

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Н.П. Калиниченко, А.Н. Калиниченко

**ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
ПО ВИЗУАЛЬНОМУ И ИЗМЕРИТЕЛЬНОМУ
МЕТОДУ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ**

Учебное пособие

Издательство
Томского политехнического университета
2008

УДК 620.179.1(076.5)

ББК 22.344я73

К17

Калиниченко Н.П.

К17 Лабораторный практикум по визуальному и измерительному методу контроля: учебное пособие / Н.П. Калиниченко, А.Н. Калиниченко. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 200 с.

ISBN 5-98298-321-7

В учебном пособии предложен цикл лабораторных работ по курсу «Визуальный и измерительный контроль» и «Визуально-оптический контроль». Приведены теоретические сведения по рассматриваемым темам лабораторных работ, требования к средствам визуального и измерительного контроля, оценки и регистрации результатов контроля.

Пособие разработано в рамках реализации Инновационной образовательной программы ТПУ по направлению «Неразрушающий контроль» и предназначено для студентов специальности 200102 «Методы и приборы контроля качества», а также может быть полезно специалистам, применяющим методы неразрушающего контроля.

УДК 620.179.1(076.5)

ББК 22.344я73

Рекомендовано в качестве учебного пособия

Редакционно-издательским советом

Томского политехнического университета

Рецензент

Кандидат технических наук

директор Центра технической диагностики ФГНУ НИИИН

В.А. Забродский

ISBN 5-98298-321-7

© Калиниченко Н.П., Калиниченко А.Н., 2008

© Томский политехнический университет, 2008

© Оформление. Издательство Томского политехнического университета, 2008

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в производстве широко применяют неразрушающий контроль (НК). НК является экспериментальным методом оценки качества, обеспечивающим определение характеристик, показателей качества.

Практика показывает, что аварии и катастрофы, происходящие при разрушении элементов конструкций объектов, машин и изделий, почти всегда связаны с наличием в них дефектов. Для их выявления используют различные методы НК, в том числе визуальный и измерительный.

Численность персонала, по роду своей деятельности связанного с проблемами визуального и измерительного контроля, постоянно растет. Работники часто не получают необходимых практических знаний в образовательных учреждениях, им приходится постигать основы визуального и измерительного контроля в процессе своей трудовой деятельности. Этим объясняется большая потребность в учебных материалах.

Основополагающие нормативные документы по сертификации специалистов НК, как национальные, региональные, так и международный стандарт ISO 9712, требуют от сдающих квалификационные экзамены глубоких знаний, в том числе и по материаловедению, и по причинам образования дефектов. Очевидно, что специалист по НК, не знающий технологии и не понимающий причин возникновения дефектов при изготовлении и эксплуатации изделий, не сможет надежно и экономно их проконтролировать.

Предлагаемое учебное пособие в определенной степени поможет студентам овладеть практическими навыками проведения визуального и измерительного контроля, а также может быть полезно специалистам, применяющим методы неразрушающего контроля.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ИЗМЕРЕНИЕ ОСВЕЩЕННОСТИ И ЯРКОСТИ ЛЮКСМЕТРОМ

Цель работы: измерить освещённость рабочих мест в аудитории и неравномерность яркости рабочего поля экрана монитора компьютера.

Применяемое оборудование: люксметр-яркомер «ТКА-04/3».

1.1. Краткие теоретические сведения

Под освещенностью E_v понимается плотность падающего на элементарный участок поверхности светового потока (формула 1.1):

$$E_v = \frac{d\Phi_v}{dS}, \quad (1.1)$$

где Φ_v – световой поток, падающий на поверхность площадью S ;

S – площадь равномерно освещаемой поверхности вокруг точки, в которой производится измерение освещенности.

За единицу измерения освещенности принят *люкс*, выраженный отношением светового потока к площади поверхности: $1 \text{ лм/м}^2 = 1 \text{ лк}$.

За единицу измерения светового потока принят *люмен*. 1 лм – световой поток, испускаемый точечным источником в телесном угле 1стерадиан при силе света 1 кандела.

За единицу измерения силы света принята кандела. 1 кд – сила света источника, испускающего в заданном направлении монохроматическое излучение частотой от 540 до 1012 Гц, энергетическая сила которого составляет $1/683 \text{ Вт/ср}$.

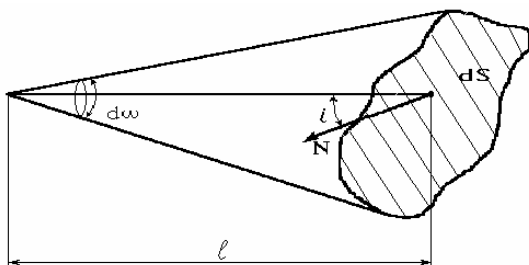


Рис. 1.1

Величина $d\Phi_v$ светового потока, падающего на поверхность dS , от точечного источника с силой света J_v , определяется по формуле

$$d\Phi_v = J_v \cdot d\omega = \frac{J_v \cdot dS}{l^2}, \quad (1.2)$$

где $d\omega$ – телесный угол с вершиной в центре источника света, опирающийся на площадку dS сферы с радиусом R .

Из (1.1) и (1.2) следует формула (1.3):

$$E_v = \frac{J_v}{l^2}. \quad (1.3)$$

В том случае, если освещаемая поверхность располагается не перпендикулярно направлению на источник света, а под некоторым углом i , на поверхность падает поток, пропорциональный площади ее проекции на плоскость, которая перпендикулярна этому направлению. Следовательно, освещенность определяем по формуле

$$E_v = \frac{J_v}{l^2} \cos I. \quad (1.4)$$

Падающий на поверхность световой поток связан со спектральной плотностью излучения соотношением (1.5):

$$\Phi_v = \int_0^{\infty} \phi_{\lambda} \cdot v_{\lambda} \cdot d\lambda = 683 \cdot \phi_{\max} \cdot \int_0^{\infty} \phi(\lambda) \cdot v(\lambda) d\lambda, \quad (1.5)$$

где $\phi_{\lambda} = \phi_{\max} \cdot \phi(\lambda)$, $v_{\lambda} = v_{\max} \cdot v(\lambda) = 683 \cdot v(\lambda)$;

ϕ_{λ} , $\phi(\lambda)$ – спектральная плотность потока излучения, падающего на поверхность, выраженная в абсолютных (Вт/нм для ϕ_{λ}) и относительных (для $\phi(\lambda)$) единицах;

$v(\lambda)$ – относительная спектральная световая эффективность излучения;

ϕ_{\max} – максимальное значение спектральной плотности излучения;

$v_{\max} = 683$ лм/Вт – световая эффективность излучения при максимуме чувствительности глаза 555 нм.

Следовательно, освещенность поверхности от источника определяется по формуле

$$E_v = \frac{d\phi_{\max}}{dS} \cdot 683 \cdot \int_0^{\infty} \phi(\lambda) \cdot v(\lambda) d\lambda, \quad (1.6)$$

где $\frac{d\phi_{\max}}{dS}$ – спектральная плотность потока излучения, падающего на элементарный участок поверхности.

Измерения освещенности выполняются обычно объективными методами. Очевидно, что измерения будут верными лишь в том случае, когда относительная спектральная чувствительность приемника света $\gamma(\lambda)$ подобна относительной спектральной световой эффективности $v(\lambda)$, т. е. подобна спектральной чувствительности глаза:

$$\gamma(\lambda) = a \cdot v(\lambda), \quad (1.7)$$

где a – коэффициент пропорциональности.

Под спектральной чувствительностью приемника света понимается зависимость его чувствительности от длины волны к монохроматическому свету. Величина фототока i_ϕ в случае использования приемника света с такой спектральной чувствительностью и линейной световой характеристикой определяется по формуле

$$i_\phi = \gamma_{\max} \cdot \frac{d\phi_{\max}}{dS} \cdot S' \cdot \int_0^\infty \phi(\lambda) \cdot \gamma(\lambda) d\lambda = a \cdot \gamma_{\max} \cdot \frac{d\phi_{\max}}{dS} \cdot S' \cdot \int_0^\infty \phi(\lambda) \cdot v(\lambda) d\lambda, \quad (1.8)$$

где S' – площадь открытой поверхности фотокатода;

γ_{\max} – максимальное значение спектральной чувствительности (А/лм).

Из формул (1.6) и (1.8) следует:

$$i_\phi = a \cdot S' \cdot \frac{\gamma_{\max}}{683} E_n. \quad (1.9)$$

Поскольку S' является для конкретного приемника света величиной постоянной, выражение (1.9) можно записать в следующем виде:

$$E_v = K \cdot i_\phi, \quad (1.10)$$

где K – постоянная величина.

Все сказанное верно всегда, когда площадь равномерно освещаемой поверхности S в плоскости приемника света больше S' . В противном случае измеряется средняя по поверхности фотокатода освещенность. Если же освещаемая поверхность S меньше площади фотокатода S' , результат измерений по формуле (1.10) должен быть увеличен в S'/S раз.

Описание установки

Назначение прибора

Прибор предназначен для измерения:

- освещенности (в лк) в видимой области спектра;
- яркости (в кд/м²) накладным методом ТВ-кинескопов, дисплейных экранов и самосветящихся протяженных объектов.

Область применения прибора

Прибор используется: в производственных помещениях, библиотеках, архивах, музейных помещениях, медицинских учреждениях, на транспорте, в сельском хозяйстве и других сферах деятельности.

Прибор для измерения освещенности называется люксметром. Для измерения освещенности следует использовать люксметры с измерительными преобразователями излучения, имеющими спектральную погрешность не более 10 %, определяемую как интегральное отклонение относительной кривой спектральной чувствительности измерительного

преобразователя излучения от кривой относительной спектральной световой эффективности монохроматического излучения для дневного зрения $v(\lambda)$ по ГОСТ 8.332. Перед измерением освещенности от искусственного освещения следует провести замену всех перегоревших ламп и чистку светильников. Измерение освещенности может также производиться без предварительной подготовки осветительной установки, что должно быть зафиксировано при оформлении результатов измерения.

Выпускаемые люксометры различаются диапазонами измерений освещенности и конструкцией. Как правило, люксометры имеют в качестве приемника света селеновый фотоэлемент. Селеновый фотоэлемент с запирающим слоем является одним из наиболее распространенных для светотехнических измерений приемником света. Поглощенная селеновым фотоэлементом энергия оптического излучения преобразуется непосредственно в электрическую, что позволяет осуществлять измерения без внешнего источника питания. Селеновый фотоэлемент имеет спектральную чувствительность, перекрывающую спектр чувствительности глаза (рис. 1.2).

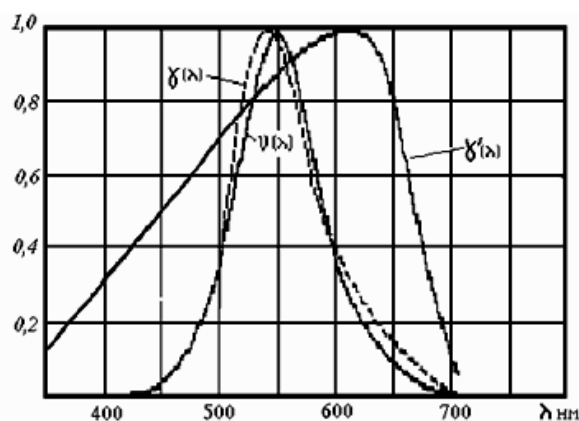


Рис. 1.2. Относительная спектральная световая эффективность излучения $v(\lambda)$, чувствительность селенового фотоэлемента $\gamma(\lambda)$, чувствительность селенового фотоэлемента с корригирующим светофильтром $\gamma'(\lambda)$

Для исправления спектральной чувствительности селенового фотоэлемента вплотную к нему ставится корригирующий светофильтр, что позволяет получить спектральную чувствительность $\gamma(\lambda)$, подобную кривой спектральной световой эффективности излучения. В качестве корригирующего светофильтра используется, как правило, комбинация из двух стандартных светофильтров: ЗС-8 (толщиной 1,9 мм) и ЖЗС-18 (толщиной 2,1 мм).

Селеновый фотоэлемент при воздействии на него света является источником тока. Эквивалентная электрическая схема селенового фотоэлемента, замкнутого сопротивлением нагрузки R_H , представлена на рис. 1.3.

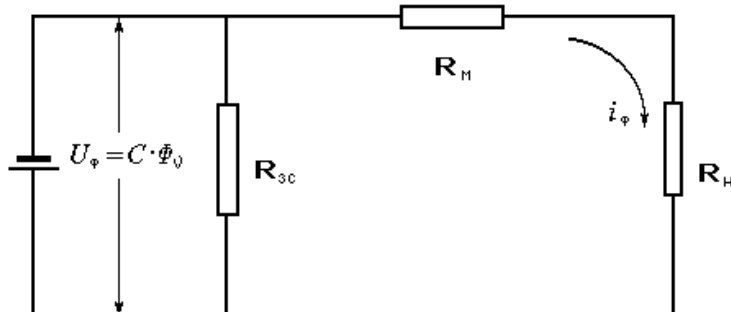


Рис. 1.3. Эквивалентная электрическая схема селенового фотоэлемента

В соответствии со схемой ток в цепи определяется выражением:

$$i_\phi = \frac{U_\phi}{R} = C \cdot \Phi_v \cdot \left(\frac{1}{R_{3.c}} + \frac{1}{R_M + R_H} \right), \quad (1.11)$$

где U_ϕ – фотоЭДС;

R – сопротивление цепи;

C – коэффициент пропорциональности;

$R_{3.c}$ – сопротивление запирающего слоя;

R_M – сопротивление материала фотоэлемента и контактов;

R_H – сопротивление нагрузки, которое равно внутреннему сопротивлению измерителя тока.

Перепишем (1.11), обозначив $R_M + R_H$ как R'_H (общее сопротивление нагрузки источника тока):

$$i_\phi = C \cdot \Phi_v \cdot \left(\frac{1}{R_{3.c}} + \frac{1}{R'_H} \right). \quad (1.12)$$

Величина $R_{3.c}$ является функцией освещенности, с увеличением освещенности сопротивление запирающего слоя падает. Например, для селенового фотоэлемента типа ФС-3 при освещенности 10 лм/м^2 $R_{3.c} \approx 100 \dots 150 \text{ КОм}$; при 500 лм/м^2 – $R_{3.c} \approx 5 \text{ КОм}$. Из выражения (1.12) следует, что при $R_{3.c} \gg R_H$, т. е. при малой освещенности величина фототока определяется только сопротивлением нагрузки. С усилением освещенности $R_{3.c}$ может стать сопоставимым с R_H , что скажется на световой характеристике: световая характеристика (зависимость величины фототока от освещенности) становится нелинейной. Поэтому для расширения диапазона измерений, в

области которого световая характеристика линейна, используют измерители тока с малым внутренним сопротивлением.

Ток, при воздействии света на селеновый фотоэлемент, может несколько уменьшаться в течение первых минут. Эта особенность фотоэлемента называется *утомляемостью*. Утомляемость зависит от спектрального состава измеряемого излучения и различна для разных фотоэлементов. Как правило, уменьшение тока не превышает нескольких процентов от величины начального тока, поэтому погрешность измерений из-за утомляемости невелика. Принципиальная электрическая схема люксметра представлена на рис. 1.4.

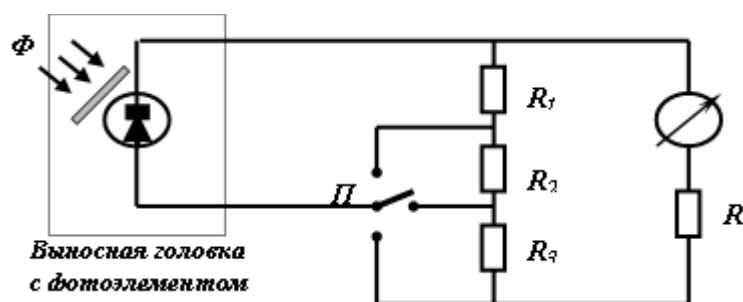


Рис. 1.4. Принципиальная электрическая схема люксметра

Фотоэлемент в выносной головке с корригирующим светофильтром соединен гибким проводником с прибором. Измерение тока осуществляется микроамперметром, шкала которого градуируется в единицах освещенности при изготовлении прибора.

Для расширения диапазона возможных измерений микроамперметр соединен с фотоэлементом через делитель R_1 , R_2 , R_3 с переключателем «П». Как правило, каждым шагом переключателя диапазон измерений изменяется на порядок. Последовательно с микроамперметром ставится ограничительное сопротивление R_0 для предотвращения перегорания прибора в случае замыкания цепи при больших токах.

С этой же целью – расширения диапазона измерений – фотоэлемент может закрываться специальным нейтральным светофильтром в виде молочного стекла или сетки, уменьшающих поток падающего на фотоэлемент света. Коэффициент ослабления указывается на светофильтре. При измерениях выносная головка помещается в плоскости измерения освещенности. С помощью переключателя и нейтрального светофильтра устанавливается наиболее удобный для снятия показаний диапазон измерений.

Градуировка люксметров производится с помощью ламп накаливания, имеющих цветовую температуру около $2\ 800\text{ °K}$ при падении света

на фотоэлемент по направлению, близкому к нормали, и не превышающему угол к ней более чем на 20° (ГОСТ 13582). Поскольку спектральная чувствительность фотоэлемента несколько отличается от спектральной чувствительности глаза, результат измерений освещенности от источников света со спектральным составом может несколько отличаться от истинного. Эти различия для фотоэлемента с корригирующим светофильтром невелики и обычно не превышают 5 %. Поскольку спектральный состав света, используемого для освещения, обычно известен (лампы накаливания, люминесцентные лампы, ртутные, ксеноновые дуговые и др.), всегда можно ввести поправочный коэффициент для измерений освещенности. Значения поправочного коэффициента приводятся в инструкциях по пользованию люксметром.

Для измерения освещения обычно не требуется высокой точности. В большинстве случаев достаточным является измерение с погрешностью до 10 %.

Для выполнения лабораторной работы используется люксметр-яркомер «ТКА-04/3» (рис. 1.5).



Рис. 1.5. Люксметр-яркомер «ТКА-04/3»

1.3. Основные технические данные и характеристики

1.3.1. Диапазоны измерения:

- освещенности 10–200 000 лк
- яркости 10–200 000 кд/м²

1.3.2. Дополнительная погрешность канала измерения освещенности, канала измерения яркости за счет изменения температуры окружающего воздуха в диапазоне рабочих температур на каждые 10°C , не более 3 %.

1.3.3. Отклонение показаний прибора от «0» при закрытых входных окнах фотоприемников не больше ± 5 единиц младшего разряда.

При измерении величин, меньших 100 единиц младшего разряда, необходимо вычитать из измеренной величины отклонение показаний прибора от «0» при закрытых входных окнах фотоприемников.

1.3.4. Предел допускаемого значения основной относительной погрешности измерения освещенности не более 8 %.

1.3.5. Предел допускаемого значения относительной погрешности измерения яркости не более 10 %.

1.3.6. Общие технические данные

1.3.6.1. Вид индикатора: цифровой жидкокристаллический.

1.3.6.2. Время непрерывной работы прибора, ч, не менее 8,0

1.3.6.3. Рабочие условия эксплуатации прибора:

- температура окружающего воздуха, °Сот 0 до 40
- относительная влажность воздуха при температуре окружающего воздуха 25 °С, % не более 98
- атмосферное давление, кПа 80–110

1.3.6.4. Для питания прибора используется батарея типа «Крона» ТУ 16-729.060–91.

1.3.6.5. Габаритные размеры прибора, мм (не более):

- блок обработки сигналов 160×85×30
- измерительная головка 150×50×50

1.3.6.6. Масса прибора, кг (не более) 0,39

1.3.6.7. Средняя наработка на отказ, ч, не менее 2 000

1.4. Устройство и принцип его работы

1.4.1. Конструктивно прибор состоит из двух функциональных блоков – измерительной головки и блока обработки сигналов, связанных между собой многожильным кабелем. В измерительной головке расположены фотоприемные устройства, чувствительные в видимом диапазоне спектра.

На блоке обработки сигналов расположен переключатель режимов работы и жидкокристаллический индикатор, который является отсчетным устройством прибора.

Корпуса измерительной головки и блока обработки сигналов изготовлены из ударопрочного полистирола.

1.4.2. Прибор может работать в двух режимах: 1 – измерение освещенности, 2 – измерение яркости.

1.4.3. На задней стенке измерительной головки расположена крышка батарейного отсека.

1.4.4. Принцип работы прибора заключается в преобразовании фотоприемными устройствами оптического излучения в электрический сигнал с последующей цифровой индикацией числовых значений освещенности (в лк) и яркости (кд/м²).

1.5. Подготовка к работе

1.5.1. До начала работы с прибором внимательно ознакомьтесь с назначением прибора, его техническими данными и характеристиками, устройством и принципом его действия, а также с методикой проведения измерений.

1.5.2. Эксплуатация прибора допускается только в рабочих условиях, указанных в п. 3 паспорта.

1.5.3. Перед началом работы убедитесь в работоспособности элемента питания. Если при включении прибора в поле индикатора появится символ, индицирующий разряд батареи, то необходимо произвести замену элемента питания.

1.6. Порядок выполнения работы

1.6.1. Включите прибор. Выберите необходимый режим работы с помощью переключателя (рис. 1.6).

1.6.2. В случае измерения освещенности, расположите измерительную головку параллельно плоскости измеряемого объекта. Проследите за тем, чтобы на окна фотоприемников не падала тень от оператора, производящего измерения, а также тень от временно находящихся посторонних предметов. При измерении неравномерности яркости экранов видеодисплеев терминалов и экранов мониторов персональных электронно-вычислительных машин расположите измерительную головку прибора параллельно плоскости экрана на расстоянии 1...4 мм (рис. 1.7).

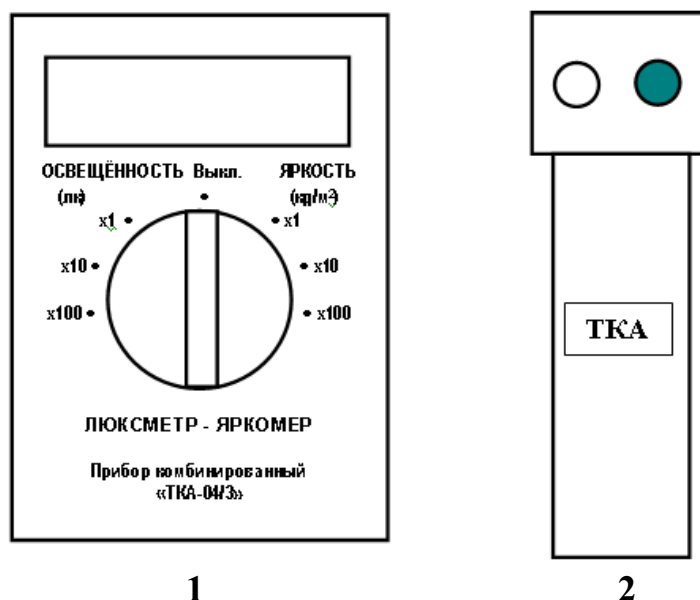


Рис. 1.6. Внешний вид прибора:
1 – блок обработки сигналов; 2 – измерительная головка

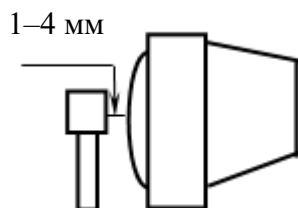


Рис. 1.7. Расположение измерительной головки прибора

Входные окна фотоприемников должны быть обращены по направлению к плоскости экрана, при этом диаметр измеряемой площадки не превышает 7...9 мм.

