски и технические измерения. Минск. Оракул.1995г.
47. ДНАОП 0.00-1.03-93. Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных машин.
48. РД 34.10.130-96. Инструкция по визуальному и измерительному контролю. Министерство топлива и энергетики Российской Федерации.
49. ГОСТ 5264-80. Ручная дуговая сварка. Соединения сварные. Основные типы. Конструктивные элементы и размеры.
50. ГОСТ 14771-76. Дуговая сварка в защитном газе. Соединения сварные. Основные типы. Конструктивные элементы и размеры.
51. ГОСТ 11534-75. Ручная дуговая сварка. Соединения сварные под острыми и тупыми углами. Основные типы. Конструктивные элементы и размеры.
52. ГОСТ 16037-80. Соединения сварные стальных трубопроводов. Основные типы. Конструктивные элементы и размеры.
53. В.С.Воронец. Памятка крановщика. Москва. Машиностроение. 1969г.
54. С.Н.Ковбасенко. Сварщик - современная профессия. Киев. Радянська школа.1979г.
55. РД. 3410.030-89. Правила контроля качества сварных соединений трубопроводов атомных станций.
56. ГОСТ 15164-96. Сварные соединения и швы. Электро-

шлаковая сварка. Основные типы и конструктивные элементы.

57. РД 2730.940.103-92. Котлы паровые и водогрейные, грубопроводы пара и горячей воды.

Сварные соединения. Контроль качества.

58. РД 22-207-88. Машины грузоподъемные. Общие требования и нормы на изготовление.

59. ДНАОП 0.00-1.08-94. Правила устройства и безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов.

60. ГОСТ 12.1.013-78. Техника безопасности в строительстве.

61. ГОСТ 12.2.002-75. Требования безопасности на производстве. Основные положения.

62. И.А.Карабанов. Справочник по трудовому обучению. Москва. Просвещение.1992г.

63. П. С. Лернер, П.М.Лукьянов. Токарное и фрезерное дело. Москва. Просвещение. 1990г.

64. Е.М. Муравьев. Слесарное дело. Москва. Просвещение.1990г.

65. ГОСТ 7512-82. Сварные соединения. Классификация.



## **Содержание**

1. Сущность метода визуально-оптического контроля .....	9
1.1. Общие сведения .....	9
1.2. Сущность метода визуального контроля .....	10
1.3. Визуально-оптический контроль .....	12
1.4. Сущность визуально-оптического контроля .....	12
1.5. Визуальный контроль среди других методов НК .....	14
1.6. Интерпретация (истолкование) и оценка .....	14
1.7. Глаз как средство контроля .....	15
1.8. Бинокулярное зрение .....	28
2. Основные параметры VT. Способы измерения основных параметров. Измеряемые характеристики и признаки обнаруженных дефектов .....	33
2.1. Видимость объектов. контрастная чувствительность зрения .....	33
2.2. Разрешающая способность и острота зрения .....	38
2.3. Цветоощущение .....	42
2.4. Временные характеристики зрения .....	47
2.5. Усталость .....	47
2.6. Единицы измерения света и энергии .....	49
2.7. Уровни освещенности и приборы для ее измерения .....	51
2.8. Подготовка к проведению контроля .....	54
2.9. Блеск и геометрия изделия .....	57
2.10. Геометрия и характеристики освещения .....	57
2.11. Используемая техника и методы наблюдения .....	58
2.12. Оформление результатов контроля .....	59
3. Аппаратура и измерительные инструменты для визуально-оптического контроля .....	60
3.1. Вспомогательные оптические средства в визуальном контроле .....	61
3.2. Средства увеличения .....	62
3.3. Средства приближения .....	70
3.4. Приборы обследования недосягаемых точек .....	71
3.5. Контроль изделий с применением оптико-электронных систем анализа изображения .....	82
4. Основы измерительного контроля .....	84
4.1. Назначение. Возможности измерительного контроля.	