1.6.3. Считайте, после установления показаний, с цифрового индикатора измеренное значение освещенности или яркости в зависимости от выбранного положения переключателя.

Реальные уровни освещенности приведены в табл. 1.1, 1.2.

Таблица 1.1

Реальные уровни освещенности

Освещенность, лк	Внешнее восприятие	Примечание
Менее 1	Темнота	Экспериментальные данные
1	Человек легко ориентируется в пространстве, различает препятствия. При переходе из ярко освещенного помещения требуется короткое время для адаптации	Экспериментальные данные
5	Легко читаются заголовки газет, показания механических ЖК-часов	Экспериментальные данные
10	Освещенность около свечи	Справочные данные
15...20	Свет от сигареты на расстоянии 30 см	Справочные данные
15...35	Свет в кинотеатре во время перерыва	Справочные данные
50	Можно читать тексты в газете, но зрение при этом напрягается	Экспериментальные данные
100	Длительное чтение еженедельника утомляет глаза	Экспериментальные данные
300	Комфортные условия для чтения еженедельника	Экспериментальные данные
400...500	Стандартное освещение офисов, библиотек	Справочные данные
1 000	Ясный день за 1 час до заката	Справочные данные
2 000	Ясный день через 1 час после восхода	Справочные данные
25 000	Облачный летний день в 10 утра	Справочные данные
65 000	Ясный летний день в 10 утра	Справочные данные
10 0000	Ясный летний день в полдень	Справочные данные

Таблица 1.2

Тип помещения	Освещенность(лк), по нормам:	
	российским (СНиП 23-05-95)	международным (МКО)
Офисы общего назначения с использованием компьютеров	200...300	500
Офисы большой площади со свободной планировкой	400	750
Офисы, в которых производятся чертежные работы	500	1000
Конференц-залы	200	300
Лестницы, эскалаторы	50...100	150
Коридоры, холлы	50...75	100
Архивы	75	200

1.7. Измерение неравномерности яркости участков рабочего поля экрана монитора компьютера

1.7.1. Люксметр-яркомер предназначен для измерения освещенности и яркости участков рабочего поля экрана: круглых участков диаметром от 0,1 мм до 5 мм, прямоугольных участков шириной не более 0,05 мм, длиной от 2,0 до 5,0 мм.

Пределы измерения – от 1,0 кд/м² до 20 000 кд/м².

Основная погрешность измерения – не более 10 %.

1.7.2. Общие требования к подготовке и проведению измерений, обработке и оценке результатов.

Перед проведением измерений подготовьте дисплей и средства измерения в соответствии с их эксплуатационной документацией.

Измерения проводят в нормальных климатических условиях по ГОСТ 21552, если другое не установлено нормативными документами (НТД) на дисплей.

Яркость изображения $L_{и}$ на экране складывается из двух составляющих: яркости излучения $L_{изл}$ и отраженной яркости $L_{отр}$, обусловленной внешним освещением. Яркость изображения $L_{и}$, кд/м², рассчитывают по формуле:

$$L_{и} = L_{изл} + L_{отр} \quad (1.13)$$

Отраженную яркость измеряют при выключенном дисплее.

Неравномерность яркости рабочего поля экрана должна быть не более 20 %.

Измерения проводят не ранее чем через 20 мин после включения питания, если не предусмотрен иной режим технической документацией на изделие и программой испытаний.

Измерения параметров изображения проводят в пяти участках экрана, указанных на рис. 1.8, если иное не установлено методами измерения конкретных параметров.

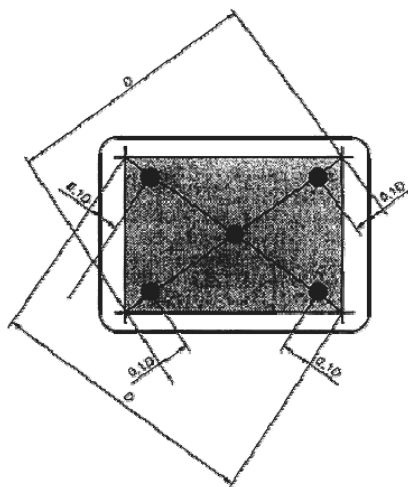


Рис. 1.8. Участки экрана, предусмотренные для измерения параметров изображения

Измерение параметров изображения проводят в затемненном помещении или при наличии искусственного внешнего освещения. Освещение экрана должно быть диффузным, или угол падения света должен быть равен или более 45° относительно нормали к плоскости, касательной к поверхности экрана в его центре.

Задания

1. Оцените степень утомляемости фотоэлемента.
2. Измерьте горизонтальную и вертикальную освещённость в аудитории на рабочих местах.
3. Рассчитайте погрешность градуировки.
4. Сделать заключение о соответствии освещённости помещения существующим нормам.
5. Нарисуйте схему освещения рабочего места.
6. С помощью люксметра-яркомера измерить неравномерность яркости участков рабочего поля экрана монитора компьютера в заданных точках.
7. По результатам измерения освещенности рабочего места заполните протокол согласно приложению А.
8. Сделайте выводы о проделанной работе.

Указания к выполнению работы

1. Определение утомляемости фотоэлемента следует проводить на адаптированном приемнике света, для чего перед измерениями необходимо закрыть его и выдержать в темноте в течение 5 мин.

2. Для общей характеристики распределения освещенности производят измерения горизонтальной и вертикальной освещенности. Горизонтальная освещенность нормируется и измеряется в плоскости рабочей поверхности стола, станка и т. д. Вертикальная освещенность нормируется и измеряется в двух взаимно перпендикулярных плоскостях (в 4 направлениях) в заданных точках на уровне 1,5 м от пола в помещениях общественных зданий. Необходимо измерить в заданных преподавателем точках аудитории горизонтальную освещенность в плоскости стола и вертикальную (в 4-х направлениях) на уровне 1,5 м от пола.

3. Уровень освещенности устанавливается нормами, примеры которых приведены в табл. 1.3.

Освещенность рабочего стола оператора в горизонтальной плоскости от общего освещения должна быть от 300 до 500 лк.

Таблица 1.3

Помещения	Освещенность горизонтальная (лм/м ²)	
	люминесцентные лампы	лампы накаливания
Аудитории (на уровне стола)	300	150
Аудитория (в плоскости доски)	500	300
Коридоры	75	30

Контрольные вопросы и задания

1. Дайте определение освещенности.
2. В каких единицах измеряется освещенность?
3. Дайте определение спектральной чувствительности приемника света.
4. Дайте определение горизонтальной и вертикальной освещенности.
5. Поясните назначение корригирующего светофильтра.
6. Перечислите приемы расширения диапазона измерений люксметра.
7. Понятие «световая характеристика приемника света».
8. Почему световая характеристика селенового фотоэлемента является нелинейной?
9. Почему результат измерения освещенности зависит от спектрального состава освещения?
10. Что такое «утомляемость» селенового фотоэлемента?

11. Чему равна освещенность в плоскости фотоэлемента, если при частично закрытом фотоэлементе на 75 % его поверхности прибор показывает значения 100 лм/м^2 ?

Список литературы

1. Гуревич М.М. Фотометрия. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 180 с.
2. Люксметр-яркоммер. Прибор комбинированный «ТКА-ПК» Руководство по эксплуатации. – С.-Пб., 2003.
3. ГОСТ 24940-96. Здания и сооружения. Методы измерения освещенности. – М.: Госстандарт России, 1997.
4. ГОСТ Р 50949-2001. Средства отображения информации индивидуального пользования. Методы измерений и оценки эргономических параметров и параметров безопасности. – М.: Госстандарт России, 2005.

Приложение А (обязательное)

Протокол измерений освещенности в производственных и общественных помещениях

Наименование (номер) помещения _____.

Номер прибора _____ . Дата проведения измерений _____.

Напряжение сети: $U_1 =$ _____, $U_2 =$ _____.

(в начале измерений) (в конце измерений)

Наименование действующего нормативного документа _____.

Состояние осветительной установки _____.

№ контрольных точек	Место измерения, наименование рабочей поверхности	Плоскость измерения (горизонтальная, вертикальная, наклонная) высота от пола, м	Освещенность, лк								Заключение о степени соответствия освещенности на рабочем месте действующим нормам	
			измеренная		фактическая		нормируемая		Общее освещение	Общее освещение		
			Комбинированное освещение		Общее освещение		Комбинированное освещение					
			общее	общее + местное	общее	общее + местное	общее	общее + местное				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ

Цель работы: измерить шероховатость поверхностей с помощью портативного измерителя шероховатости TR-200, а также с помощью образцов шероховатости поверхности (сравнения); приобрести навыки работы со средствами измерений.

Задача: измерить шероховатость поверхности детали и зафиксировать результаты измерений.

Применяемое оборудование: портативный измеритель шероховатости TR-200; образцы шероховатости поверхности (сравнения).

2.1. Шероховатость поверхности

2.1.1. Обоснование необходимости нормирования требований к значениям неровностей поверхностей

В процессе выполнения любого способа обработки деталей, особенно со снятием материала режущим инструментом, невозможно получить идеально ровную поверхность. В результате воздействия вибраций обрабатывающего инструмента, при неоднородности материала заготовки, непостоянстве скорости съема материала и подачи на обрабатываемой поверхности остаются неровности [2].

Нормированием значений поверхностных неровностей стали заниматься сравнительно недавно. У нас в стране только в 1945 году появился первый стандарт. Необходимость отдельного нормирования значений поверхностных неровностей в качестве одного из показателей для оценки геометрической точности вызвана тем, что эти неровности оказывают влияние на эксплуатационные свойства элементов деталей. Чем выше требования к точности элементов деталей, тем более жесткие требования должны предъявляться к значениям поверхностных неровностей.

Поверхностные неровности влияют на следующие эксплуатационные свойства элементов деталей.

- Чем больше поверхностные неровности при образовании посадок с натягом, тем менее надежным оказывается сопряжение, так как уменьшается площадь контакта, даже при идеальной геометрической

ской форме элементов деталей. При этом имеют значение и отклонения формы этих элементов.

- При образовании посадок с зазором большие поверхностные неровности быстро истираются, и в результате увеличивается первоначальный зазор. При истирании частицы материала не всегда удаляются полностью из сопряжения и могут способствовать ускоренному износу поверхностей.
- Поверхностные неровности влияют на усталостную прочность. Излом элементов деталей обычно бывает в местах, где имеются риски, особенно если деталь работает при знакопеременной нагрузке.
- Поверхностные неровности влияют на антикоррозионные свойства поверхности. Чем меньше поверхностные неровности, тем меньше поверхность подвержена коррозии. Чем больше поверхностные неровности – тем большая вероятность для накопления в них влаги и кислот, проникающих из окружающей среды, что способствует распространению коррозии.
- Поверхностные неровности влияют также на качество электрических и тепловых контактов, герметичность соединений, отражение лучей, точность измерений, особенно внутренних размеров.

Перечислены не все эксплуатационные свойства, на которые влияют поверхностные неровности, но приведенного достаточно, чтобы оправдать необходимость введения специальных требований к нормированию значений неровностей на поверхности элементов детали [2].

Совокупность неровностей поверхности с относительно малыми шагами, выделенная, например, с помощью базовой длины, называется *шероховатостью поверхности* [3].

2.1.2. Основные понятия и определения

Шероховатость поверхности является одной из основных геометрических характеристик качества поверхности деталей. Геометрические характеристики качества поверхности показаны на рис. 2.1 в порядке уменьшения их абсолютных величин: отклонения формы (макрогеометрия); волнистость; шероховатость (микрогеометрия). В отдельных случаях волнистость может быть больше отклонений формы, а шероховатость – больше волнистости. Волнистость занимает промежуточное положение между шероховатостью и отклонениями формы поверхности. Неровности, для которых отношение шага S к высоте неровностей R больше 50, но меньше 1 000, относят к волнистости поверхности; при отношении S/R меньшем 50 – к шероховатости поверхности; при отношении S/R большем 1 000 – к отклонениям формы [3].

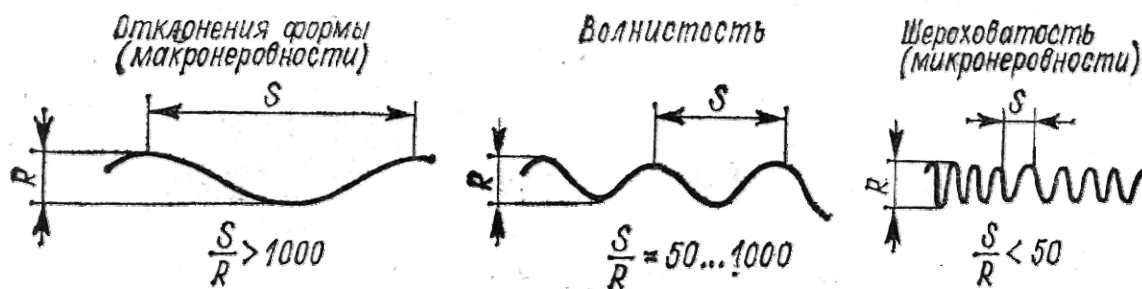


Рис. 2.1. Классификация геометрических характеристик качества поверхности: S – шаг неровности; R – высота неровности

Шероховатость поверхности является пространственным объектом, имеющим трехмерную структуру. Количественная оценка шероховатости в трех измерениях теоретически возможна, однако на практике получение ее связано с большими трудностями, поэтому в основном исследование шероховатости базируется на изучении сечений поверхности, т. е. ее профилей [4].

Следовательно, шероховатостью нормируются требования к поверхностным неровностям по профилям, получаемым в сечении рассматриваемой поверхности плоскостями, перпендикулярными этой поверхности. Поэтому при введении требований по нормированию шероховатости используется нормирование геометрических параметров профиля [2].

Базовая линия (поверхность) – линия (поверхность) заданной геометрической формы, определенным образом проведенная относительно профиля (поверхности) и служащая для оценки геометрических параметров поверхности [5].

Вид этой линии зависит от вида поверхности элемента детали. Так, базовая линия будет прямой, если неровности определяются на плоской поверхности или на образующих цилиндрических поверхностях. Базовая линия будет в виде окружности, если исследуемая поверхность имеет вид сферы или цилиндра, который пересекается плоскостью, перпендикулярной его оси [2].

Базовая длина l – длина базовой линии, используемая для выделения неровностей, характеризующих шероховатость поверхности [5]. Ее протяженность при этом устанавливается такой величины, чтобы при измерении высотных параметров не накладывалось, по возможности, влияние волнистости поверхности. Базовая длина является единичной стандартной длиной профиля, на котором измеряют единичное значение параметра. Она обеспечивает единообразие оценки параметров шероховатости.

Числовые значения параметров шероховатости поверхности определяют от единой базы, за которую принята средняя линия профиля.

Средняя линия профиля – это базовая линия, имеющая форму номинального профиля и проведенная так, что в пределах базовой длины среднее квадратичное отклонение профиля до этой линии минимально [5].

Согласно ГОСТ 25142–82 линия, эквидистантная средней линии и проходящая через высшую точку профиля в пределах базовой длины, называется *линией выступов профиля*. Линия, эквидистантная средней линии профиля и проходящая через низшую точку профиля в пределах базовой длины, называется *линией впадин профиля*.

Таким образом, поверхностные неровности оцениваются по линии профиля и на определенной длине. При нормировании неровностей устанавливаются определенные значения базовых длин, так как в общем случае профили поверхности неоднородны, т. е. при частотном анализе неровностей профиля получаются, чаще всего, спектры, включающие в себя набор частот, поскольку появление неровностей зависит от многих факторов. Поэтому нормируемые базовые длины можно ориентировочно разделить на три группы [2]:

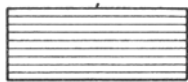
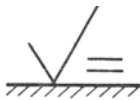
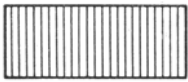
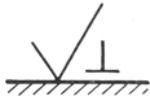
- $l = 0,01; 0,03; 0,08$ мм – для неровностей относительно малой высоты;
- $l = 0,25; 0,80$ мм – для неровностей средней высоты;
- $l = 2,5; 8; 25$ мм – для неровностей большой высоты.

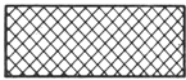
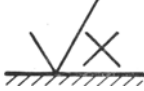
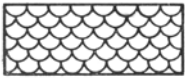
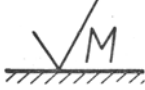

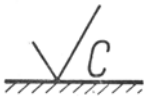
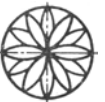
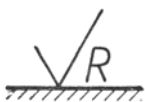
Таким образом, при выборе базовой длины можно руководствоваться следующим положением: чем больше поверхностные неровности, чем более они неоднородны, тем больше должна быть базовая длина, для того чтобы выбранная совокупность поверхностных неровностей характеризовала состояние поверхности [2].

Типы направлений неровностей поверхностей выбираются из табл. 2.1.

Таблица 2.1

Типы направлений неровностей поверхностей и их условные обозначения

Тип направлений неровностей	Графическое изображение направлений неровностей	Обозначение направлений неровностей	Пояснение обозначения поверхности, к шероховатости которой устанавливаются требования
Параллельное			Параллельно линии, изображающей на чертеже поверхность
Перпендикулярное			Перпендикулярно линии, изображающей на чертеже поверхность

Тип направлений неровностей	Графическое изображение направлений неровностей	Обозначение направлений неровностей	Пояснение обозначения поверхности, к шероховатости которой устанавливаются требования
Перекрещивающиеся			Перекрещивание в двух направлениях наклонно к линии, изображающей на чертеже поверхность
Произвольное			Различные направления по отношению к линии, изображающей на чертеже поверхность
Кругообразное			Приблизительно кругообразно по отношению к центру поверхности
Радиальное			Приблизительно радиально по отношению к центру поверхности

2.1.3. Параметры для нормирования шероховатости

ГОСТ 2789–73 регламентирует перечень из шести основных параметров, используемых для оценки и нормирования шероховатости поверхности. Рассмотрим параметры профиля шероховатости, представленного на рис. 2.2.

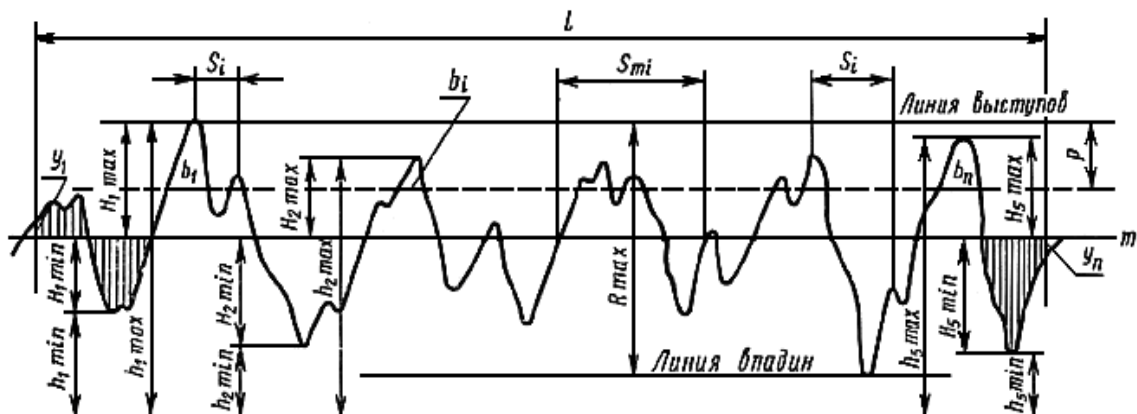


Рис. 2.2. Продольный разрез микронеровностей и параметры шероховатости поверхности

Среднее арифметическое отклонение профиля R_a (мкм) – среднее арифметическое абсолютных значений отклонений профиля в пределах базовой длины [3]. Определяется по формуле

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx \approx \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|, \quad (2.1)$$

где y_i – расстояние между точкой реального профиля и средней линией профиля, мкм;

n – число выбранных точек на базовой длине;

l – базовая длина, мм.

Параметр R_a геометрически интерпретируется высотой прямоугольника (рис. 2.3), построенного на базовой длине и равновеликого по площади фигуре, очерченной профилем неровностей и его средней линией.

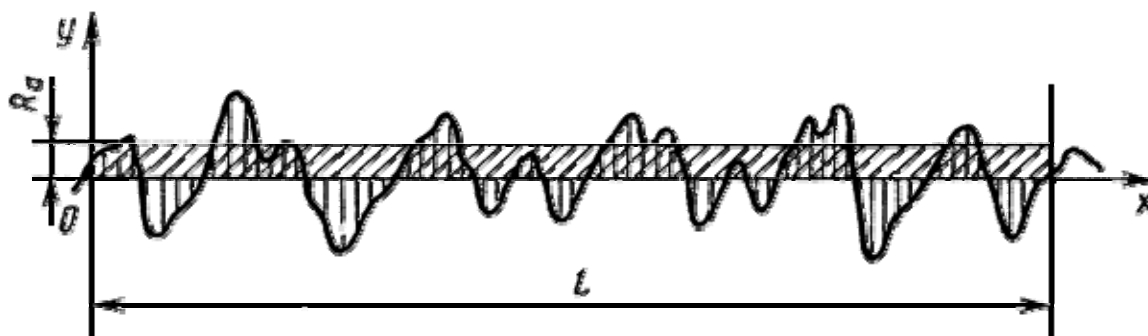


Рис. 2.3. Среднее арифметическое отклонение профиля R_a [5]

Числовые значения R_a (наибольшие, наименьшие, номинальные) или диапазоны значений выбираются из табл. 2.2.

Таблица 2.2

Среднее арифметическое отклонение профиля R_a [6], мкм

<u>100</u>	10,0	1,00	<u>0,100</u>	0,010
80	8,0	<u>0,80</u>	0,080	0,008
63	<u>6,3</u>	0,63	0,063	–
<u>50</u>	5,0	0,50	<u>0,050</u>	–
40	4,0	<u>0,40</u>	0,040	–
32	<u>3,2</u>	0,32	0,032	–
<u>25</u>	2,5	0,25	<u>0,025</u>	–
20	2,0	<u>0,20</u>	0,020	–
16,0	<u>1,60</u>	0,160	0,016	–
<u>12,5</u>	1,25	0,125	<u>0,012</u>	–

Примечание. Предпочтительные значения параметров подчеркнуты.

Высота неровностей профиля по десяти точкам R_z (мкм) – сумма средних абсолютных значений высоты пяти наибольших выступов профиля и глубины пяти наибольших впадин профиля в пределах базовой длины [5]:

$$R_z = \frac{\sum_{i=1}^5 |y_{pi}| + \sum_{i=1}^5 |y_{vi}|}{5}, \quad (2.2)$$

где y_{pi} – высота i -го наибольшего выступа профиля, мкм;

y_{vi} – глубина i -й наибольшей впадины профиля, мкм.

Согласно рис. 2.2, выражение (2.2) для R_z можно записать в следующем виде:

$$R_z = \frac{\sum_{i=1}^5 |H_{imax}| + \sum_{i=1}^5 |H_{imin}|}{5}, \quad (2.3)$$

где H_{imax} – отклонение пяти наибольших максимумов профиля, мкм;

H_{imin} – отклонение пяти наименьших минимумов профиля, мкм.

Параметр R_z нормируется значениями от 0,025 до 1 600 мкм. Весь приведенный диапазон практически не используется. Чаще применяется диапазон от 0,025 до 0,1 мкм при нормировании малых неровностей и от 10 до 1600 мкм для нормирования больших (грубых) неровностей.

Наибольшая высота неровностей профиля R_{max} (мкм) – расстояние между линией выступов профиля и линией впадин профиля в пределах базовой длины [5]:

$$R_{max} = R_p + R_v, \quad (2.4)$$

R_p – высота наибольшего выступа профиля (рис. 2.4), т. е. расстояние от средней линии до высшей точки профиля в пределах базовой длины, мкм;

R_v – глубина наибольшей впадины профиля, т. е. расстояние от нижней точки профиля до средней линии в пределах базовой длины, мкм.

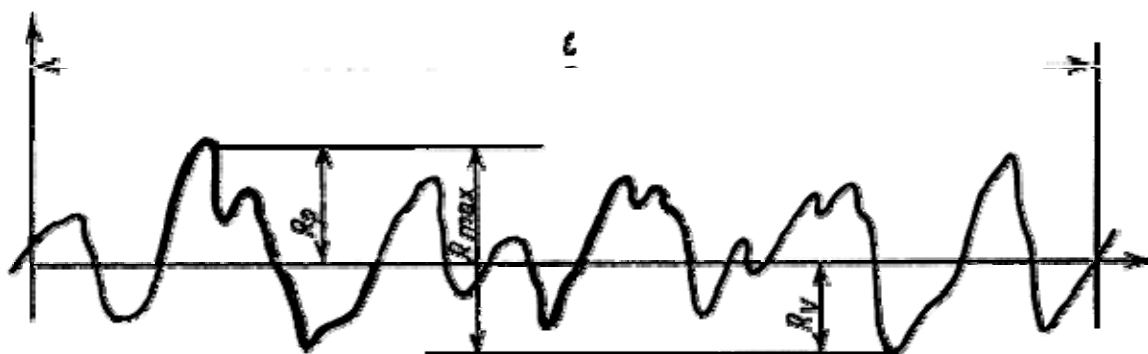


Рис. 2.4. Наибольшая высота неровностей профиля R_{max}

Числовые значения R_z и R_{\max} (наибольшие, наименьшие, номинальные) или диапазоны значений выбираются из табл. 2.3.

Таблица 2.3

Высота неровностей профиля по 10 точкам R_z и наибольшая высота неровностей профиля R_{\max} [6], мкм

–	1000	<u>100</u>	10,0	1,00	<u>0,100</u>
–	800	80	8,0	<u>0,80</u>	0,080
–	630	63	<u>6,3</u>	0,63	0,063
–	500	<u>50</u>	5,0	0,50	<u>0,050</u>
–	<u>400</u>	40	4,0	<u>0,40</u>	0,040
–	320	32	<u>3,2</u>	0,32	0,032
–	250	<u>25,0</u>	2,5	0,25	<u>0,025</u>
–	<u>200</u>	20,0	2,0	<u>0,20</u>	–
1600	160	16,0	<u>1,60</u>	0,160	–
1250	125	<u>12,5</u>	1,25	0,125	–

Примечание. Предпочтительные значения параметров подчеркнуты.

Средний шаг неровностей профиля S_m (мм) – среднее арифметическое значение шага неровностей профиля в пределах базовой длины:

$$S_m = \frac{\sum_{i=1}^n S_{mi}}{n}, \quad (2.5)$$

где S_{mi} – шаг неровностей профиля i -го участка (рис. 2.2), т. е. длина отрезка средней линии профиля, содержащая выступ профиля и сопряженную с ним впадину профиля, мм;

n – число шагов в пределах базовой длины.

Средний шаг местных выступов профиля S (мм) – среднее арифметическое значение шагов местных выступов профиля (по вершинам) в пределах базовой длины:

$$S = \frac{\sum_{i=1}^n S_i}{n}, \quad (2.6)$$

где S_i – шаг местных выступов профиля (рис. 2.2), т. е. длина отрезка средней линии между проекциями на нее двух наивысших точек соседних выступов профиля, мм;

n – число шагов местных выступов профиля в пределах базовой длины.

Числовые значения S и S_m (наибольшие, наименьшие, номинальные) или диапазоны значений выбираются из табл. 2.4.

Таблица 2.4

*Средний шаг неровностей S_m
и средний шаг неровностей по вершинам [6], мкм*

–	10,0	1,00	0,100	0,010
–	8,0	0,80	0,080	0,008
–	6,3	0,63	0,063	0,006
–	5,0	0,50	0,050	0,005
–	4,0	0,40	0,040	0,004
–	3,2	0,32	0,032	0,003
–	2,5	0,25	0,025	0,002
–	2,0	0,20	0,020	–
–	1,60	0,160	0,0160	–
12,5	1,25	0,125	0,0125	–

Относительная опорная длина профиля t_p – отношение опорной длины профиля к базовой длине:

$$t_p = \frac{\eta_p}{l} \cdot 100\%, \quad (2.7)$$

где t_p – относительная опорная длина профиля, %;

l – базовая длина, мм;

p – уровень сечения профиля (расстояние между линией выступов профиля и линией, пересекающей профиль эквидистантно линии выступов профиля), %;

η_p – опорная длина профиля, мм.

Опорная длина профиля η_p (рис. 2.5) – сумма длин отрезков, отсекаемых на заданном уровне в материале профиля линией, эквидистантной средней линии в пределах базовой длины:

$$\eta_p = \sum_{i=1}^n b_i, \quad (2.8)$$

где b_i – длина отрезка, отсекаемого на выступе профиля, мм;

n – число отсекаемых выступов профиля.

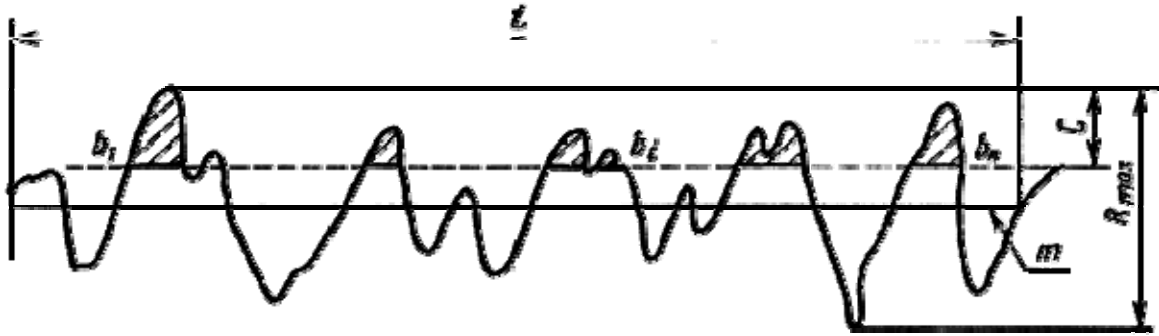


Рис. 2.5. Опорная длина профиля η_p [3]

Поэтому $t_0 = 0$, так как линия сечения совпадает с линией выступов и $\sum_{i=1}^n b_i = 0$, а $t_{100} = 100\%$, так как линия сечения совпадает с линией впадин.

Числовые значения уровня сечения профиля p принимаются из ряда 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 % от R_{\max} , а числовые значения относительной опорной длины профиля t_p выбираются из ряда 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 % от базовой длины l . Приведенными значениями нормируют ту часть сечения, которая должна проходить через материал.

Классификация основных параметров шероховатости представлена в табл. 2.5.

Таблица 2.5

Классификация основных параметров шероховатости поверхности [4]

Группа параметров	Наименование	Обозначение
Высотные	Наибольшая высота неровностей профиля	R_{\max}
	Высота неровностей профиля по десяти точкам	R_z
	Среднее арифметическое отклонение профиля	R_a
Шаговые	Средний шаг неровностей профиля	S_m
	Средний шаг местных выступов профиля	S
Параметр формы	Относительная опорная длина профиля	t_p

Кроме перечисленных выше шести стандартных параметров (R_a , R_z , R_{\max} , S_m , S , t_p), допускается использование дополнительных параметров, к числу которых можно отнести среднее квадратичное отклонение профиля R_q , мкм (часто указывается в зарубежных стандартах по системе исчисления E). Среднее квадратичное значение отклонений профиля в пределах базовой длины определяется по формуле

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{l} \int_0^l y^2(x) dx}, \quad (2.9)$$

где $y(x)$ – функция, описывающая форму профиля неровности;
 l – базовая длина, мм.

Несмотря на то что параметры R_a , R_z , R_{\max} характеризуют высоты поверхностных неровностей, их практически нельзя сравнивать и тем более надежно переводить значения одного параметра в значения другого. Тем не менее, между ними установлены корреляционные зависимости для определенного вида обработки поверхности [7]:

- для лезвийной обработки:

$$R_z = 5 \cdot R_a; \quad (2.10)$$

$$R_{\max} = 6 \cdot R_a; \quad (2.11)$$

- для шлифования:

$$R_z = 5,5 \cdot R_a; \quad (2.12)$$

$$R_{\max} = 7 \cdot R_a; \quad (2.13)$$

- для полирования и притирки:

$$R_z = 4 \cdot R_a; \quad (2.14)$$

$$R_{\max} = 5 \cdot R_a. \quad (2.15)$$

При этом среднеквадратичное отклонение профиля R_q и параметр среднеарифметического отклонения R_a связаны между собой зависимостью

$$R_a \approx 0,8 R_q. \quad (2.16)$$

Значения параметров шероховатости поверхности при механических методах обработки приведены в табл. А. 1 (приложение А).

Параметры R_z и R_{\max} нормируют в тех случаях, когда по функциональным требованиям необходимо ограничить полную высоту неровностей профиля, а также когда прямой контроль параметра R_a с помощью профилометров или образцов сравнения не представляется возможным, например, для поверхностей, имеющих малые размеры или сложную конфигурацию (режущие кромки инструментов, детали часовых механизмов и пр.).

Для ответственных поверхностей производится нормирование не только высотных параметров, но и шаговых и параметра t_p , так как они обеспечивают некоторые их функциональные свойства.

Примеры некоторых поверхностей деталей и их параметры шероховатости приведены в табл. Б. 1 (приложение Б).

2.1.4. Требования к шероховатости поверхности

Требования к шероховатости поверхности должны устанавливаться исходя из функционального назначения поверхности для обеспечения заданного качества изделий. Если в этом нет необходимости, то требования к шероховатости поверхности не устанавливаются и шероховатость этой поверхности контролируется [6].

Требования к шероховатости поверхности должны устанавливаться путем указания параметра шероховатости (одного или нескольких) из шести основных параметров (табл. 2.5), значений выбранных параметров и базовых длин, на которых происходит определение параметров, согласно ГОСТ 2789–73.

При необходимости дополнительно к параметрам шероховатости поверхности устанавливаются требования к направлению неровностей поверхности, к способу (или последовательности способов) получения (обработки) поверхности.

Для номинальных числовых значений параметров шероховатости должны устанавливаться допустимые предельные отклонения. Допустимые предельные отклонения средних значений параметров шероховатости в процентах от номинальных следует выбирать из ряда 10; 20; 40. Отклонения могут быть односторонними и симметричными.

Требования к шероховатости поверхности не включают требований к дефектам поверхности, поэтому при контроле шероховатости поверхности влияние дефектов поверхности должно быть исключено.

Допускается устанавливать требования к шероховатости отдельных участков поверхности (например, участков поверхности, заключенных между порами крупнопористого материала, участков поверхности срезов, имеющих существенно отличающиеся неровности).

Требования к шероховатости поверхности отдельных участков одной поверхности могут быть различными [6].

2.2. Методы и средства контроля шероховатости поверхности

Контроль шероховатости поверхности производится количественными и качественными методами. Качественные методы контроля основаны на визуальном сравнении обработанной поверхности с образцами шероховатости. Количественные методы основаны на измерении микронеровностей специальными приборами [8].

Специальные измерительные приборы, предназначенные для контроля шероховатости обработанных поверхностей, можно разделить по конструктивным признакам на оптико-механические измерительные приборы, основанные на бесконтактном методе определения шерохова-

тости, и контактные (щуповые), основанные на контактном методе определения параметров шероховатости.

2.2.1. Качественные методы контроля шероховатости поверхности

Контроль шероховатости путем сравнения со стандартными образцами шероховатости или аттестованной деталью широко используется в цеховых условиях.

Образец шероховатости поверхности (сравнения) представляет собой пластинку, одна из поверхностей которой обработана с образцовой шероховатостью и аттестована по параметру R_a на профилемере. Сравнение осуществляется визуально. Чтобы глаза не утомлялись от излишнего напряжения при сличении двух поверхностей, рекомендуется пользоваться лупой или микроскопом (компаратором). Визуальный метод обычно применяют при оценке шероховатости в пределах R_a 50...0,4 мкм.

Рабочие образцы шероховатости поверхности, полученные точением, фрезерованием, строганием, шлифованием, растачиванием, развертыванием, протягиванием, полированием и доводкой, стандартизированы и выпускаются с различными значениями шероховатости. Направление микронеровностей может быть тоже различное: прямолинейное, дугообразное и перекрещивающееся дугообразное. При визуальном контроле необходимо стремиться к тому, чтобы с образцом сравнивалось изделие не только прошедшее тот же вид обработки, но и выполненное из того же материала, что и образец.

Образцы шероховатости комплектуют наборами. К каждому набору образцов прилагают паспорт по ГОСТ 2.601–95 ЕСКД. Эксплуатационные документы, содержащие перечень образцов, входящих в набор, воспроизводимые способы обработки и значения параметров шероховатости, в том числе и дополнительных – по требованию заказчика [9].

На футляре, в котором упакованы образцы шероховатости, указывают [9]:

- слова «образцы шероховатости»;
- способ (или способы) обработки;
- наименование и/или товарный знак предприятия-изготовителя;
- заводской номер набора;
- обозначение настоящего стандарта.

На оправе (или отдельном образце) указывают:

- номинальное значение параметра шероховатости R_a (для каждого образца отдельно);
- материал (материалы) деталей, для контроля которых предназначены образцы;
- способ обработки.

Способы обработки, воспроизводимые образцами, форма образца и основное направление неровностей поверхности образца должны соответствовать указанным в табл. 2.6 [10].

Таблица 2.6

Расположение неровностей и форма образцов сравнения

Способ обработки	Форма образца	Условное обозначение способа обработки	Схематическое изображение расположения неровностей
Точение	Цилиндрическая выпуклая	Т	<p>Прямолинейное</p> 
Расточка	Цилиндрическая вогнутая	Р	
Фрезерование цилиндрическое	Плоская	ФЦ	
Строгание	Плоская	С	
Шлифование периферией круга	Плоская, цилиндрическая выпуклая, цилиндрическая вогнутая	ШП ШЦ ШЦВ	
Точение торцовое	Плоская	ТТ	<p>Дугообразное</p> 
Фрезерование торцовое	Плоская	ФТ	
Фрезерование торцовое	Плоская	ФТП	<p>Перекрещивающееся дугообразное</p> 
Шлифование торцовое	Плоская	ШТ	
Шлифование чашеобразное кругом	Плоская	ШЧ	
Электроэрозионная обработка	Плоская	Э	<p>Не имеющее определенного направления штриха</p>
Дробеструйная, пескоструйная обработка	Плоская	ДС ПС	
Полирование	Плоская, цилиндрическая выпуклая	ПП ПЦ	<p>Путаный штрих</p>

Образцы шероховатости должны характеризовать особенности только воспроизводимого способа обработки.

В условном обозначении образца (или набора образцов) шероховатости указывают [9]:

- номинальное значение (или интервал значений для набора) параметра шероховатости R_a ;
- условное обозначение способа обработки;
- обозначение настоящего стандарта.

Например:

Образец шероховатости 1,6 ШЧ ГОСТ 9378–93 или

Набор образцов шероховатости 0,2–0,8 ШЦВ ГОСТ 9378–93,

где 1,6 и 0,2–0,8 – значения параметра шероховатости R_a ;

ШЧ – шлифование чашеобразным кругом;

ШЦВ – шлифование периферией круга, форма образца цилиндрическая вогнутая.

Пример проведения визуального контроля шероховатости поверхности вала с помощью образцов сравнения изображен на рис. 2.6 [11].

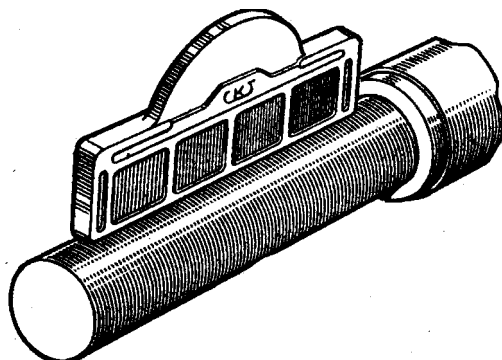


Рис. 2.6. Контроль шероховатости поверхности вала с помощью образцов шероховатости

2.2.2. Количественные методы контроля шероховатости поверхности

2.2.2.1. Средства бесконтактных методов контроля шероховатости поверхности

Бесконтактные измерения шероховатости поверхности выполняют с помощью оптико-механических приборов.

Оптико-механические приборы, согласно ГОСТ 9847–79, подразделяются на четыре типа:

- ПСС – прибор светового сечения;
- ПТС – прибор теневого сечения;

- МИИ – микроскоп интерференционный измерительный, действие которого основано на двухлучевой интерференции света;
- МПИ – микроскоп-профилометр интерференционный, действие которого основано на интерференции света с образованием полос равного хроматического порядка.

Приборы светового сечения

Метод светового сечения состоит в том, что пучок света, направленный через узкую щель под некоторым углом α на контролируемую поверхность, проектируется объективом на эту поверхность в виде светящейся линии. Другой объектив переносит изображение щели в фокусную плоскость окуляра.

Допустим, что на контролируемой поверхности имеется канавка высотой H . Световое сечение этой канавки можно определить по формуле

$$d = \frac{H}{\sin \alpha}, \quad (2.17)$$

где d – световое сечение, мкм;

H – высота канавки, мкм;

α – угол, под которым пучок света падает на контролируемую поверхность.

Объективом величина d проектируется на окулярную пластинку:

$$d_1 = \frac{H}{\sin \alpha} N, \quad (2.18)$$

где d_1 – световое сечение, проектируемое объективом, мкм;

N – увеличение объектива микроскопа.

Изменение размера d_1 производится окулярным микрометром, перекрестие которого перемещается под углом $\beta = 45^\circ$, а так как $\alpha = \beta = 45^\circ$, то получаем формулы:

$$d_2 = \frac{d_1}{\sin \beta} = \frac{H}{\sin \alpha \cdot \sin \beta} N, \quad (2.19)$$

$$H = \frac{d_2}{2 N}, \quad (2.20)$$

где d_2 – световое сечение, измеренное окулярным микрометром, мкм.

Величина R_z определяется по следующей формуле, как среднее арифметическое высоты пяти неровностей:

$$R_z = \frac{H_1 + H_2 + H_3 + H_4 + H_5}{5}, \quad (2.21)$$

где H_1, H_2, H_3, H_4, H_5 – измеренная высота пяти неровностей, мкм.

Оптическая схема микроскопа светового сечения МИС-11 изображена на рис. 2.7, а.

В микроскопах светового сечения МИС-11 объектив 3 проецирует на поверхность изделия узкий пучок света, идущий от источника 1 через щель 2. На поверхности образуется освещенная полоса, представляющая собой след пересечения профиля плоскостью светового потока. Изображение щели фокусируется объективом 4 в плоскость сетки 5 окуляра 6. Лучи, отраженные от выступов и впадин профиля, на окулярной сетке будут смещены один относительно другого. Значение смещения зависит от высоты неровностей. Совмещая линии, нанесенные на сетке окуляр-микрометра (рис. 2.7, б), с выступами и впадинами профиля, определяют высоту неровностей на базовой длине и затем подсчитывают параметр R_z . Перед измерением определяют цену деления окулярного микрометра с помощью стеклянной пластины с точной шкалой [12].

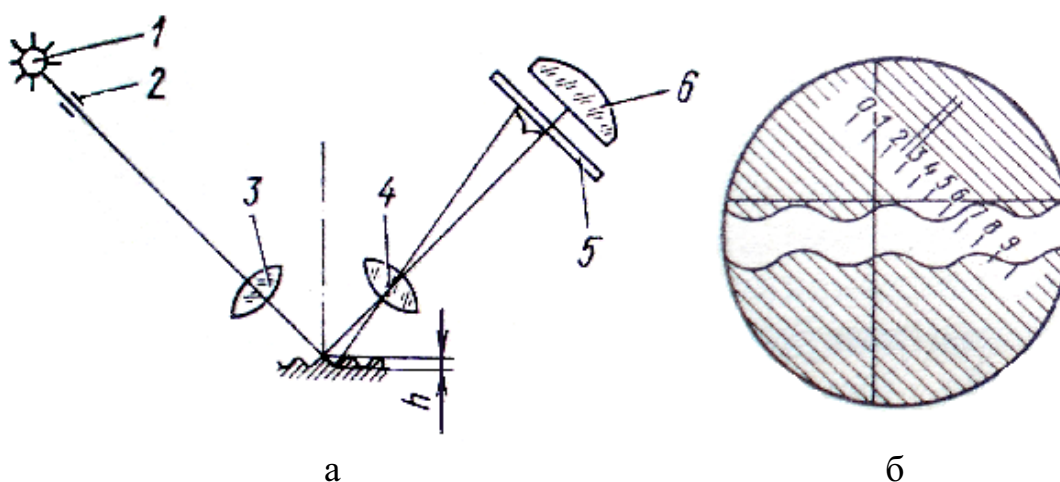


Рис. 2.7. Микроскоп МИС-11: а – оптическая схема; б – шкала.
1 – источник света; 2 – щель; 3, 4 – объективы; 5 – сетка окуляра; 6 – окуляр

Внешний вид микроскопа МИС-11 изображен на рис. 2.8. Он имеет осветительный тубус 7 и микроскоп 1, закрепленные в корпусе 4. Салазки корпуса перемещаются по кронштейну 6 кремальерой 5 для предварительной установки на резкость. Точная фокусировка осуществляется микроподачей 3. Винтом 9 изображение щели переводят на середину окуляра. Кольцом 8 регулируют ширину щели. Измерения выполняют окулярным микрометром 2. Стол 12 перемещается винтами 10 и поворачивается в горизонтальной плоскости при освобожденном винте 11 [12].