Классификация средств .....	84
4.2. Требования при проведении измерительного контроля .....	88
4.3. Погрешность измерений .....	89
4.4. Погрешности средств измерений .....	92
4.5. Основные метрологические характеристики приборов .....	95
4.6. Средства измерительного контроля .....	98
4.7. Калибры .....	126
4.8. Методы измерений .....	137
4.9. Метрология средств измерительного контроля .....	138
Иллюстрации к теме: "Основы измерительного контроля" .....	141
5. Основные сведения об объекте контроля. Материал. Конфигурация и размеры. Основные понятия о технологии изготовления, эксплуатации и ремонта .....	204
5.1. Резьбовые соединения .....	204
5.2. Клепаные соединения .....	208
5.3. Сварные соединения .....	211
5.3.1. Основные виды сварки и наплавки .....	212
5.3.2. Сварные соединения (определения) .....	215
5.3.3. Типы сварных соединений .....	216
5.3.4. Элементы сварного шва .....	216
5.3.5. Электроды для сварки и наплавки .....	219
6. Основные требования к материалам и соединениям .....	220
6.1. Основные свойства материалов .....	221
6.2. Элементы химического состава и их влияние на свойства сталей .....	223
6.3. Чугуны .....	225
6.4. Стали .....	227
6.5. Цветные металлы и сплавы .....	234
6.5.1. Латунь .....	234
6.5.2. Бронзы .....	234
6.5.3. Алюминиевые сплавы .....	235
6.5.4. Магниеые сплавы .....	235
6.5.5. Титановые сплавы .....	236
6.6. Неметаллы .....	236
6.6.1. Пластические массы .....	236
6.6.2. Керамика .....	237
6.6.3. Ситаллы .....	237

6.6.4. Резина .....	238
6.6.5. Композиционные материалы .....	238
6.7. Материалы для изготовления электродов для дуговой сварки .....	238
6.8. Окисление металлов и борьба с коррозией .....	242
6.8.1. Поверхностная коррозия .....	242
6.8.2. Межкристаллитная коррозия .....	243
6.8.3. Местная коррозия .....	243
6.8.4. Защита от коррозии (покрытия) .....	243
6.8.5. Контроль покрытий .....	244
7. Дефекты и причины их возникновения в различных соединениях конструкций, механизмов и машин .....	246
7.1. Виды дефектов и повреждений .....	246
7.2. Дефекты и причины их образования в болтовых соединениях .....	247
7.3. Дефекты и причины их образования в клепаных соединениях .....	247
7.4. Дефекты и причины их образования в сварных соединениях .....	248
8. Методика проведения визуально-оптического и измерительного контроля разъемных и неразъемных соединений и основного металла (объектов контроля) .....	253
8.1. Общие положения .....	253
8.2. Приборы и инструменты для визуального и измерительного контроля .....	256
8.3. Проведение визуального и измерительного контроля .....	258
8.4. Требования к отчетной документации .....	265
9. Мероприятия по вопросам охраны труда и технике безопасности при визуально-оптическом и измерительном контроле. Охрана окружающей среды .....	268
Иллюстрации к темам: 5,6,7,8 .....	271
Список использованной литературы .....	30

УДК.535.  
Щ-58

**Володимир Йосипович Щепковський**

**Візуально-оптичний  
та вимірювальний контроль**

*учбовий посібник*

Відгуки: Клочихін В.Г., Балакірев П.А., Назаренко К.В.

Редактор  
Дизайн та верстка  
Коректор

Т.Є. Деркаченко  
О. В.Рогачова  
В. Й.Щепковський

**ISBN-966-7108-85-6**

Папір Хегох 80 г/м<sup>2</sup>, гарнітура Times ET, Karina.  
Видавнича система DochuTech – 135.  
Зам. № 4285

Видавничий комплекс ВАТ «Мотор Січ»  
69068, Запоріжжя, 8 Березня, 15,  
тел. (0612) 614955, 614249.