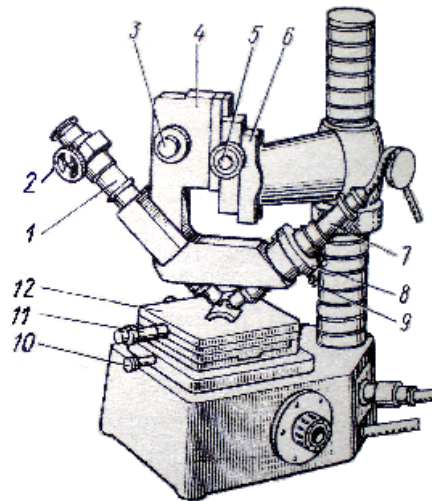


Рис. 2.8. Внешний вид микроскопа МИС-11: 1 – микроскоп; 2 – окулярный микрометр; 3 – микроподача; 4 – корпус; 5 – кремальера; 6 – кронштейн; 7 – осветительный тубус; 8 – кольцо; 9, 10, 11 – винты; 12 – стол

Микроскоп ПСС-2 (рис. 2.9), в отличие от микроскопа МИС-11, имеет большее увеличение, снабжен комплектом встроенных объективов, содержит винтовой окулярный микрометр с внутренним отсчетом, сменные щели и встроенную фотокамеру. Он предназначен для измерения и фотографирования высоты микронеровностей на наружных поверхностях деталей [12].

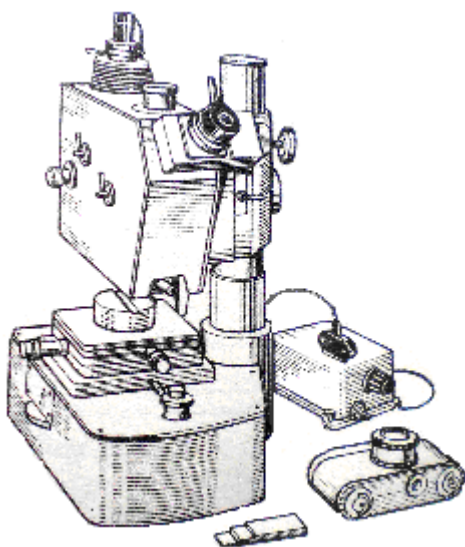


Рис. 2.9. Микроскоп ПСС-2

Приборы теневого сечения

Если на расстоянии 0,1 мм от контролируемой поверхности расположить линейку со скошенным ребром, то ребро линейки срежет часть пучка света и на контролируемой поверхности будет видна тень, отбрасываемая линейкой. Верхний край тени является лезвием ножа. Отображающая кривую профиля тень рассматривается в микроскоп. В отличие от метода светового сечения, данный метод назван методом теневого сечения. Причем соотношение между измеряемыми величинами и высотой неровностей для обоих методов одинаково, т. е. определяется углом падения лучей и увеличением наблюдательной системы микроскопа.

нами и высотой неровностей для обоих методов одинаково, т. е. определяется углом падения лучей и увеличением наблюдательной системы микроскопа.

Основные параметры приборов светового и теневого сечения приведены в табл. 2.7.

Таблица 2.7

Приборы для контроля шероховатости методом светового и теневого сечения [21]

Тип	Сечение	Увеличение	Поле зрения, мм	Апертура	Параметр шероховатости, мкм	Погрешность измерения, %	Примечание
МИС-11	Световое	87... 517	2... 0,33	0,13... 0,50	1,6... 80	$\pm 7...20$	Возможна фото-регистрация (с насадкой МФН-3)
ПСС-2	То же	75... 750	3,6... 0,36	0,11... 0,5	3,2... 40	± 10	Можно визуально наблюдать и фотографировать
ПТС-1	Теневое	30	8	0,03	40... 320	$\pm 0,01$ мм	Прибор можно устанавливать на изделие с плоской поверхностью
МТ	То же	20... 40	6,3... 2,9	0,1	40... 320	$\pm 3...8$	Угол между осями микроскопов 60°
ТПС-4	То же	15... 55	11... 2,9	0,03... 0,11	200... 1600 мм	± 15	Предназначен для контроля профиля поверхности древесины по ГОСТ 7016-82

Микроскопы интерференционные измерительные

Приборы, основанные на принципе интерференции света, называются микроинтерферометрами. Микроинтерферометры применяют для измерения шероховатости поверхности по параметрам R_a и R_z .

Принцип действия микроинтерферометров основан на сравнении световых волн, получаемых при отражении когерентных пучков света от контролируемой и эталонной поверхности.

На рис. 2.10 показана схема двухлучевого микроинтерферометра Линника. В ее основу положен принцип действия интерферометра Майкельсона. Свет от источника 1 (лампа накаливания) проходит через конденсор 2 и диафрагму 3 , зеркалом 4 делится на два когерентных пучка, которые фокусируются объективами 5 и $5'$ на эталонное зеркало 6 и контролируемую поверхность 7 , соответственно. После отражения от эталона и изделия пучок проходит через те же элементы схемы и фокусируется линзой 8 в плоскости диафрагмы 9 , в которой с помощью окуляра 10 наблюдают интерференционную картину взаимодействия эталонного и рабочего пучков света [13].

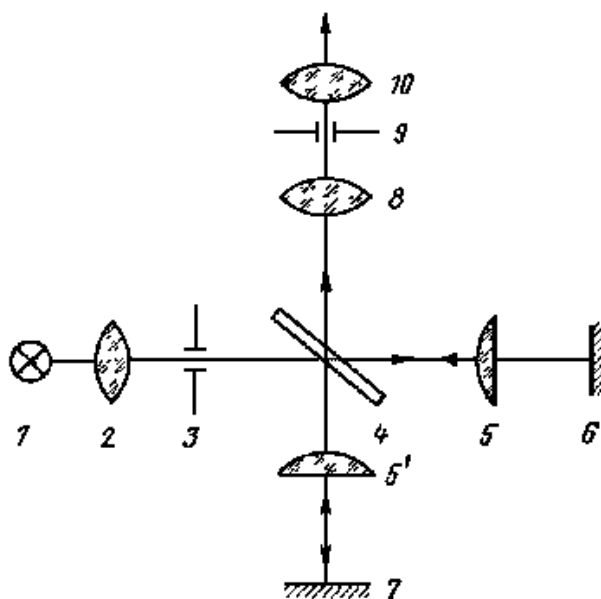


Рис. 2.10. Схема двухлучевого микроинтерферометра Линника: 1 – источник света; 2 – конденсор; 3 – диафрагма; 4 – зеркало; $5, 5'$ – объективы; 6 – эталонное зеркало; 7 – контролируемая поверхность; 8 – линза; 9 – диафрагма; 10 – окуляр

При этом наблюдают полосы интерференции, искривленные в соответствии с профилем исследуемой поверхности (рис. 2.11).

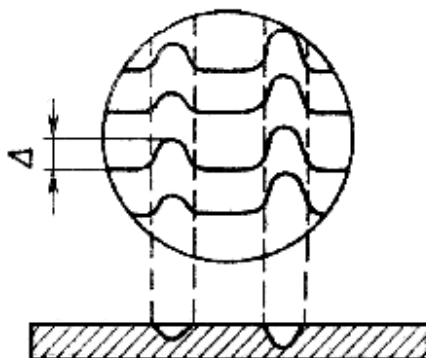


Рис. 2.11. Вид полос интерференции в двухлучевом микроинтерферометре Линника

Кривизну полос измеряют, например, с помощью окулярного микрометра. Она является количественной характеристикой микронеоднородностей поверхности изделия. Измерения можно производить в белом или монохроматическом свете.

Микроинтерферометр может быть выполнен и с одним объективом. При этом светоделительное зеркало и эталон размещаются между микрообъективом и контролируемой поверхностью.

При работе в белом свете высота неровности H вычисляется по формуле

$$H = 0,27 \cdot \Delta N, \quad (2.22)$$

где H – высота неровности, мкм;

ΔN – величина изгиба интерференционной полосы в долях интервала, мкм.

При работе в монохроматическом свете для определения H используют формулу

$$H = \lambda \cdot \frac{\Delta N}{2}, \quad (2.23)$$

где λ – длина волны света, мкм.

Величину ΔN оценивают на глаз или измеряют окулярным винтовым микрометром [13].

По результатам измерений на базовой длине вычисляют параметр R_z . Для определения параметра R_a фотографируют интерференционную картину и обрабатывают фотографию на проекторе.

Микроинтерферометр МИИ-4 (рис. 2.12) имеет массивное основание 7, на которое установлен стол 1 с микрометрическими винтами 3. Изделие 2 укладывают на стол проверяемой поверхностью вниз. Винтом 6 фокусируют прибор. Поворотом корпуса 4 и винта 5 измеряют ширину и направление интерференционных полос. Головка 10 закрывает интерференционное зеркало шторкой, что позволяет рассматривать поверхность без интерференции. Искривление интерференционных полос измеряют окулярным микрометром 9. Камера 8 служит для фотографирования [12].

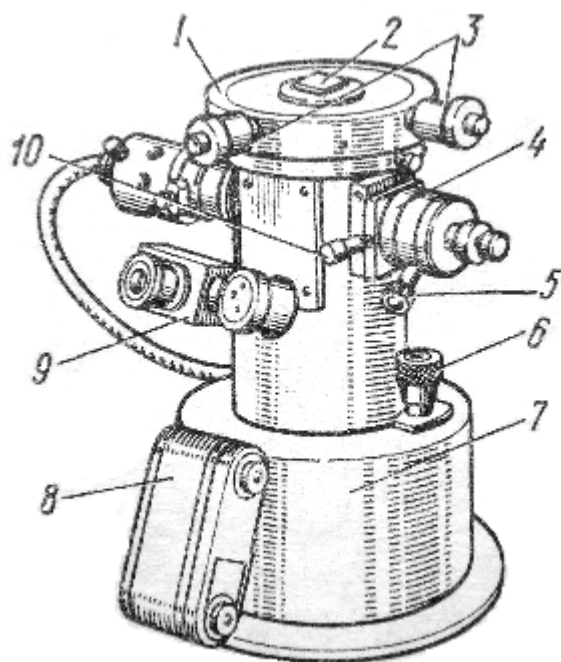


Рис. 2.12. Микроинтерферометр МИИ-4: 1 – стол; 2 – контролируемое изделие; 3 – микрометрические винты; 4 – корпус; 5, 6 – винты; 7 – основание; 8 – камера для фотографирования; 9 – окулярный микрометр; 10 – головка

При контроле шероховатости крупногабаритного изделия предварительно снимают слепок (реплику) с его поверхности на прозрачную пленку, которую затем помещают в кювету с иммерсионной жидкостью, располагаемую в фокальной плоскости микроинтерферометра, и исследуют обычным методом. Этот способ контроля шероховатости получил название *иммерсионно-репликового* [13].

Иммерсионно-репликовый микроинтерферометр МИИ-10 по принципу действия и устройства аналогичен микроинтерферометру МИИ-4.

Благодаря особой конструкции узла референтного (неподвижного) зеркала и двух осветительных систем прибор позволяет проводить обычные измерения высоты неровностей реплик, снятых с деталей. Иммерсионно-репликовым микроинтерферометром можно измерять неровности высотой от 1 до 10 мкм.

Наибольшая глубина рисок, измеряемых с помощью двухлучевых микроинтерферометров, определяется апертурой и увеличением микрообъектива. Согласно ГОСТ 9847–79 микроинтерферометры рекомендованы для измерений неровностей от 0,1 до 1 мкм.

Микроинтерферометры обычно снабжают устройством для фотографирования интерференционной картины.

Для расширения верхнего предела измерения интерферометров предложены различные устройства. Так, с помощью интерференционного клинового компенсатора А.И. Карташова микроинтерферометрами МИИ-4 и МИИ-5 можно измерять неровности высотой от 4 до 30 мкм [13].

Глубину рисок и ступенек, поверхности которых у верхнего и нижнего краев имеют достаточную отражательную способность, измеряют приборами МИИ-4 и МИИ-5 *интерференционно-индикаторным методом*. Интерференционные полосы наводят на резкость последовательно на дно риски и ее край. Глубина риски определяется величиной фокусировочного перемещения микрообъектива. Этим методом можно измерять риски глубиной 20...100 мкм при ширине до 0,25 мкм.

Для определения поверхности с параметрами шероховатости R_z 3,2...80 мкм применяют оптический профилометр Ю.В. Колосовца, представляющий собой сочетание микроинтерферометра с двойным микроскопом. Его оптическая схема показана на рис. 2.13.

Свет от источника 1 с помощью конденсора 2 освещает щель 3, расположенную в фокусе коллиматора 4. Объектив 7 с помощью зеркала 5 и светоделительной призмы 6 проектирует щель 3 на контролируемую поверхность 9. Объектив 8 проектирует ее на зеркало 10. После отражения пучки попадают в объективы 11 и 12, соединяются призмой 13, зеркалом 14 направляются в объектив 15.

В поле зрения окуляра 17 наблюдаются две линии, представляющие изображение щели, одна из которых искривлена в соответствии с неровностью контролируемой поверхности. При этом прибор работает в режиме микроскопа. Включив цилиндрическую линзу 16, его можно использовать как интерферометр. При этом в окуляр видны интерференционные полосы, параллельные изображениям щели. О величине неровностей судят по степени изгиба этих полос [13].

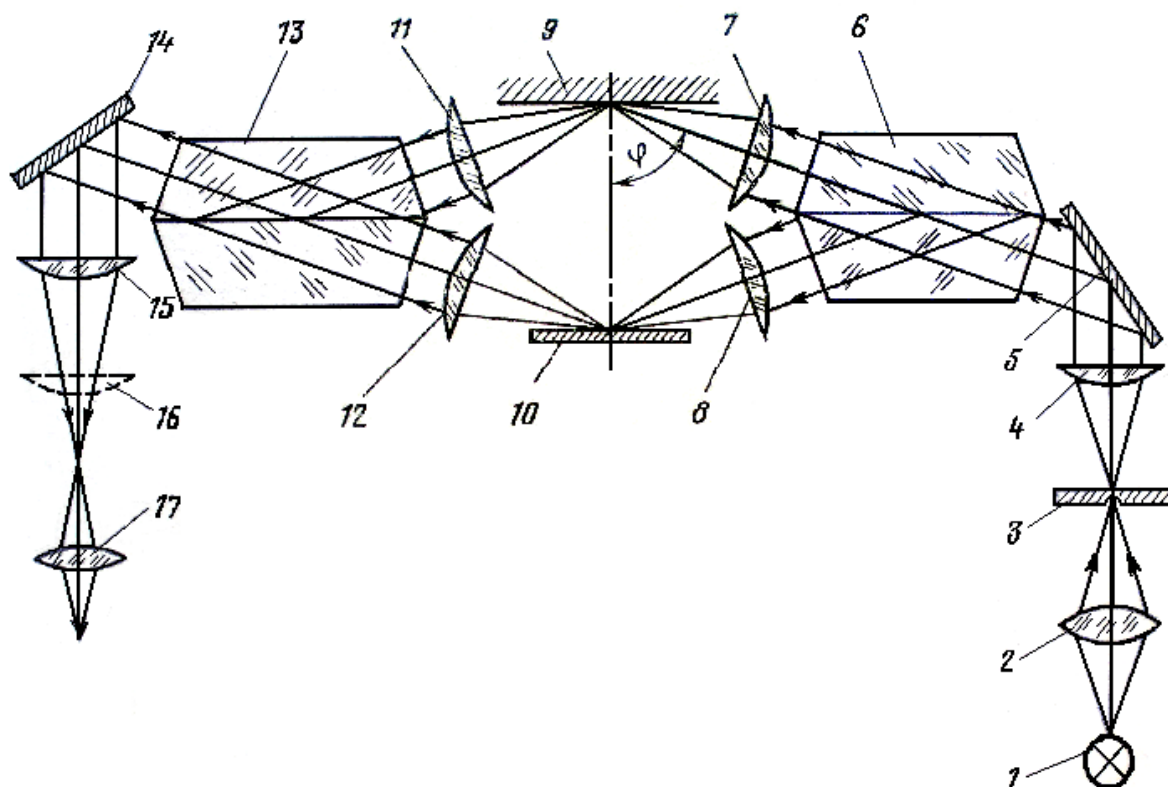


Рис. 2.13. Оптическая схема профилометра Ю.В. Коломийцева:
 1 – источник света; 2 – конденсор; 3 – щель; 4 – объектив коллиматора;
 5 – зеркало; 6 – светоделительная призма; 7, 8, 11, 12 – объективы;
 9 – контролируемая поверхность; 10 – зеркало; 13 – светоделительная призма;
 14 – зеркало; 15 – объектив трубы; 16, 17 – цилиндрическая линза и окуляр
 объектива трубы; φ – угол падения луча на объект

Поверхности с малыми неровностями (0,002 мкм) контролируют методом многократного отражения лучей, называемым также *методом многолучевой интерферометрии*.

Схема многолучевого микроинтерферометра показана на рис. 2.14.

Свет от источника 1 (ртутная лампа низкого давления, дающая монохроматическое излучение, выделяемое фильтром 10) через диафрагму 2 проходит конденсор 3 и параллельным пучком падает на полупрозрачное зеркало 4. После отражения пучок проходит пластину 5, накладываемую на объект 6 под малым углом ω . Ее нижняя сторона покрыта слоем вещества с коэффициентом отражения контролируемой поверхности.

Между пластиной 5 и объектом 6 возникает интерференция многократно отраженных лучей. Картину интерференции, локализованную на поверхности пластинки, рассматривают в микроскоп (элементы 7, 8, 9). Прибор позволяет наблюдать как полосы равного наклона (при интерфе-

ренции в плоско-параллельном слое), так и полосы равной толщины (при интерференции в клине). Распределение яркости полос в многолучевом интерферометре отличается от синусоидального, свойственного двухлучевым схемам. Полосы значительно уже, что определяется коэффициентом отражения сравниваемых поверхностей. При коэффициенте отражения $\rho \approx 0,94$ распределение яркости полосы почти прямоугольное [13].

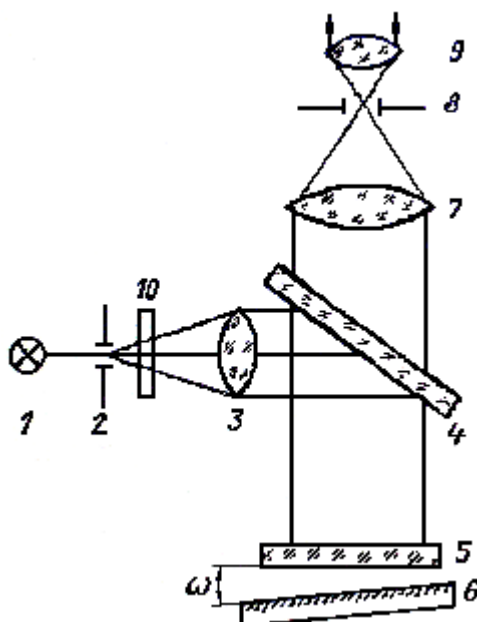


Рис. 2.14. Схема многолучевого интерферометра: 1 – источник света; 2 – диафрагма; 3 – конденсор; 4 – полупрозрачное зеркало; 5 – пластина; 6 – объект; 7, 8, 9 – элементы микроскопа; 10 – фильтр; ω – угол между пластиной и объектом

Для контроля шероховатости поверхности, наряду с рассмотренными выше средствами измерения, применяют еще один тип интерференционного прибора – микроскоп сравнения (компаратор) конструкции В.И. Саркина (рис. 2.15).

Прибор позволяет одновременно наблюдать две интерференционные картины, одна из которых формируется изделием, а вторая – эталоном шероховатости (обычно это изделие того же типа, что и контролируемое). Свет от источника 1 падает на образец 2 и эталон 2' и с помощью призм 4, зеркал 3, объективов 5 и призм 6 и 7 формирует две интерференционные картины в фокальной плоскости 9 окуляра 8. О качестве образца судят по степени различия этих картин [13].

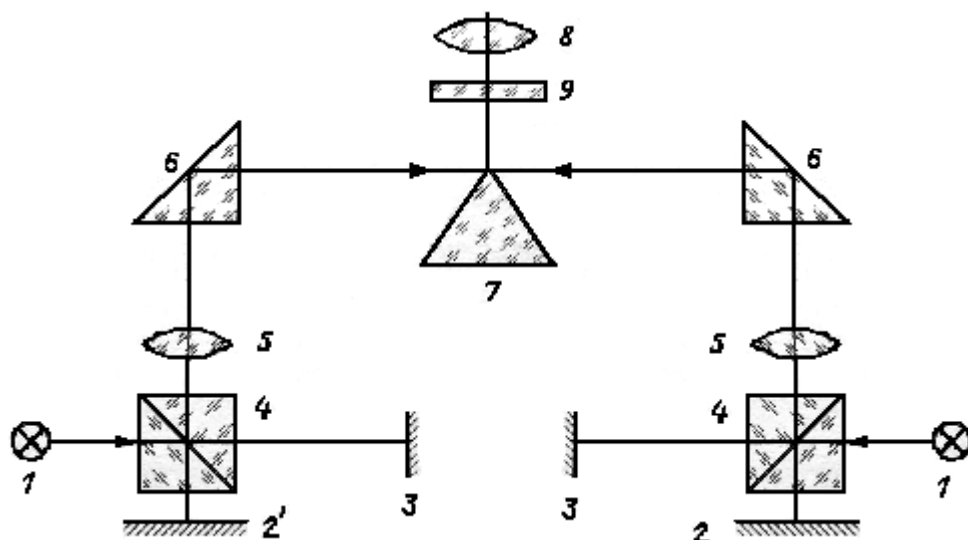


Рис. 2.15. Интерференционный микроскоп сравнения В.И. Саркина:
 1 – источник света; 2 – контролируемый образец; 2' – эталон; 3 – зеркала;
 4, 6, 7 – призмы; 5 – объективы; 8 – окуляр; 9 – фокальная плоскость

Технические характеристики микроинтерферометров для контроля шероховатости поверхности представлены в табл. 2.8.

Таблица 2.8

Технические характеристики микроинтерферометров для контроля шероховатости поверхности (ГОСТ 9847–79) [13]

Тип прибора	Увеличение	Апертура	Поле зрения, мм	Диапазон контролируемых величин, мкм	Погрешность, мкм	Примечание
МИИ-4	490	0,5	0,32	1...0,03	0,1	Возможны фоторегистрация и наблюдение в монохроматическом свете с компенсатором Карташова. Пределы измерения 4...30 мкм
МИИ-5	480	0,65	0,32	1...0,03	0,1	Упрощенная модель прибора МИИ-4 с компенсатором Карташова. Диапазон измерения 4...30 мкм
МИИ-9	125...700	0,5	0,35...0,19	1...0,03	0,1	В приборе использована схема с интерференционным микрообъективом ОИН-2. Масса прибора 5 кг

Тип прибора	Увеличение	Апертура	Поле зрения, мм	Диапазон контролируемых величин, мкм	Погрешность, мкм	Примечание
МИИ-10	500	0,5	0,36	0,1...10	0,1	Специальный прибор для контроля иммерсионно-репликовым методом
МИИ-12	510	0,5	0,25	0,3...0,8	Точность измерения искривления полос $\pm 0,005$ мм	Микропрофилометр, габаритные размеры 50×25×38 см, масса 30 кг

Интегральные рефлексометрические методы оценки шероховатости поверхности основаны на измерении интенсивности светового потока, отраженного от исследуемого изделия. Угол падения света обычно выбирают равным 86° для шероховатости 0,4...32 мкм, при этом достигается максимальное значение зеркальной составляющей отраженного потока. Схема рефлексометра показана на рис. 2.16.

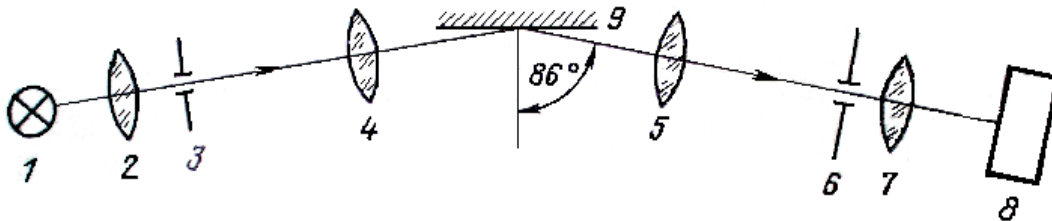


Рис. 2.16. Схема рефлексометра: 1 – источник света; 2, 7 – линзы; 3, 6 – диафрагмы; 4, 5 – объективы; 8 – фотоэлемент; 9 – контролируемое изделие

Источник света 1 с помощью конденсора 2, освещающий диафрагму 3, находится в фокусе объектива 4, из которого выходит параллельный пучок света, падающий на изделие 9. Измерительная ветвь состоит из объектива 5, диафрагмы 6, конденсорной линзы 7 и фотоэлемента 8. Измерения заключаются в определении максимальных значений фототока при последовательной установке образца и изделия и вычислении их соотношения, которое и служит мерой качества поверхности. Точность измерения не превышает $\pm 15\%$, однако метод имеет такие преимущества, как простота, объективность и быстрота измерения. К недостаткам метода следует отнести влияние условий измерений на точность метода (наличие пыли, загрязнений и др.) [13].

2.2.2.2. Средства контактного метода контроля шероховатости поверхности

Контактные измерения шероховатости выполняются непрерывным ощупыванием поверхности изделия. Контактные (щуповые) приборы делятся на профилометры, предназначенные для непосредственного показа среднего арифметического отклонения профиля поверхности R_a , и профилографы, записывающие профиль поверхности в виде профилограммы. По профилограмме определяются все параметры шероховатости [12]. Поэтому другое название контактных методов – профилографические методы. Прибор, совмещающий в себе профилометр и профилограф, называется профилографом-профилометром.

Ощупывание контролируемой поверхности осуществляется алмазной иглой с малым радиусом закругления. Вертикальное перемещение иглы, вызываемое неровностями поверхности, преобразуется в электрические сигналы с помощью индуктивных или механотронных преобразователей. Перемещение алмазной иглы по поверхности (в горизонтальной плоскости) осуществляется приводом [14].

Профилометры

В профилометрах параметры шероховатости определяют по стрелочным или цифровым отсчетным устройствам. Например, к профилометрам со стрелочным отсчетным устройством относят профилометры модели 253 (рис. 2.17) и модели 283, у которых шкалы проградуированы по параметру R_a , а в качестве преобразователя использован механотрон, представляющий собой электронную лампу с подвижным анодом [14].

Профилометр модели 253 состоит из механотронного преобразователя 1, привода 2, электронного блока 3, столика 4, призмы 5, стойки 6. Колебания иглы передаются на анод механотрона через стержень, выходящий из стеклянной колбы. В электронной лампе они преобразуются в электрические сигналы, которые передаются в электронный блок прибора. Там сигналы усиливаются и фиксируются на отсчетном устройстве. Данная модель имеет пределы измерения R_a от 0,02 до 3,2 мкм.

Перед измерением профилометр настраивают по образцу с известными параметрами шероховатости поверхности. Большое значение имеет правильная установка контролируемой поверхности изделия относительно алмазной иглы преобразователя [14].

Портативный профилометр модели 296 позволяет измерять параметр шероховатости R_a индуктивным методом. Прибор снабжен окнами цифровой индикации и клавишами переключения диапазонов измерения R_a . Общий диапазон измерения прибора составляет от 0,2 до 10 мкм, шеро-

ховатость можно измерять на поверхности отверстий диаметром не менее 6 мм и глубиной до 130 мм. Наружный диаметр поверхности не ограничен, так как головка прибора может быть установлена на поверхности самой детали, шероховатость которой измеряется.

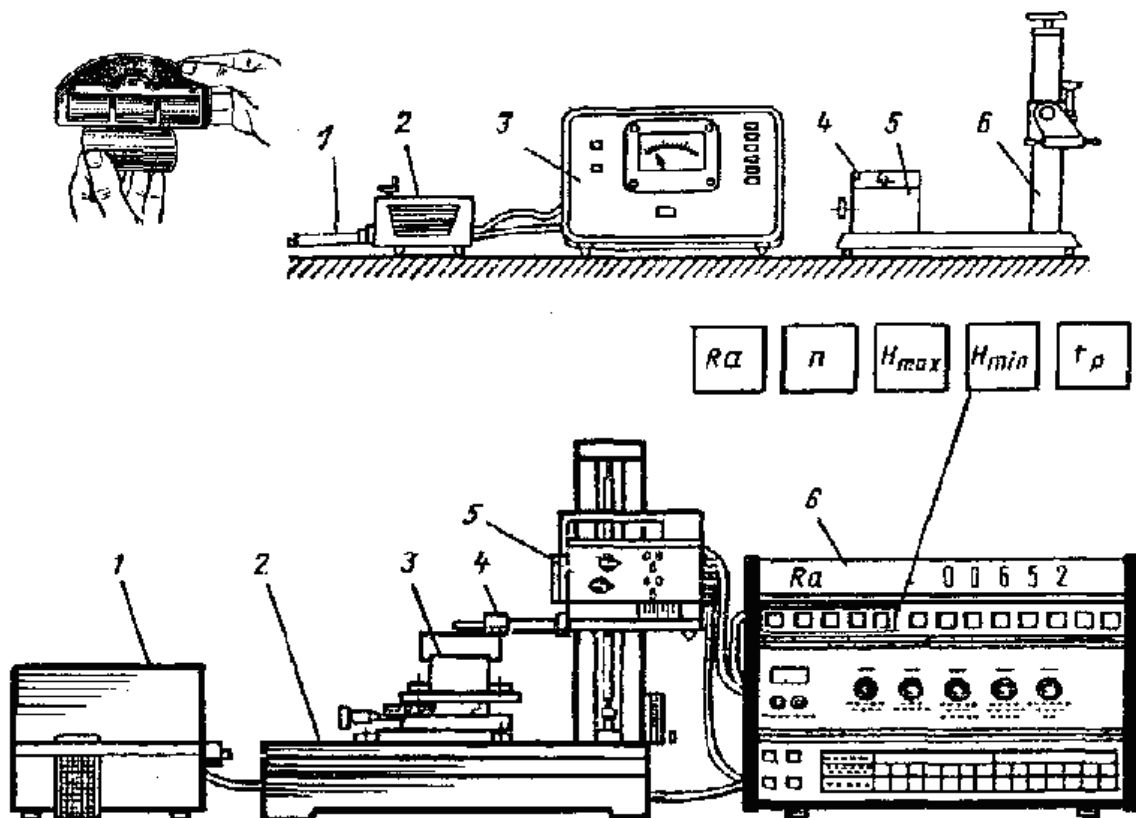


Рис. 2.17. Профилометр модели 253: 1 – механотронный преобразователь; 2 – привод; 3 – электронный блок; 4 – столик; 5 – призма; 6 – стойка

Диапазон измерений параметра R_a составляет от 0,02 до 100 мкм. Для измерения шероховатостей поверхностей с весьма малыми параметрами R_a и S применяют датчики с иглой, имеющей радиус закругления острия 2 мкм, а для более глубоких неровностей – датчик с иглой, имеющей радиус 10 мкм [11].

Профилографы-профилометры

Согласно ГОСТ 19300–86 в зависимости от назначения устанавливают следующие типы профилографов-профилометров:

- I – для лабораторных работ (стационарные);
- II – цеховые (стационарно-переносные для контроля окончательно обработанных поверхностей);
- III – цеховые (портативные, предназначенные для межоперационного контроля).

При работе профилографа-профилометра с индуктивным датчиком (рис. 2.18, а) перемещение алмазной иглы 1 с радиусом закругления 2 мкм по проверяемой поверхности приводит к колебанию якоря 2, установленного на оси 3. При этом изменяется индуктивное сопротивление датчика, состоящего из сердечника 4 и катушек 5 обмотки. Колебания напряжения на выходе дифференциального трансформатора 7, получающего питание от генератора звуковой частоты 6, усиливаются электронным блоком 8. Прибор показывает значение параметров шероховатости. Записывающее устройство 10 вычерчивает профилограмму [12].

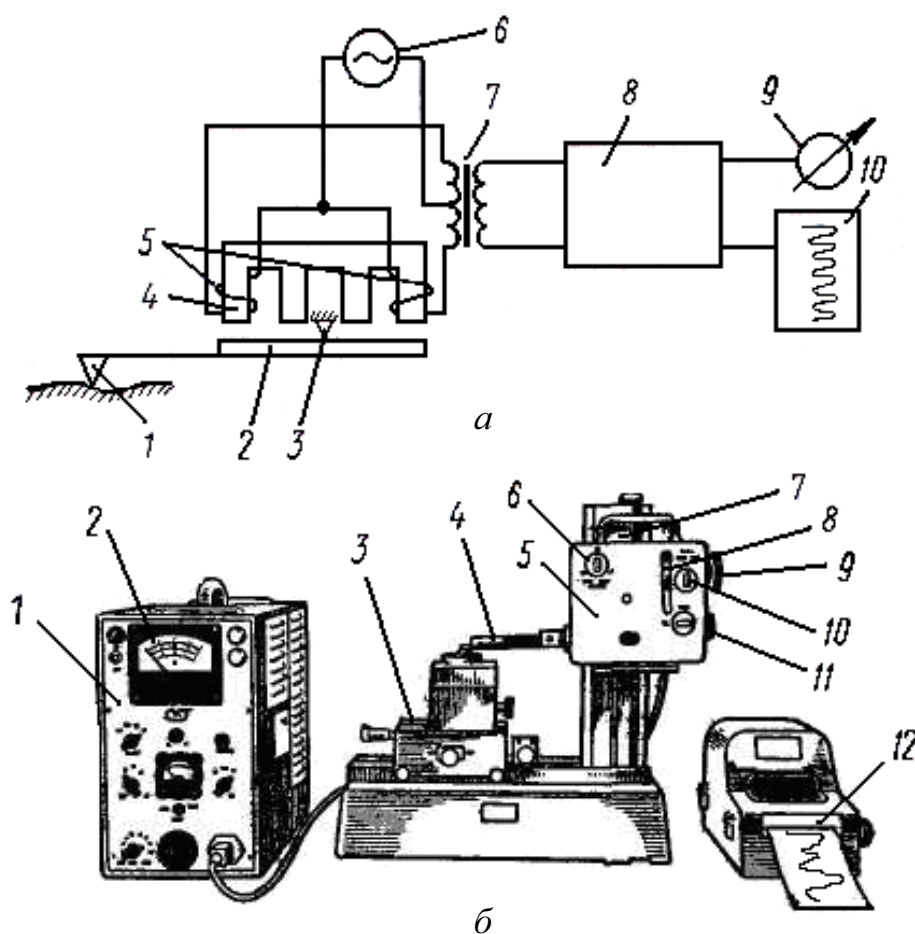


Рис. 2.18. Профилограф-профилометр модели 201:

- а) – схема измерения: 1 – алмазная игла; 2 – якорь; 3 – ось; 4 – сердечник;
5 – обмотки; 6 – генератор звуковой частоты; 7 – трансформатор;
8 – электронный блок; 9 – прибор, показывающий параметры шероховатости;
10 – записывающее устройство;
- б) – внешний вид: 1 – электронный блок; 2 – отсчетное устройство;
3 – стол; 4 – датчик; 5 – привод; 6 – ручка; 7, 9, 11 – винты; 8 – рычаг;
10 – переключатель; 12 – записывающий прибор; 13 – стойка

Профилограф-профилометр модели 201 (рис. 2.18, б) имеет стойку 13 с кареткой, стол 3, датчик 4, привод 5, электронный блок 1 с отсчетным устройством 2, показывающим параметр R_a , и записывающий прибор 12. Прибор работает или как профилограф, или как профилометр. Переключение осуществляется ручкой 6. Привод грубо перемещается по стойке винтом 9 и тонко – винтом 7 и стопорится винтом 11. Поворотом рычага 8 влево до упора датчик переводится в исходное положение. Переключателем 10 изменяют скорость движения датчика. Изделие устанавливают в нужном положении относительно датчика 4 перемещениями стола [12].

Профилометр-профилограф модели 202 снабжен дополнительными устройствами для измерения шероховатости криволинейных поверхностей с радиусом кривизны от 4 до 80 мм и от 50 мм и больше и для измерения шероховатости поверхностей шариков и роликов от 1 до 25 мм. При измерении шероховатости на профилометре-профилографе допустимая погрешность показаний составляет $\pm 10\%$, а при использовании дополнительных устройств – погрешность $\pm 16\%$.

Профилограф-профилометр модели 250 (рис. 2.19) позволяет измерять все параметры шероховатости. Прибор снабжен индуктивным датчиком 1 с иглой, которая находится в контакте с поверхностью детали 2. Полученные в микрометрах значения измеренных параметров шероховатости R_a , R_{max} , S_m , t_p высвечиваются в окнах цифровой индикации 3. Прибор снабжен самописцем 4, позволяющим получить на бумаге графическое изображение реального профиля поверхности. По профилограмме можно определить параметры R_z и S . При этом скорость движения иглы датчика и ее смещение вдоль исследуемой поверхности задаются мотоприводом 5, смонтированным на стойке 6.

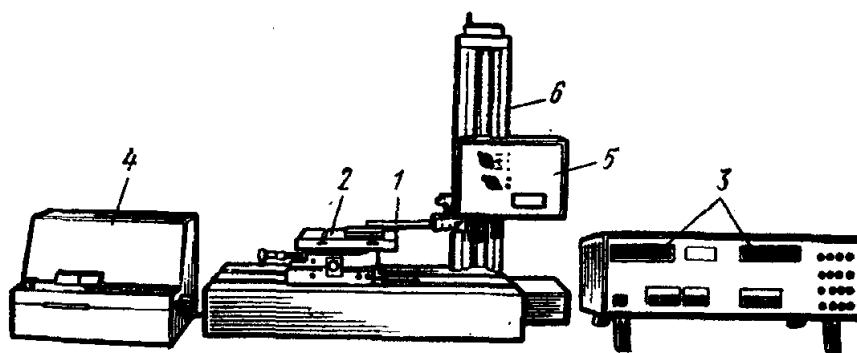


Рис. 2.19. Профилограф-профилометр модели 250: 1 – индуктивный датчик; 2 – контролируемая деталь; 3 – окна цифровой индикации; 4 – самописец; 5 – мотопривод; 6 – стойка

С помощью профилографа-профилометра можно измерять параметры шероховатости поверхности отверстий с наименьшим диаметром 3 мм (при глубине 5 мм). При работе в режиме профилографа возможно получить профилограмму при увеличении $100 \dots 100\,000^x$ по вертикали и $0,5 \dots 2000^x$ по горизонтали [11].

Профилограф-профилометр модель 252 (рис. 2.20) имеет электронный блок с цифровым отсчетным устройством, которое показывает значения параметров R_a , t_p , H_{\max} и H_{\min} и дает возможность определить параметры $R_{\max} = (H_{\max} + H_{\min})$ и S_m [14].

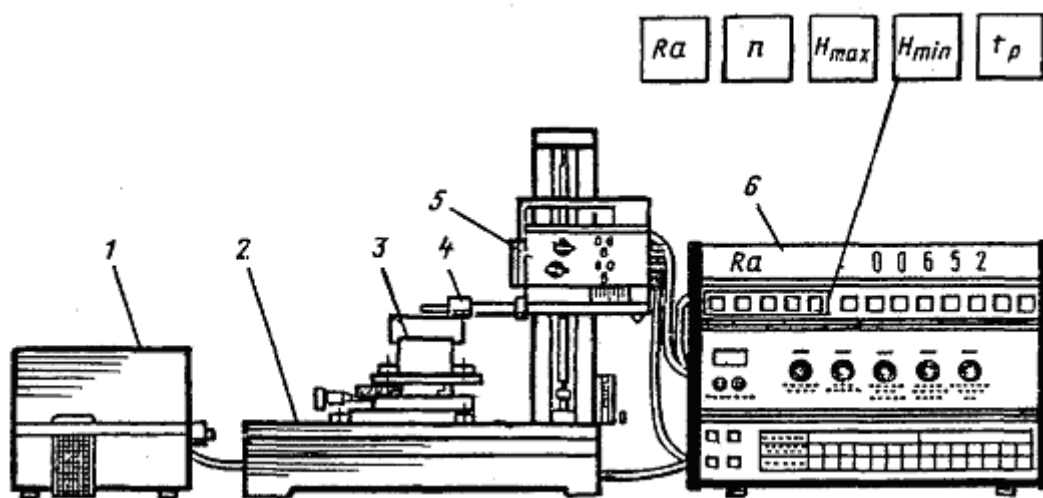


Рис. 2.20. Профилограф-профилометр модели 252

2.2.3. Современные средства контроля шероховатости поверхности

Приборы фирмы «Алан-Абрис»

Профилограф-профилометр «Абрис-ПМ7» и профилометр «Абрис-ПМ7» предназначены для использования в лабораторных и цеховых условиях машиностроительных, приборостроительных и других предприятий, а также в полевых условиях, для измерения шероховатости поверхностей изделий, сечение которых в плоскости измерения представляет прямую линию [15].

Измерение параметров шероховатости поверхности производится по системе средней линии в соответствии с номенклатурой и диапазонами значений, предусмотренными ГОСТ 2789–73.

1) Основные технические характеристики приборов «Абрис».

- Измеряемые параметры шероховатости:
 - а) профилометром: R_a, R_z, R_{\max} ;
 - б) профилографом-профилометром: $R_a, R_z, R_{\max}, S_m, t_p$.

- Вид отсчета результатов измерения: цифровой.
- Вид регистрации результатов измерения при использовании прибора в качестве профилографа: профилограмма в прямоугольной системе координат.
- Форма измеряемых поверхностей: плоские, цилиндрические, конические и другие поверхности, сечение которых в плоскости измерения представляет прямую линию.
- Наибольшая глубина измеряемого отверстия: 20 мм.
- Минимальный диаметр измеряемого отверстия на глубине до 20 мм: 6 мм.
- Диапазон измерений по параметрам шероховатости приведен в табл. 2.9.

Таблица 2.9

Диапазон измерений параметров шероховатости профилографов-профилометров «Абрис-ПМ7» [15]

R_a , МКМ	св. 0,04 до 12,5
R_z, R_{\max} , МКМ	св. 0,16 до 50,0
S_m , МКМ	св. 8,0 до 250,0
t_p , %	св. 0,1 до 99,9

- Предел допускаемой основной погрешности для профиля, близкого к трапецеидальному, должен соответствовать значениям, определяемым по формулам:

$$\Delta R_a = 0,02 R_{a_{\text{в.п}}} + 0,04 R_a, \quad (2.24)$$

$$\Delta R_z = 0,03 R_{z_{\text{в.п}}} + 0,05 R_z, \quad (2.25)$$

$$\Delta R_{\max} = 0,03 R_{\max_{\text{в.п}}} + 0,05 R_{\max}, \quad (2.26)$$

$$\Delta S_m = 0,02 S_{m_{\text{в.п}}} + 0,1 S_m, \quad (2.27)$$

$$\Delta t_p = 8 + 0,02 t_p, \quad (2.28)$$

где $R_{a_{\text{в.п}}}, R_{z_{\text{в.п}}}, R_{\max_{\text{в.п}}}, S_{m_{\text{в.п}}}$ – верхний предел поддиапазона по параметрам R_a, R_z, R_{\max}, S_m , МКМ;

R_a, R_z, R_{\max}, S_m – измеряемые значения параметров, МКМ;

t_p – измеряемое значение относительной опорной длины профиля, %.

- Допускаемое отклонение амплитудно-частотной характеристики от номинальной должно соответствовать первой степени точности по ГОСТ 19300–86.

2) Состав приборов «Абрис-ПМ7».

Профилометр «Абрис-ПМ7» (рис. 2.21) состоит из следующих основных частей: первичного преобразователя, отсчетного устройства, адаптера питания, стойки С1-150.



Рис. 21. Профилометр «Абрис-ПМ7»

Профилограф-профилометр «Абрис-ПМ7» (рис. 2.22) состоит из следующих основных частей: первичного преобразователя, отсчетного устройства, адаптера питания, системного блока, монитора, клавиатуры, печатающего устройства, кабеля соединительного, стойки С1-150.



Рис. 2.22. Профилограф-профилометр «Абрис-ПМ7»

3) Устройство и принцип работы профилографа-профилометра «Абрис-ПМ7».

Действие прибора основано на ощупывании неровностей измеряемой поверхности алмазной иглой и преобразовании колебаний щупа датчика в колебания электрического напряжения, пропорциональные этим колебаниям. Колебания напряжения обрабатываются в отсчетном устройстве и персональном компьютере, и результат обработки выводится в цифровом виде на индикатор отсчетного устройства и в цифровом и графическом виде на экран монитора персонального компьютера.

Основу прибора составляют первичный преобразователь и отсчетное устройство, которые обеспечивают необходимую точность измерения параметров шероховатости.

Первичный преобразователь предназначен для перемещения измерительного механизма с постоянной скоростью относительно измеряемой поверхности и преобразования линейных колебаний иглы, воспроизводящей неровности измеряемой поверхности, в колебания электрического напряжения.

Отсчетное устройство предназначено для усиления и преобразования сигнала с первичного преобразователя, управления электроприводом, вычисления параметров шероховатости измеряемой поверхности с выдачей результатов измерения на устройство цифровой индикации.

Конструктивно отсчетное устройство выполнено в малогабаритном корпусе из ударопрочного полистирола. Переключатели пределов и видов измерений, а также пусковая кнопка, расположены таким образом, что можно удобно работать с отсчетным устройством, держа его при необходимости одной рукой.

Стойка приборная предназначена для установки на нее первичного преобразователя, придания ему пространственного положения при измерении, создания измерительного усилия, а также для установки и закрепления измеряемых деталей.

Программно-аппаратный комплекс на базе IBM-совместимого персонального компьютера, входящего в состав профилографа-профилометра, обеспечивает прием сигналов, их обработку, расчет параметров шероховатости и вывод на экран монитора и печатающее устройство результатов расчета и профилограммы измеренного участка.

Первичный преобразователь базируется на измеряемую поверхность либо непосредственно основанием, либо с помощью дополнительных приспособлений таким образом, чтобы рабочая поверхность опоры, вершина иглы и рабочая плоскость основания находились в одной плоскости. При этом индикатор на первичном преобразователе должен светиться тем ярче, чем ближе к сбалансированному положению находится измерительный механизм датчика.

Выходной сигнал с первичного преобразователя поступает в отсчетное устройство, в котором он усиливается и обрабатывается. Цифровое значение вычисленных параметров по одному, в зависимости от положения переключателей на отсчетном устройстве, выдается в десятичном виде на устройство цифровой индикации.

Исходя из величины измеряемой шероховатости, переключателем на отсчетном устройстве выбирается базовая длина, на которой производится определение параметров шероховатости, и соответствующий предел измерения.

Длина трассы ошупывания задается переключателем на отсчетном устройстве путем выбора количества базовых длин на участке измерения. На каждом из участков осуществляется независимый расчет параметров шероховатости, а затем производится усреднение результатов расчета и вывод на устройство индикации.

При использовании прибора в качестве профилографа отсчетное устройство с помощью соединительного кабеля подключается к порту СОМ-2 персонального компьютера. Управление работой прибора в этом случае осуществляется с клавиатуры персонального компьютера по специальной программе. Все параметры шероховатости рассчитываются за один проход датчика и выводятся на экран вместе с профилограммами. Результаты измерений могут быть выведены на печать.

Программное обеспечение позволяет производить сохранение и накопление результатов измерения и последующую их статистическую обработку.

При возникновении ошибок и сбоев при измерении программа выдает на экран соответствующее сообщение и рекомендации по их устранению.

Для проверки правильности показаний прибор оснащен установочным образцом, представляющим собой металлическую пластину с аттестованной площадкой. Величина шероховатости и условия, при которых она была измерена, указаны на пластине [15].

Цифровые портативные измерители шероховатости фирмы «Time Group Inc.»

Модель TR-100

Портативный измеритель шероховатости поверхности типа TR-100 фирмы «TIME» (рис. 2.23) снабжен современным микропроцессором для сбора и обработки данных с отображением всех результатов измерений.

В корпусе прибора объединены: процессор, дисплей и преобразователь. С помощью переключателя пользователь может выбрать единицы измерения: R_a или R_z . В дополнение к измерению шероховатости плоских, закругленных и наклонных поверхностей, TR-100 измеряет в пазах и углублениях размером не менее 80×30 мм [16].



Рис. 2.23. Цифровой портативный измеритель шероховатости TR-100

Модель TR-200

Портативный измеритель шероховатости TR-200 – новая продукция, разработанная компанией «Time Group Inc». Измеритель предназначен для работы в условиях производства и может быть использован для измерения шероховатости поверхности различных машиностроительных деталей. Измеритель производит расчет параметров шероховатости в соответствии с выбранной методикой и четко отображает на жидкокристаллическом экране график профиля и все измеренные параметры [16].

1) Характеристики TR-200:

- измерение многих параметров шероховатости: R_a , R_z , R_y , R_q , R_m , R_t , R_{\max} , S_k , S , S_m , t_p ;
- прецизионный индукционный датчик;
- четыре способа фильтрации RC, PC-RC, GAUSS и D-P;
- совместим с четырьмя стандартами ISO (Международная организация по стандартизации), DIN (Германский институт стандартов), ANSI (Американский национальный институт стандартов) и JIS (Японский промышленный стандарт);
- точечный жидкокристаллический дисплей матричного типа 128×64 , отображающий все параметры и графики;
- предусмотрены автоматическое отключение, память и экранные рекомендации;
- предоставляются различные вспомогательные приспособления: датчик для криволинейной поверхности, измерительная стойка, чехол для датчика, регулируемая подставка и удлинительный стержень;
- погрешность равна или меньше 10 %.

2) Принцип работы измерителя шероховатости TR-200.

При измерении шероховатости, на поверхности детали располагают датчик (рис. 2.24) и проводят им по поверхности с постоянной скоростью.

Датчик воспринимает неровности поверхности острым пером. Неровности поверхности вызывают смещения в датчике, в результате чего изменяется индуктивность катушки, которая генерирует аналоговый сигнал, пропорциональный размерам неровностей. Сигнал поступает на фазочувствительный выпрямитель. После усиления и преобразования уровня этот сигнал поступает в систему сбора данных. Собранные данные подвергаются цифровой фильтрации, и микросхема цифровой обработки сигналов производит расчет параметров. Результаты измерения можно считать на жидкокристаллическом дисплее, распечатать на принтере и передать на персональный компьютер.

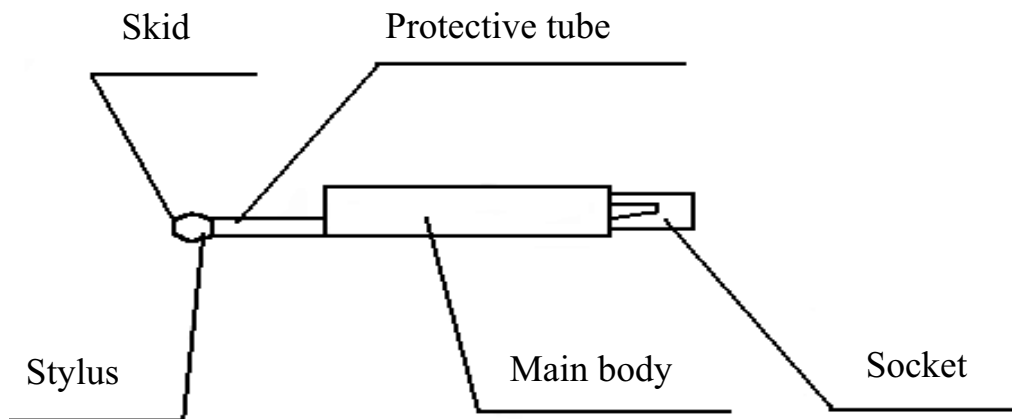


Рис. 2.24. Датчик портативного измерителя шероховатости TR-200:
skid – скользящий элемент; *protective tube* – защитная трубка; *stylus* – перо;
main body – корпус; *socket* – разъем

Внешний вид портативного измерителя шероховатости TR-200 представлен на рис. 2.25.

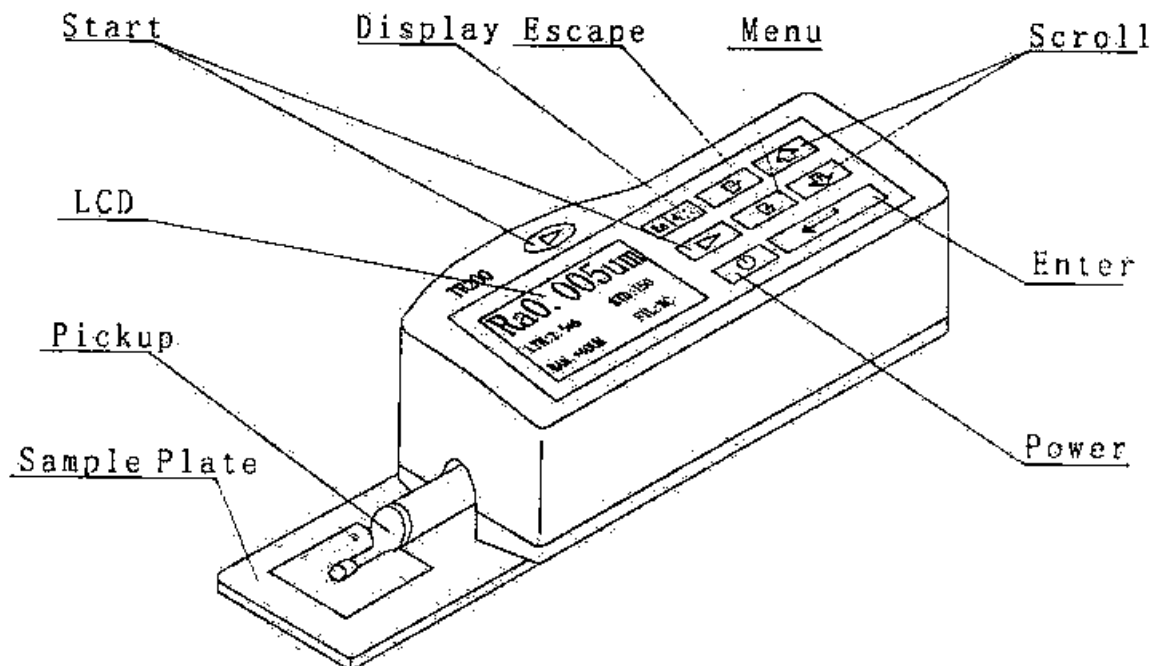


Рис. 25. Внешний вид портативного измерителя шероховатости TR-200:
start – запуск; *display* – режим отображения; *escape* – выход; *menu* – меню;
skroll – прокрутка; *enter* – ввод; *power* – питание; *LCD* – жидкокристаллический
 дисплей; *pickup* – датчик; *sample plate* – образцовая пластина

Модель TR-240

Портативный измеритель шероховатости TR-240 – самое современное изделие компании «ТІМЕ». Используя дифференциальный индуктивный датчик, прибор имеет высокую точность и стабильность показаний, широкий диапазон объектов контроля, прост и надежен в эксплуатации.

Приборы фирмы «Elcometer»

Профилемеры «Elcometer»

Профилемер «Elcometer-123» (рис. 2.26, а) – удобный в использовании прибор, измеряющий высоту неровностей поверхности. Усредненное значение последовательности измерений обеспечивает индикацию шероховатости поверхности и позволяет выполнять сравнение поверхностей при подготовке струйным способом.



Рис. 2.26. Профилемеры фирмы «Elcometer»: а – профилемер «Elcometer-123»; б – цифровой профилемер «Elcometer-223»

Цифровой профилемер «Elcometer-223» (рис. 2.26, б) представляет собой работающий от батарей цифровой профилемер, который используется для измерения высоты неровностей поверхности так же, как и «Elcometer-123», но с дополнительной функцией прямого вывода данных и цифровым дисплеем. Вывод данных через порт RS-232 для передачи показаний на ПК, регистратор данных, вывода на принтер и т. д., что обеспечивает сохранение твердой копии отчета о результатах измерений.

Характеристики цифрового профилемера «Elcometer-223»:

- измерения в метрической и английской системе мер;
- удобство использования;
- повышенное разрешение;
- мгновенное получение значений для построения профиля поверхности [17].

Прибор оценки шероховатости поверхности (толщиномер) «Elcometer-101» со шкалой

Прибор «Elcometer-101» (рис. 2.27, а) используется для оценки шероховатости железных и стальных поверхностей с помощью магнитного эффекта. Шкала прибора показывает пригодность поверхности для нанесения краски и износостойких покрытий. Прибор не требует питания от батарей, прост и удобен в использовании [17].



а



б

Рис. 2.27. Устройство оценки шероховатости:

а – прибор оценки шероховатости поверхности «Elcometer-101» со шкалой;

б – лента «Elcometer-122 Testex» («Слепок»)

Лента «Elcometer-122 Testex» («Слепок»)

Лента «Elcometer-122 Testex» («Слепок») (рис. 2.27, б) дает возможность пользователю измерять высоту неровностей профиля поверхности и регистрировать их, она состоит из вспененного слоя и несжимаемой подложки. Вспененным слоем лента прижимается к поверхности, обеспечивая получение перманентного слепка поверхности. Затем для измерения высоты неровностей профиля поверхности, образованного лентой «Elcometer-122 Testex», используется толщиномер «Elcometer-124».

Лента «Elcometer-122 Testex» доступна в 4 диапазонах измерения профиля. Важно, чтобы выбранный диапазон ленты соответствовал диапазону измеряемого профиля. Лента используется в соответствии с ASTM D 4417-C, ISO DIS 8503-3 [17].

Профилометры «Surftest» SJ-201 и SJ-301

Портативный профилометр «Surftest» SJ-201 (рис. 2.28, а) сконструирован для быстрого и точного определения параметров шероховатости поверхности. Для решения различных измерительных задач существует большой выбор пробников и насадок. Для измерения в труднодоступных местах, измерительный блок может быть отсоединен от основного блока.

SJ-201 имеет вывод данных в стандартах RS-232 и DIGIMATIC. Полученные результаты измерений могут быть переданы для дальнейшей обработки на компьютер и другое внешнее устройство. Автоматическое выключение прибора через 30 с после окончания измерений [17].



Рис. 2.28. Профилометры: а – «Elcometer-7060», «Surftest» SJ-201; б – «Elcometer-7060/4», «Surftest» SJ-301

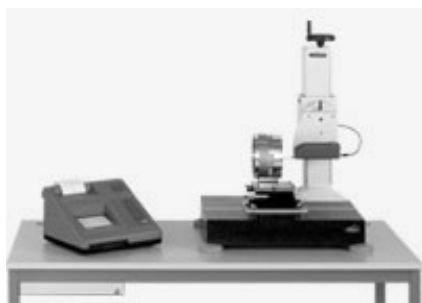
Портативный профилометр (измеритель шероховатости поверхности) «Surftest» SJ-301 (рис. 2.28, б) оборудован грязезащитным устройством, сенсорной панелью управления и встроенным принтером. Результаты измерения и аналитические графики отображаются на большом жидкокристаллическом дисплее. Встроенный принтер обеспечивает быструю и четкую печать на термочувствительной бумаге. Для управления измерениями используется большая клавиатура, а сенсорная панель жидкокристаллического дисплея (включая специальную ручку) используется для установки различных параметров измерений.

SJ-301 поддерживает международные стандарты: DIN, ISO, ANSI и JIS.

Измеренная величина может быть немедленно сохранена и проанализирована позже и (или) распечатана. Карта памяти позволяет сохранить до 20 установок параметров измерений, результатов измерений и статистических результатов обработки. Измеренная величина может быть передана во внешний персональный компьютер [17].

Приборы «Hommel Tester»

«Hommel Tester» T-6000 – компактный прибор для контроля шероховатости, волнистости и микропрофиля с микропроцессорным управлением (рис. 2.29, а).



а



б

*Рис. 2.29. Приборы контроля шероховатости:
а – «Hommel Tester» T-6000; б – «Hommel Tester» T-8000*

«Hommel Tester» T-8000 – лабораторный прибор для контроля шероховатости высочайшего класса точности с персональным компьютером. Предназначен для определения всех обычных параметров шероховатости по действующим в настоящее время нормам расчета специальных параметров. Имеет неограниченное число измерительных программ и протоколов; возможность использования любых принтеров, поддерживаемых Windows; возможность сопряжения со всеми программами Windows, например Winword, Excel, Write, Access и т. д. Имеется возможность контроля микро- и макропрофилей, а также определения топографии поверхности (рис. 2.29, б) [16].

2.3. Требования к шероховатости поверхности в неразрушающих методах контроля качества

Разрушение детали, особенно при переменных нагрузках, в большей степени объясняется концентрацией напряжений вследствие наличия неровностей. Чем меньше шероховатость, тем меньше возможность возникновения поверхностных трещин от усталости металла. Отделочная обработка деталей (доводка, полирование и т. п.) обеспечивает значительное повышение предела их усталостной прочности.

Уменьшение шероховатости поверхности значительно улучшает антикоррозионную стойкость деталей. Это имеет особенно большое значение в том случае, когда для поверхностей не могут быть использованы защитные покрытия (поверхности цилиндров двигателей и др.).

С понижением шероховатости поверхностей улучшается их способность к отражению электромагнитных, ультразвуковых и световых волн; уменьшаются потери электромагнитной энергии в волноводных трактах, резонирующих системах, уменьшается емкость электродов; в электровакуумных приборах уменьшается газопоглощение и газовыделение, облегчается очистка деталей от адсорбированных газов, паров и пыли.

Шероховатость зачищенных под визуальный измерительный контроль поверхностей деталей, сварных соединений, а также поверхностей разделки кромок деталей (сборочных единиц, изделий), подготовленных под сварку, согласно РД 03-606-03 [18] должна быть не более $R_a 12,5$ ($R_z 80$).

Шероховатость поверхностей изделий и сварных соединений для проведения методов неразрушающего контроля зависит от метода контроля и должна быть не более $R_a 3,2$ ($R_z 20$) при капиллярном контроле по первому и второму классам чувствительности. Допускается шероховатость поверхности $R_z \leq 40$ мкм ($R_a \leq 10$ мкм) при условии отсутствия при контроле светящегося или окрашенного фона для третьего класса чувствительности; для контроля по четвертому классу чувствительности R_z должно быть не более 80 мкм, как указано в стандарте [19].

В соответствии с ГОСТ 21105–87 чувствительность магнитопорошкового метода (МПД) определяется несколькими характеристиками, одной из которых является шероховатость поверхности. В зависимости от размеров выявляемых дефектов устанавливаются три условных уровня чувствительности: А, Б, В.

Условный уровень чувствительности А достигается при параметре шероховатости контролируемой поверхности $R_a \leq 2,5$ мкм, уровни чувствительности Б и В – при $R_a \leq 10$ мкм. При выявлении подповерхностных дефектов, а также при R_a более 10 мкм чувствительность метода понижается, и условный уровень чувствительности не нормируется [20].

Высокая чувствительность МПД может быть достигнута при параметре шероховатости контролируемой поверхности R_a , равном 1,6 мкм. Если шероховатость контролируемой поверхности R_z равна 40 мкм, то, при прочих равных условиях, могут быть обнаружены дефекты, примерно в 2 раза более грубые, т. е. с раскрытием вдвое большим, при равном отношении глубины к раскрытию или со значительно большей глубиной. Это связано с тем, что на шероховатой поверхности создаются локальные магнитные поля, вызывающие осаждение порошка в виде вуали, на фоне которой тонкие дефекты становятся невидимыми [21].

При проведении ультразвукового контроля качество поверхности изделия должно обеспечивать максимальное прохождение ультразвука в изделие по всей площади сканирования. Качество подготовленной поверхности оценивают по параметрам шероховатости. Оптимальной считается поверхность с шероховатостью $R_z 20 \dots 40$ мкм. Грубо обработанная поверхность (R_z более 40 мкм) обуславливает снижение чувствительности и ее нестабильность. При R_z менее 20 мкм ослабляются фрикционные свойства поверхности и контактная жидкость «выскальзывает» из-под преобразователя [21].

Для других методов неразрушающего контроля шероховатость контролируемых поверхностей изделий не регламентируется и устанавливается производственно-технической документацией (ПТД) или производственно-конструкторской документацией (ПКД) [18].

2.4. Нормативно-техническая документация, регламентирующая требования к шероховатости поверхности, методам и средствам ее измерения

В рекомендациях Международного комитета по стандартизации ИСО Р 468 «Шероховатость поверхности» приняты две системы отсчета высоты неровностей: *M* и *E*. В системе *M* отсчет высоты неровностей производится от средней линии профиля, а в системе *E* – от огибающей линии, лежащей вне контура шероховатости поверхности.

В Российской Федерации при стандартизации шероховатости поверхности в основу принята система отсчета *M*, в которой при определении параметров профиля отсчет высоты неровностей производится от средней линии профиля [7].

Рассмотрим основные нормативно-технические документы, устанавливающие требования к шероховатости поверхности и средствам ее измерения.

ГОСТ 25142–82. Шероховатость поверхности. Термины и определения

Настоящий стандарт устанавливает применяемые в науке, технике и производстве термины и определения основных понятий, относящихся к шероховатости поверхности. Термины, установленные стандартом, обязательны для применения в документации всех видов, научно-технической, учебной и справочной литературе. Стандарт полностью соответствует СТ СЭВ 1156–78 [16].

ГОСТ 2789–73. Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики

Настоящий стандарт распространяется на шероховатость поверхности изделий, независимо от их материала и способа изготовления (получения поверхности). Стандарт устанавливает перечень параметров и типов направлений неровностей, которые должны применяться при установлении требований и контроле шероховатости поверхности, числовые значения параметров и общие указания по установлению требований к шероховатости поверхности.

Стандарт не распространяется на шероховатость ворсистых и других поверхностей, характеристики которых делают невозможным нормирование и контроль шероховатости имеющимися методами, а также на дефекты поверхности, являющиеся следствием дефектов материала (раковины, поры, трещины) или случайных повреждений (царапины, вмятины и т. д.).

Стандарт полностью соответствует СТ СЭВ 638-77 и международной рекомендации по стандартизации ИСО Р 468 [6].

ГОСТ 27964–88. Измерение параметров шероховатости. Термины и определения

Стандарт полностью соответствует СТ СЭВ 6134-87, ИСО 4287/2-84, ИСО 1879-81 в части «средства измерений», ИСО 1880-79, ИСО 3274-75 – терминов и определений.

Настоящий стандарт устанавливает термины и определения понятий, относящихся к измерению параметров и характеристикам шероховатости поверхности [22].

ГОСТ 9378–93 (ИСО 2632-1-85, ИСО 2632-2-85).

Образцы шероховатости поверхности (сравнения).

Общие технические условия

Настоящий стандарт представляет собой полный аутентичный текст ИСО 2632-1-85 «Образцы шероховатости (сравнения). Часть 1: Поверхности, получаемые обтачиванием, шлифованием, растачиванием, фрезерованием и строганием» и ИСО 2632-2-85 «Образцы шероховатости сравнения. Часть 2: Поверхности, получаемые электроэрозионной, дробеструйной, пескоструйной обработкой и полированием»; содержит дополнительные требования, отражающие потребности экономики страны.

Настоящий стандарт распространяется на образцы шероховатости поверхности, предназначенные для сравнения визуально и на ощупь с поверхностями изделий, полученными обработкой резанием, полированием, электроэрозионной, дробеструйной и пескоструйной обработкой [9].

ГОСТ 19300–86. Средства измерений шероховатости поверхности профильным методом. Профилографы-профилометры контактные.

Типы и основные параметры

Стандарт соответствует международным стандартам ИСО 3274-75 и ИСО 1880-79. Настоящий стандарт распространяется на профилографы-профилометры контактные для измерения профиля и параметров шероховатости поверхности по системе средней линии (ГОСТ 25142–82) в соответствии с номенклатурой и диапазонами значений, предусмотренными ГОСТ 2789–73 [23].

ГОСТ 4.449–86 СПКП. Приборы контрольно-измерительные оптико-механические для контроля шероховатости и качества поверхности. Номенклатура показателей

Настоящий стандарт устанавливает номенклатуру основных показателей качества контрольно-измерительных оптико-механических приборов для контроля шероховатости и качества поверхности, включаемых в ТЗ

на НИР по определению перспектив развития этой продукции; включает государственные стандарты с перспективными требованиями, а также номенклатуру показателей качества, включаемых в разрабатываемые и пересматриваемые стандарты на эти изделия, ТЗ на ОКР, технические условия, карты технического уровня и качества продукции [24].

ГОСТ 9847–79. Приборы оптические для измерения параметров шероховатости поверхности. Типы и основные параметры

Настоящий стандарт распространяется на оптические приборы, действие которых основано на принципе одновременного преобразования профиля поверхности, предназначенные для измерения параметров R_{\max} , R_z , S по ГОСТ 2789–73, а также устанавливает типы и основные параметры оптических приборов при визуальных измерениях параметров шероховатости при помощи отсчетного устройства [25].

ГОСТ 8.296–78. Государственный специальный эталон и общесоюзная поверочная схема для средств измерений параметров шероховатости R_{\max} и R_z в диапазоне 0,025...1600 мкм

Настоящий стандарт распространяется на государственный специальный эталон и общесоюзную поверочную схему для средств измерений параметров шероховатости R_{\max} и R_z в диапазоне 0,025...1600 мкм и устанавливает назначение государственного специального эталона единицы длины в области измерений параметров шероховатости R_{\max} и R_z в диапазоне 0,1...1000 мкм – микрометра (мкм), комплекс основных средств измерений, входящих в его состав, основные метрологические параметры эталона и порядок передачи размера единицы длины в области измерений параметров шероховатости R_{\max} и R_z от специального эталона при помощи вторичных эталонов и образцовых средств измерений рабочим средствам измерений с указанием погрешностей и основных методов поверки [26]. Общесоюзная поверочная схема для средств измерений параметров шероховатости приведена в приложении В.

ГОСТ 2.309–73 ЕСКД. Обозначения шероховатости поверхностей

Настоящий стандарт устанавливает обозначения шероховатости поверхностей и правила нанесения их на чертежах изделий всех отраслей промышленности. Стандарт полностью соответствует стандарту ИСО 1302 [27].

ГОСТ 7016–82. Изделия из древесины и древесных материалов.

Параметры шероховатости поверхности

Настоящий стандарт распространяется на древесину и продукцию из древесины (пиломатериалы, фанеру, шпон, древесно-слоистые пластики, древесно-стружечные и древесно-волокнистые плиты и изделия из них), не имеющей защитно-декоративных покрытий, и устанавливает

номенклатуру параметров шероховатости поверхности, их числовые значения и общие указания по нормированию. Стандарт должен применяться при разработке нормативно-технической документации на конкретную продукцию [28].

ГОСТ 15612–85. Изделия из древесины и древесных материалов.

Методы определения параметров шероховатости поверхности

Настоящий стандарт распространяется на изделия из древесины и древесных материалов и устанавливает методы определения параметров шероховатости поверхности $R_{m\max}$, R_m , R_z , R_a и S_z по ГОСТ 7016–82, а также метод контроля шероховатости поверхности изделий по образцам шероховатости [29].

МУ № 176. Обработка профилограмм шероховатости поверхности

Документ предназначен для обработки профилограмм шероховатости поверхности, полученных различными способами. В документе приведены способы определения формы и расположения средней линии профиля по способу наименьших квадратов с помощью планиметра и на глаз, приемы выбора длины интервала между ординатами точек сложного профиля, методы измерения ординат точек профиля. В документе описаны методики определения параметров шероховатости поверхности R_a , H_{ck} , R_v , H_{cp} разными способами, даны расчетные формулы и конкретные примеры их применения. В приложении приведены условия надежности выбора участка измерения для определения параметров шероховатости по профилограмме.

МИ 41–88. Методика выполнения измерений параметров шероховатости поверхности по ГОСТ 2789–73 при помощи приборов профильного метода

Документ распространяется на методы измерений параметров шероховатости R_a , R_v , R_{\max} , S , S_m , t_p при помощи приборов профильного метода и устанавливает процедуры измерения деталей при контроле производственного процесса и приемочного контроля готовых изделий. В документе приведены общие указания по выбору контролируемого участка поверхности детали и по рекомендуемому методу измерения, даны рекомендации по выбору длины участка измерения, опоры датчика, участков измерения и направления измерений, а также расчетные формулы для определения параметров шероховатости.

МИ 120–77. Методика проверки микроинтерферометра МИИ-4

Документ устанавливает методы и средства первичной и периодической проверок микроинтерферометров МИИ-4. В процессе проверки проверяют оптические параметры (увеличение, размеры поля зрения,

смещение изображения от центра), механические характеристики (пределы и погрешности перемещения предметного стола, пределы микрометрической подачи механизма фокусировки, смещение центра вращения интерференционных полос и резкость их изображения и др.) и случайную составляющую погрешности. В документе приведена методика выполнения измерений.

МИ 259–82. Микроинтерферометр МИИ-11.

Методы и средства поверки

Документ устанавливает методы и средства первичной и периодической поверок микроинтерферометров МИИ-11. В процессе поверки определяют метрологические, оптические и механические характеристики микроинтерферометра. Метрологические характеристики: искривление интерференционных полос определяют с помощью плоскопараллельных концевых мер длины, а среднее квадратичное отклонение результатов наблюдений – с помощью ступенчатой меры. Оптические характеристики: освещенность поля зрения определяют плоскопараллельными концевыми мерами длины, а увеличение микроинтерферометра и размеры линейного поля – стеклянной шкалой. Механические характеристики: появление интерференционных полос в момент контакта интерференционной пластинки с испытуемой поверхностью и механизм качания интерференционной пластины проверяют плоскопараллельными концевыми мерами длины, а устойчивость интерференционной картины – гирями. В документе приведены методики выполнения измерений и обработки результатов.

МИ 1011–85. Государственная система обеспечения единства измерений. Контроль неразрушающий. Параметры формы поверхности изделий. Методика выполнения иммерсионных измерений

Документ устанавливает методику выполнения голографических иммерсионных измерений параметров поверхностей изделий произвольной формы с диффузно-отражающими поверхностями размером $100 \times 100 \times 100$ мм, шероховатостью $10 < R_z < 80$ мкм, $0,32 < R_a < 2,5$ мкм. Метод заключается в получении интерференционных топограмм внешней поверхности изделия, помещенного в кювету, заполняемую двумя иммерсионными жидкостями с разным показателем преломления; фотографировании топограмм, а затем в сравнении полученных фотографий топограмм образцового и контролируемого изделий. Основная относительная погрешность измерений формы поверхности не превышает 5 % при доверительной вероятности $P = 0,95$. В документе приведен перечень необходимых вспомогательных средств измерений, материалов и реактивов, описана принципиальная оптическая схема установки и методика выполнения измерений.

В приложениях даны пояснения терминов, указания по обработке фотопластинок и пример подбора рабочего раствора и расчета размеров параметров формы поверхности изделия по топограмме.

МИ 1850–88. Государственная система обеспечения единства измерений. Образцы шероховатости поверхности сравнения.

Методика поверки

Документ распространяется на образцы шероховатости поверхности сравнения и устанавливает методы и средства их первичной и периодической поверок. Основным средством для определения размеров их параметров является профилограф-профилометр. В документе приведены методика измерения параметров шероховатости поверхности и формулы определения их значений.

В приложениях дана методика определения значений параметров шероховатости по профилограмме и рассмотрен пример определения метрологических характеристик образца шероховатости, полученного точением.

В технической документации, разработанной до 1975 года, использовали классы шероховатости по ГОСТ 2789–59 (табл. 2.10).

Таблица 2.10

Классы шероховатости (ГОСТ 2789–59) и соответствующие им наибольшие значения параметров шероховатости (ГОСТ 2789–73)

Классы шероховатости	Параметры шероховатости, мкм		Базовая длина l , мм
	R_a	R_z	
1	80	320	8,0
2	40	160	
3	20	80	
4	10	40	2,5
5	5	20	
6	2,5	10	0,8
7	1,25	6,3	
8	0,63	3,2	0,25
9	0,32	1,6	
10	0,16	0,8	
11	0,08	0,4	
12	0,04	0,2	
13	0,02	0,1	0,08
14	0,01	0,05	

Порядок выполнения работы

1. Получите у преподавателя контролируемую деталь.
2. Проанализируйте требования к точности параметров детали, подлежащих контролю.
3. Выберите схему измерений, количество контролируемых сечений, средства измерения и вспомогательные устройства.
4. Выполните измерения.
5. Оцените погрешности измерений.
6. Выполните анализ результатов измерений. Результаты сравните с допустимыми значениями параметров и дайте заключение о годности детали по контролируемому параметру.
7. Оформите отчет о работе.

Содержание отчета

1. Название темы и цели работы.
2. Ответы на контрольные вопросы.
3. Выполненное задание (разработанный алгоритм выполнения лабораторной работы).
4. Выводы о проделанной работе.

Контрольные вопросы и задания

1. Перечислите основные параметры шероховатости поверхности.
2. Каково назначение образцов шероховатости поверхности?
3. В чем заключается принцип измерения шероховатости портативным измерителем TR-200?
4. Охарактеризуйте основные типы профилографов и профилометров, их назначение.

Список литературы

1. Неразрушающий контроль и диагностика: справочник / под ред. В.В. Клюева. – М.: Машиностроение, 2005. – 656 с.
2. Марков Н.Н., Осипов В.В., Шабалина М.Б. Нормирование точности в машиностроении: учебник для вузов / под ред. Ю.М. Соломенцева. – М.: Высшая школа; Издательский центр «Академия», 2001. – 335 с.
3. Федоренко В.А., Шошин А.И. Справочник по машиностроительному черчению / под ред. Г.Н. Поповой. – М: Машиностроение, 1981. – 416 с.
4. Приборы для измерения шероховатости и волнистости поверхности: уч. пособие / Н.Н. Вакуева, Н.А. Прохорова, Н.А. Табачникова. – М.: Машиностроение, 1983. – 47 с.
5. ГОСТ 25142–82 2002. Шероховатость поверхности. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 21 с.

6. ГОСТ 2789–73. Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 11 с.
7. Хватов Б.Н. Выполнение измерений параметров шероховатости поверхности по ГОСТ 2789–73 при помощи приборов профильного метода. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2006. – 24 с.
8. Романов А.Б. Допуски изделий и средства измерений: справочник для учащихся ПТУ, техникумов и молодых рабочих / А.Б. Романов. – СПб.: Политехника, 2003. – 291 с.
9. ГОСТ 9378–93. Образцы шероховатости поверхности (сравнения). Общие технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1996. – 8 с.
10. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: в 3 т. Т.1 / под ред. И.Н. Жестковой. – М.: Машиностроение, 2006. – 928 с.
11. Ганевский Г.М. Допуски, посадки и технические измерения в машиностроении: учебник для начального профессионального образования. – М.: ПрофОбрИздат: ИРПО, 2001. – 288 с.
12. Васильев А.С. Основы метрологии и технические измерения: уч. пособие. – М.: Машиностроение, 1988. – 240 с.
13. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий: справочник: в 2 кн. Кн. 1 / под ред. В. В. Ключева. – М.: Машиностроение, 1986. – 488 с.
14. Белкин И.М. Допуски и посадки (Основные нормы взаимозаменяемости): уч. пособие. – М.: Машиностроение, 1992. – 528 с.
15. <http://www.remarm.ru/>
16. <http://www.pribor-s.ru/>
17. <http://n-k-o.ru/>
18. РД 03-606-03. Инструкция по визуальному и измерительному контролю / «Российская газета», 21 июня 2003. – № 120/1.
19. ОСТ 95 955–82. Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Метод капиллярный. – М.: Изд-во стандартов, 1983. – 25 с.
20. ГОСТ 21105–87. Контроль неразрушающий. Магнитопорошковый метод. – М.: Изд-во стандартов, 2005. – 20 с.
21. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий: справочник: в 2 кн. Кн. 2 / под ред. В.В. Ключева. – М.: Машиностроение, 1986. – 352 с.
22. ГОСТ 27964–88. Измерение параметров шероховатости. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 12 с.
23. ГОСТ 19300–86. Средства измерения шероховатости поверхности профильным методом. Профилографы-профилометры контактные. Типы и основные параметры. – М.: Изд-во стандартов, 1996. – 7 с.

24. ГОСТ 4.449–86. СПКД. Приборы контрольно-измерительные оптико-механические для контроля шероховатости и качества поверхности. Номенклатура показателей. – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 7 с.
25. ГОСТ 9847–79. Приборы оптические для измерения параметров шероховатости поверхности. Типы и основные параметры. – М.: Изд-во стандартов, 1993. – 8 с.
26. ГОСТ 8.296–78. Государственный специальный эталон и общесоюзная поверочная схема для средств измерений параметров шероховатости R_{\max} и R_z в диапазоне 0,025...1600 мкм. – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 8 с.
27. ГОСТ 2.309–73. ЕСКД. Обозначение шероховатости поверхностей. – М.: Изд-во стандартов, 2001. – 15 с.
28. ГОСТ 7016–82. Изделия из древесины и древесных материалов. Параметры шероховатости поверхности. – М.: Изд-во стандартов, 2002. – 7 с.
29. ГОСТ 15612–85. Изделия из древесины и древесных материалов. Методы определения параметров шероховатости поверхности. – М.: Изд-во стандартов, 2002. – 18 с.

Приложение А

Таблица А. 1

Шероховатость поверхности при механических методах обработки

Обрабатываемые поверхности	Методы обработки		Параметры шероховатости															
			R_z					R_a					R_z					
			4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16			
1	2	3	320	160	80	40	20	2,5	1,25	0,63	0,32	0,160	0,080	0,040	0,100			
Наружные цилиндрические	Обтачивание	Предварительное																
		Чистовое																
		Тонкое																
	Шлифование	Предварительное																
		Чистовое																
		Тонкое																
	Притирка	Грубая																
		Средняя																
		Тонкая																
	Отделка абразивным полотном																	
	Обкатывание роликом																	
	Шлифование Суперфиниширование																	

Продолжение табл. А. 1

Обрабатываемые поверхности	Методы обработки		Параметры шероховатости													
			R_z					R_a					R_z			
			4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
Внутренние цилиндрические	Растачивание	Предварительное	■													
		Чистовое				■		■								
		Тонкое								■	■	■				
	Сверление			■	■	■										
	Зенкерование	Черновое (по корке)			■	■	■									
		Чистовое				■	■	■	■							
	Развертывание	Нормальное								■	■					
		Точное									■	■				
		Тонкое										■	■			
	Протягивание								■	■	■	■				
	Внутреннее шлифование	Предварительное								■	■					
		Чистовое									■	■	■			
	Калибрование шариком											■	■	■		
	Притирка	Грубая										■	■			
		Средняя											■	■		
		Тонкая												■	■	
Шлифование Притирка Хонингование	Нормальное										■	■				
	Зеркальное											■	■	■		

Окончание табл. А. 1

Обрабатываемые поверхности	Методы обработки		Параметры шероховатости													
			R_z					R_a					R_z			
			320	160	80	40	20	2,5	1,25	0,63	0,32	0,160	0,080	0,040	0,100	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
Плоскости	Строгание	Предварительное	■													
		Чистовое			■				■							
		Тонкое								■	■					
	Цилиндрическое фрезерование	Предварительное		■												
		Чистовое							■	■						
		Тонкое							■	■	■					
	Торцовое фрезерование	Предварительное		■												
		Чистовое							■	■						
		Тонкое								■	■					
	Торцовое точение	Предварительное	■	■	■	■										
		Чистовое			■	■	■	■	■	■						
		Тонкое								■	■	■				
	Плоское шлифование	Предварительное							■	■						
		Чистовое									■	■				
	Притирка	Грубая										■	■			
Средняя												■	■			
Тонкая													■	■	■	

Приложение Б

Таблица Б. 1

Поверхности деталей и их параметры шероховатости

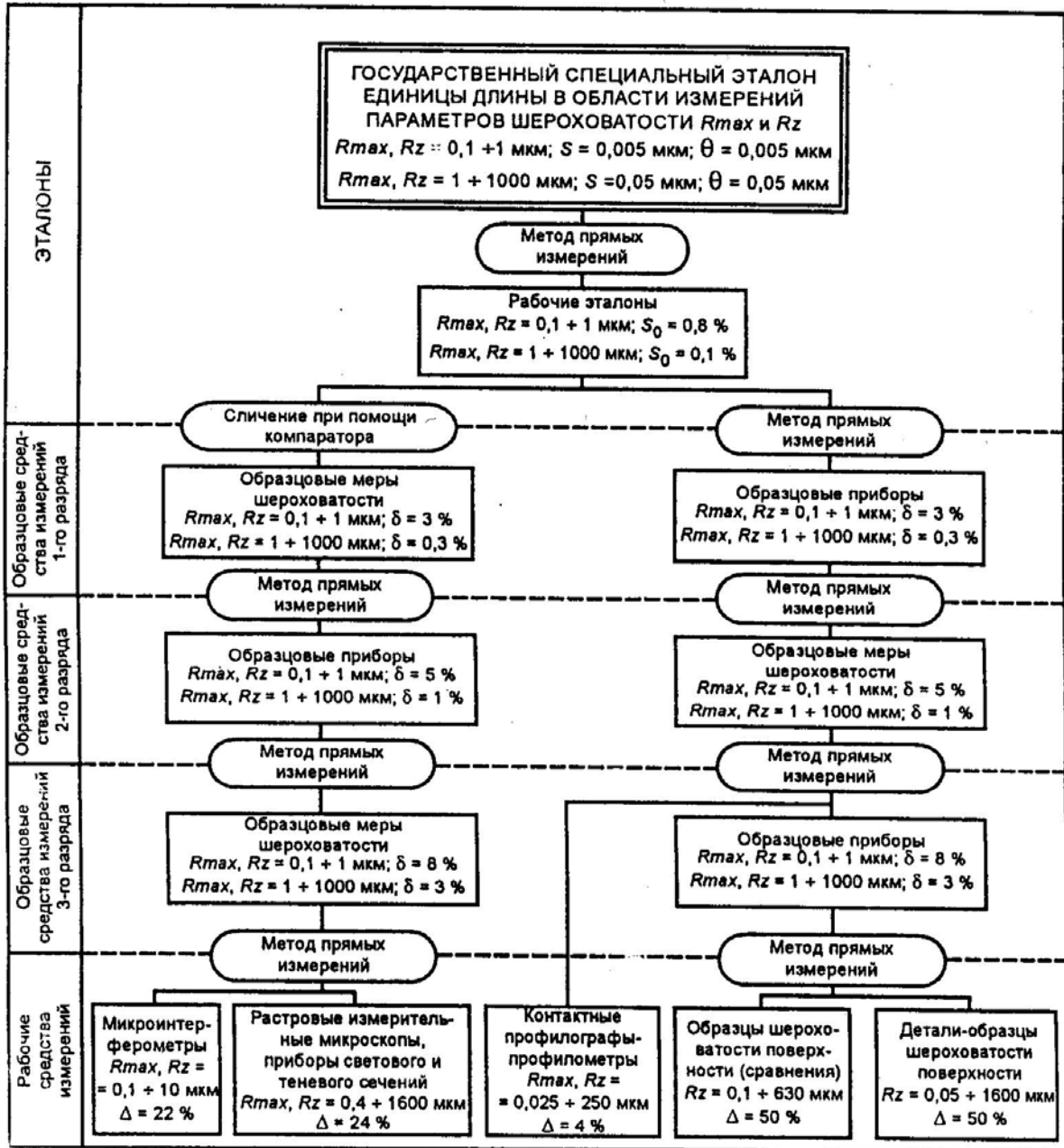
Параметры шероховатости, мкм	Типовые поверхности и детали
R_z 320 и R_z 160	Нерабочие контуры деталей. Поверхности деталей, устанавливаемые на бетонных, кирпичных и деревянных основаниях
R_z 80	Отверстия на проход крепежных деталей. Выточки, проточки. Отверстия масляных каналов на силовых валах. Кромки деталей под сварные швы. Опорные поверхности пружин сжатия. Подошвы станин, корпусов, лап
R_z 40	Внутренний диаметр шлицевых соединений (нешлифованных). Свободные несопрягаемые торцевые поверхности валов, муфт, втулок
R_z 20	Торцовые поверхности под подшипники качения. Поверхности втулок, колец, ступиц, прилегающие к другим поверхностям, но не являющиеся посадочными. Нерабочие торцы валов, втулок, планок. Шейки валов 12-го качества диаметром 80...500 мм. Поверхности отверстий 12-го качества диаметром 18...500 мм и 11-го качества
R_a 2,5	Шаровые поверхности ниппельных соединений. Канавки под уплотнительные резиновые кольца для подвижных и неподвижных торцовых соединений. Радиусы скруглений на силовых валах. Поверхности осей для эксцентриков. Опорные плоскости реек. Поверхности выступающих частей быстровращающихся деталей. Поверхности направляющих типа «ласточкин хвост». Опорные плоскости реек. Шейки валов 9-го качества диаметром 80...500 мм, 11-го качества диаметром 3...30 мм. Поверхности отверстий 7-го качества диаметром 180...500 мм, 9-го качества диаметром 18...360 мм, 11-го качества диаметром 1...10 мм

Параметры шероховатости, мкм	Типовые поверхности и детали
$R_a 1,25$	Наружные диаметры шлицевого соединения. Отверстия пригоняемых и регулируемых соединений (вкладыши подшипников и др.) с допуском зазора-натяга 25...40 мкм. Цилиндры, работающие с резиновыми манжетами. Отверстия подшипников скольжения. Трущиеся поверхности малонагруженных деталей. Посадочные поверхности отверстий и валов под неподвижные посадки. Трущиеся поверхности малонагруженных деталей. Рабочие поверхности дисков трения. Шейки валов 6-го качества диаметром 120...500 мм, 8-го качества диаметром 6...80 мм. Поверхности отверстий 6-го качества диаметром 50...500 мм, 7-го качества диаметром 10...180 мм, 9-го качества – 1...18 мм
$R_a 0,63$	Поверхности зеркала цилиндров, работающих с резиновыми манжетами. Торцовые поверхности поршневых колес при диаметре не менее 240 мм. Валы в пригоняемых и регулируемых соединениях с допуском зазора-натяга 7...25 мкм. Трущиеся поверхности нагруженных деталей. Посадочные поверхности 7-го качества с длительным сохранением заданной посадки: оси эксцентриков, точные червяки, зубчатые колеса. Сопряженные поверхности бронзовых зубчатых колес. Рабочие шейки распределительных валов. Штоки и шейки валов в уплотнениях. Шейки валов 5-го качества диаметром 30...500 мм, 6-го качества диаметром 10...120 мм. Поверхности отверстий 6-го качества диаметром 3...50 мм, 6-го качества диаметром 1...10 мм

Параметры шероховатости, мкм	Типовые поверхности и детали
$R_a 0,32$	Шейки валов 5-го качества диаметром свыше 1 до 30 мм, 6-го качества диаметром свыше 1...10 мм. Валы в пригоняемых и регулируемых соединениях (шейки шпинделей, золотники) с допусками зазора-натяга 16...25 мкм. Отверстия пригоняемых и регулируемых соединений (вкладыши подшипников) с допуском зазора-натяга 4...7 мкм. Трущиеся элементы сильнонагруженных деталей. Цилиндры, работающие с поршневыми кольцами
$R_a 0,160$	Поверхности деталей, работающих на трение, от износа которых зависит точность работы механизма
$R_a 0,080$	Рабочие шейки валов прецизионных быстроходных станков и механизмов. Шейки валов в пригоняемых и регулируемых соединениях с допуском зазора – натяга 2,5...6,5 мкм. Поверхности отверстий пригоняемых и регулируемых соединений с допуском зазора-натяга до 2,5 мкм
$R_a 0,040$	Зеркальные валики координатно-расточных станков и др.

Приложение В

ОБЩЕСОЮЗНАЯ ПОВЕРОЧНАЯ СХЕМА ДЛЯ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ШЕРОХОВАТОСТИ. ПАРАМЕТРЫ ШЕРОХОВАТОСТИ R_{max} и R_z В ДИАПАЗОНЕ 0,025 + 1600 мкм



ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

ИЗМЕРЕНИЕ РАЗМЕРОВ ДЕТАЛИ ШТАНГЕНИНСТРУМЕНТАМИ

Цель работы: ознакомиться с конструкцией и принципом действия штангенинструментов; приобрести навыки работы со штангенинструментами; приобрести навыки работы с нормативными и техническими документами на средства измерений; ознакомиться с методикой определения метрологических характеристик штангенинструментов.

Объект контроля: деталь с отверстием.

Приборы и инструменты: штангенциркуль, штангенрейсмасс, штангенглубиномер; набор плоскопараллельных кольцевых мер длины и принадлежностей к ним; плита поверочная.

3.1. Краткие теоретические сведения

3.1.1. Универсальные средства измерения длин и углов

Плоскопараллельные концевые меры длины из стали длиной до 1000 мм и твердого сплава длиной до 100 мм имеют форму прямоугольного параллелепипеда с двумя плоскими, взаимно параллельными измерительными поверхностями.

Они используются в качестве рабочих мер для регулировки и настройки штангенинструментов и для непосредственного измерения линейных размеров промышленных изделий.

Концевые меры используются также для поверки и градуировки измерительных приборов.

Штангенинструменты применяют для измерения линейных размеров, не требующих высокой точности.

К штангенинструментам общего назначения относятся: штангенциркуль, штангенрейсмасс, штангенглубиномер. Измерение штангенинструментами основано на применении нониуса, который позволяет отсчитывать дробные деления основной шкалы. В настоящее время выпускают штангенинструменты с ценой деления нониуса 0,1; 0,05; 0,02 мм. Пределы измерения выпускаемых штангенинструментов: штангенциркулей – 2000 мм;

штангенглубиномеров – до 500 мм; штангенрейсмассов – 1000 мм. Погрешность измерения штангенинструментов в диапазоне от 1 до 500 мм составляет от 50 до 200 мкм.

3.1.2. Устройство нониуса и отсчет показаний штангенинструментов

Нониус представляет собой линейку со шкалой, по которой отсчитывают дробные деления основной шкалы. Рассчитывают нониус следующим образом: по заданной длине деления основной шкалы « C », цене деления нониуса « i », числу делений основной шкалы, соответствующему одному делению шкалы нониуса (модуль нониуса) « γ », определяют число делений нониуса « n », длину деления шкалы нониуса « B », и общую длину нониуса:

$$n = \frac{C}{i}, \quad (3.1)$$

$$B = \gamma \cdot C - i, \quad (3.2)$$

$$l = n \cdot B = n \cdot (\gamma \cdot C - i). \quad (3.3)$$

Например, при $i = 0,05$ мм, $C = 1$ мм и $\gamma = 2$, $n = 1/0,05 = 20$, $B = 2 \times 1 - 0,05 = 1,95$ мм, $l = 20 \times 1,95 = 39$ мм.

Отсчет измеряемой величины « A » с помощью штангенинструментов складывается из отсчета целых делений « N » по основной шкале и отсчета дробных делений « D » по шкале нониуса:

$$A = N + D. \quad (3.4)$$

При нулевом положении нулевые штрихи основной и нониусной шкал совпадают. При этом последний штрих шкалы нониуса также совпадает со штрихом основной шкалы, определяющим длину шкалы нониуса « l ». При измерении шкала нониуса смещается относительно основной, и по положению нулевого штриха нониуса определяют величину этого смещения, равную измеряемой величине (N). Дробные деления определяют по совпадению какого-либо k -го штриха нониуса с любым штрихом основной шкалы. Тогда дробная часть измеряемой величины будет равна произведению количества штрихов шкалы нониуса от нулевого до k -го на цену деления шкалы нониуса « i », т. е. значение измеряемой величины по шкале штангенинструментов

$$A = N + k \times i. \quad (3.5)$$

3.2. Штангенинструменты

3.2.1. Штангенциркули

Штангенциркули предназначены для измерения наружных и внутренних размеров изделий, выпускаются четырех типов: ШЦ-1; ШЦТ-1; ШЦ-2; ШЦ-3.

Также существует путевой штангенциркуль типа ПШВ, который предназначен для измерения на открытом воздухе элементов верхнего строения пути железнодорожного транспорта с уложенными рельсами типов Р-50, Р-65, Р-75, ОР-50, ОР-65.

Измеряемые параметры:

- вертикальный износ головки рельса;
- боковой износ головки рельса;
- вертикальный износ сердечника;
- вертикальный износ усовика;
- шаг остряка;
- понижение остряка против рамного рельса;
- ширина желоба между рамным рельсом и контррельсом, в том числе высоким контррельсом;
- ширина желоба между усовиком и сердечником;
- зазор в рельсовых стыках, стрелочных переводах;
- глубина отверстий и впадин.

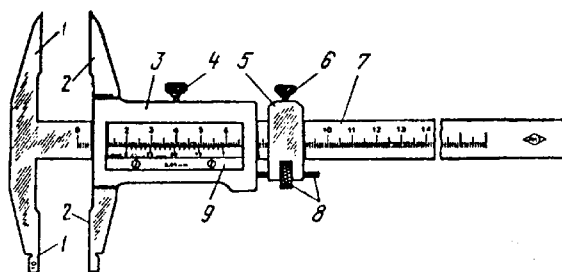


Рис. 3.1. Штангенциркуль: 1 – неподвижные измерительные губки; 2 – подвижные измерительные губки; 3 – рамка; 4 – зажим рамки; 5 – рамка микрометрической подачи; 6 – зажим рамки микрометрической подачи; 7 – штанга; 8 – гайка и винт микрометрической подачи рамки; 9 – нониус

В основу устройства штангенциркуля положены (рис. 3.1): линейка с делениями 1 мм – штанга и вспомогательная шкала – нониус, перемещающаяся по основной линейке. Нониус позволяет отсчитывать доли деления основной шкалы. Нониусное устройство основано на разности интервалов делений основной шкалы и шкалы нониуса. Например, если интервал деления основной шкалы 1 мм, а интервал делений нониуса 0,9 мм, то величина отсчета по нониусу равна: $1,0 - 0,9 = 0,1$ мм.

Если нулевое деление нониуса совместить с нулевым делением основной шкалы, то первое деление сместится от первого деления основной шкалы (штанги) на величину разности шкал, т. е. на 0,1 мм, второе деление – на 0,2 мм и т. д., а десятое деление нониуса, сместившись на 1 мм, совпадет с девятым делением основной шкалы.

Величину отсчета по нониусу можно также получить делением интервала основной шкалы на число делений нониуса. В рассматриваемом примере это будет $1/10 = 0,1$ мм. Отсчет по нониусному устройству при измерении состоит в определении дробных долей миллиметра основной шкалы. Указателем служит нулевой штрих нониуса, а доли деления определяются по совпадению одного из штрихов нониуса со штрихом основной шкалы.

Рассмотрим примеры отсчета по нониусу штангенциркуля с величиной отсчета 0,1 мм. Если нулевой штрих нониуса совпадает с каким-либо штрихом на линейке, то это деление и указывает на размер изделия в целых миллиметрах. Если же нулевой штрих нониуса не совпадает со штрихом на основной линейке, то ближайшее на линейке деление слева показывает целое число миллиметров, а дробные доли миллиметра отсчитываются по нониусу. Какой штрих нониуса (кроме нулевого) совпадает с одним из штрихов на линейке – столько дробных долей миллиметра и прибавляется к целому числу миллиметров.

На основной линейке – штанге штангенциркуля – нанесены миллиметровые деления, а на подвижной рамке находится вспомогательная шкала – нониус. Интервал деления нониуса и число делений зависят от величины отсчета. Если интервал делений основной шкалы равен 1 мм, то при величине отсчета по нониусу 0,1 мм он будет иметь 10 делений, а при отсчете по нониусу 0,05 мм – 20 делений (табл. 3.1). Для точной установки подвижной рамки с губками имеется устройство для микрометрической подачи. При измерении микрометрическую подачу рамки осуществляют плавно, без больших усилий.

Таблица 3.1

Основные параметры штангенциркулей

Параметры, мм	ШЦ-1	ШЦТ-1	ШЦ-2	ШЦ-3
Диапазон измерений	0...125	0...125	0...160	0...400
Значение отсчета по нониусу	0,1	0,1	0,05	0,05

Порядок выполнения работы

1. Ознакомьтесь с описанием конструкции, принципом действия, шкалой штангенциркуля ШЦТ-1.
2. Произведите опробование СИ, т. е. проверьте плавность перемещения составных частей штангенциркуля.
3. Произведите измерение предложенной детали (рис. 3.2) штангенциркулем.
4. По результатам измерений заполните табл. 3.2.

Таблица 3.2

Измерение детали штангенциркулем			
Тип средства измерения	Величина отсчёта по нониусу	Диапазон измерения	Действительный размер
ШЦТ-1	0,05 мм	0...160 мм	А
			Б
			В
			Г

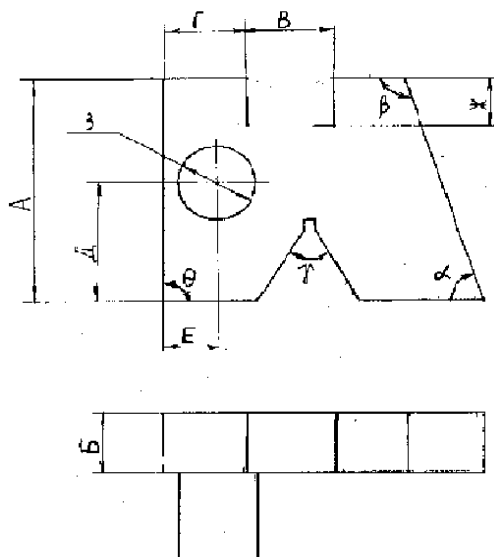


Рис. 3.2. Деталь с отверстием

Содержание отчета

1. Название темы и цели работы.
2. Ответы на контрольные вопросы.
3. Выполненное задание (алгоритм выполнения лабораторной работы, заполненные формы).
4. Выводы о проделанной работе.

Контрольные вопросы и задания

1. Каково назначение штангенциркуля?
2. В чем заключается принцип действия штангенциркуля?
3. Определите основную погрешность средств измерений.
4. Каково назначение и принцип действия нониусного устройства штангенциркуля?

3.2.2. Штангенрейсмасы

Штангенрейсмасы предназначены для измерения и разметки размеров, существуют шести видов: ШР-250; ШР-400; ШР-630; ШР-1000; ШР-1600; ШР-2500 (рис. 3.3).

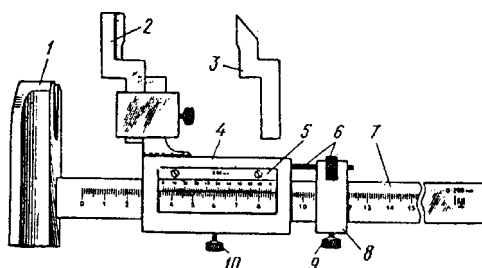


Рис. 3.3. Штангенрейсмас: 1 – основание; 2 – измерительная ножка; 3 – разметочная ножка; 4 – рамка; 5 – нониус; 6 – винт и гайка микрометрической подачи; 7 – штанга; 8 – рамка микрометрической подачи; 9 – зажим рамки микрометрической подачи; 10 – зажим рамки

При измерениях рамка перемещается по штанге инструмента так, чтобы измерительные поверхности плотно, но без перекоса, прилегали к поверхности изделия, которая ограничивает определяемый размер. Перекос рамки не допустим, так как он изменит расстояние и возникнет погрешность измерения. Все измерения проводятся так же, как и штангенциркулем. Основные параметры штангенрейсмасов приведены в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Основные параметры штангенрейсмасов

Параметры, мм	ШР-250	ШР-400	ШР-630	ШР-1000	ШР-1600	ШР-2 500
Диапазон измерений	0...250	40...400	60...630	100...1000	600...1600	1 500...2 500
Значение отсчета по нониусу	0,05	0,05	0,05; 0,1	0,1	0,1	0,1
Вылет ножек	50	80	80	125	125	160

Штангенрейсмасы используются для измерения высоты и разметки изделий, установленных на измерительной или поверочной плите. Штанга установлена в массивном основании, нижняя плоскость которого является началом шкалы. Рамка с нониусом имеет кронштейн, на котором хомутом крепится измерительная или разметочная ножка. При измерениях рамка перемещается по штанге инструмента так, чтобы измерительные поверхности плотно, но без перекоса, прилегали к поверхности изделия, которая ограничивает определенный размер $d_{\text{ВН}}$, d или h изделий. Перекос рамки относительно штанги не допустим. На штанге инструмента нанесена основная шкала с ценой деления $a = 1$ мм, а на рамке установлена или нанесена дополнительно штриховая шкала – нониус. По положению нулевого штриха нониуса на основной шкале определяют целое число миллиметров в размере. Дробные доли миллиметра находят с помощью нониуса. При измерениях верхней стороной губки штангенрейсмассов ширина губок $b_0 = 10$ мм прибавляется к отсчету.

Пределы измерений и отсчёты по нониусам штангенрейсмассов приведены в табл. 3.4.

Таблица 3.4

Тип инструмента	Пределы измерений, мм	Отсчет по нониусу, мм
Штангенрейсмасы ШР	0...250; 40...400; 60...630	0,05
	60...630; 100...1000; 600...1 600; 1 500...2 500	0,1

Основная допускаемая погрешность равна отсчету по нониусу: $\Delta = C$, если измеряемый размер $l \leq 1000$ мм. При измерении больших размеров $\Delta = 0,2$ мм.

Штангенрейсмасы стрелочные

Штангенрейсмасс стрелочный БВ-6226 предназначен для измерения и разметки размеров 0...250 мм. Штангенрейсмасс состоит из основания, в котором закреплена штанга с рейкой, имеющей шкалу, и рамки с отсчетным устройством, перемещающейся по штанге и несущей разметочную или измерительную ножку. Для облегчения установки на требуемый размер, рамка снабжена микрометрической подачей. Стрелку отсчетного устройства устанавливают на нуль поворотом ободка. Перемещению рамки по штанге на 5 мм соответствует один оборот стрелки отсчетного устройства. Основные параметры стрелочных штангенрейсмассов приведены в табл. 3.5.

Таблица 3.5

Основные параметры стрелочных штангенрейсмассов

Диапазон измерений, мм	Цена деления шкалы штанги, мм	Цена деления шкалы отсчетного устройства, мм	Диапазон показаний отсчетного устройства, мм
0...250	5	0,05	0...10

Штангенрейсмассы цифровые

Предназначены для измерения и разметки размеров (табл. 3.6).

Таблица 3.6

Основные параметры цифровых штангенрейсмассов

Принцип действия	Диапазон измерений, мм	Дискретность цифрового отсчетного устройства, мм	Наибольшая допускаемая скорость рабочих перемещений, м/с	Напряжение питания, В	Класс точности
Электронный	0...250	0,01	1,5	1,5 ± 0,15	0; 1

Порядок выполнения работы

1. Ознакомьтесь с конструкцией, принципом действия, шкалой штангенрейсмасса ШР.
2. Ознакомьтесь с техническими требованиями на средство измерений и по результатам работы заполните соответствующую колонку табл. 3.8.
3. Установите собранный штангенрейсмасс ШР на измерительную плиту.
4. Определите метрологические характеристики штангенрейсмасса ШР.
 - 4.1. Произведите опробование, т. е. подвижность и плавность хода всех составных частей.
 - 4.2. Определите плоскостность основания ШР.
 - 4.3. Определите прямолинейность штанги. Для этого к ребру штанги приложите лекальную линейку или поверочный угольник и определите отклонение от прямолинейности на просвет. Допускается голубой просвет.
 - 4.4. Определите основную погрешность. Для этого из набора образцовых концевых мер длины выберите следующие меры: 5; 10; 1,1; 1,5; 20; 40; 60 мм. Составляя блоки концевых мер, определите значение в следующих точках: 6,1; 6,5; 10; 15; 16,5; 30; 35; 40 мм.
5. Проанализируйте полученные результаты измерений и занесите их в табл. 3.7.

Таблица 3.7

Проверяемая точка шкалы	Значение блока концевых мер	Действительное значение блока КМД, Д	Результат измерения, И	Разность Д–И

Наибольшая разность не должна превышать допустимого значения.

6. По результатам работы оформите табл. 3.8 и протокол.

Таблица 3.8

Диапазон измерения	Отсчет по нониусу	Допускаемая основная погрешность	Допускаемое отклонение от плоскостности, мкм	Допускаемое отклонение от прямолинейности, мкм
0...240	0,05	0,03	1,2	0,3
0...260	0,05	0,03	1,8	0,3
0...300	0,05	0,05	2,4	0,3
...

Протокол

1. Наименование средства измерения (тип) _____.
 2. Цена деления _____. Диапазон измерения _____.
 3. Допускаемая основная погрешность _____.
 4. Действительная основная погрешность.
 5. Отклонение основания ШР от плоскостности _____.
 6. Отклонение штанги ШР от прямолинейности _____.
 7. Вывод: допускается (не допускается) к применению.
 8. Подпись поверителя _____.
 9. Дата поверки _____.
7. Алгоритм выполнения лабораторной работы.

Содержание отчета

1. Название темы и цели работы.
2. Ответы на контрольные вопросы.
3. Выполненное задание (алгоритм выполнения лабораторной работы, заполненные формы).
4. Оформленный протокол.
5. Выводы о проделанной работе.

Контрольные вопросы и задания

1. Каково назначение штангенрейсмассов ШР?
2. Определите метрологическую характеристику ШР (принципы нормирования метрологических характеристик СИ).
3. В чем заключается принцип действия ШР?

3.2.3. Штангенглубиномеры

Штангенглубиномеры применяют для измерения глубины отверстий и пазов.

Штангенглубиномер имеет штангу без губок и рамку с основанием и нониусом. Измерительными поверхностями штангенглубиномера являются торцы и основания. В остальном принцип измерения сходен с измерениями штангенциркулем.

Основные типы, параметры и размеры штангенглубиномеров

Штангенглубиномеры изготавливаются следующих типов:

ШГ – с отсчетом по нониусу (рис. 3.4);

ШГК – с отсчетным устройством с круговой шкалой (рис. 3.5);

ШГЦ – с электронным цифровым отсчетным устройством (рис. 3.6).

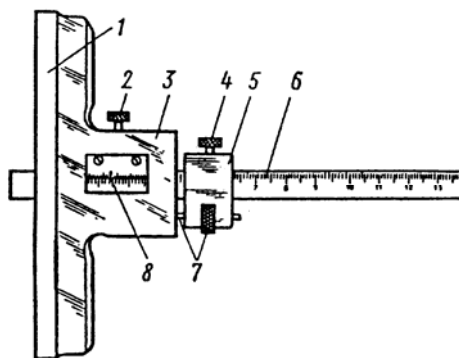


Рис. 3.4. Штангенглубиномер:
1 – основание; 2 – зажим рамки;
3 – рамка; 4 – зажим рамки
микрометрической подачи; 5 – рамка
микрометрической подачи; 6 – штанга;
7 – гайка и винт микрометрической
подачи; 8 – нониус

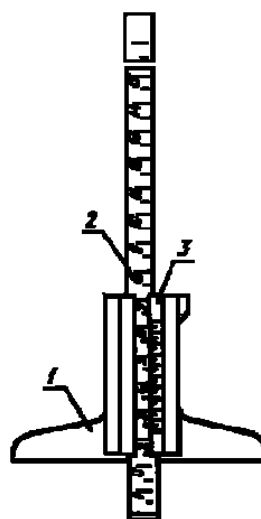


Рис. 3.5. Штангенглубиномер типа
ШГ: 1 – рамка; 2 – штанга; 3 – нониус

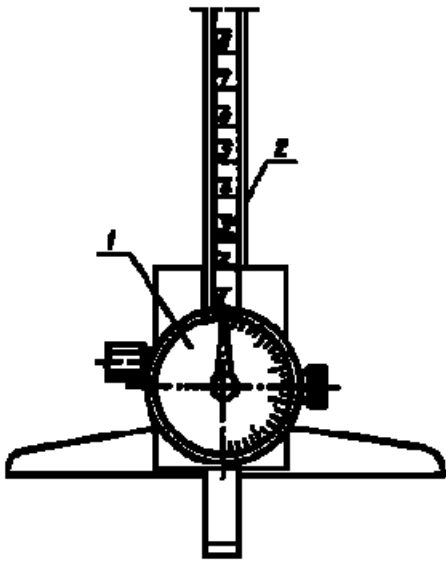


Рис. 3.6. Штангенглубиномер типа ШГК: 1 – круговая шкала отсчетного устройства; 2 – штанга

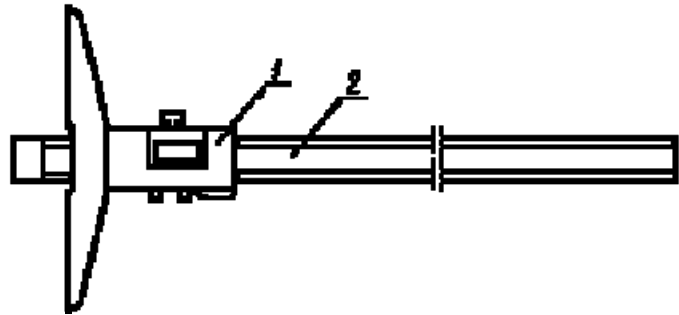


Рис. 3.7. Штангенглубиномер типа ШГЦ: 1 – цифровое отсчетное устройство; 2 – штанга

Штангенглубиномеры типа ШГ существуют пяти видов: ШГ-160; ШГ-200; ШГ-250; ШГ-315; ШГ-400 (рис. 3.4).

Рис. 3.5, 3.6, 3.7 не определяют конструкцию штангенглубиномера. Основные параметры штангенглубиномеров приведены в табл. 3.9.

Таблица 3.9

Основные параметры штангенглубиномеров

Параметры, мм	ШГ-160	ШГ-200	ШГ-250	ШГ-315	ШГ-400
Диапазон измерений	0...160	0...200	0...250	0...315	0...400
Значение отсчета по нониусу	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05

Диапазон измерений, значение отсчета по нониусу, цена деления круговой шкалы, шаг дискретности цифрового отсчетного устройства, длина измерительной поверхности рамки должны соответствовать указанным в табл. 3.10.

Таблица 3.10

Диапазон измерения	Значение отсчета по нониусу	Цена деления круговой шкалы отсчетного устройства	Шаг дискретности цифрового отсчетного устройства	Длина измерительной поверхности рамки, не менее
0...160	–	–	–	–
0...200	–	–	–	–
0...250	0,05	0,02	–	–
0...300	0,10	0,05	0,01	120
0...400	–	–	–	–
0...630	–	–	–	–
0...1000	–	–	–	175

Пример условного обозначения штангенглубиномера типа ШГ с диапазоном измерения от 0 до 630 мм и значением отсчета по нониусу 0,05 мм.

Штангенглубиномер ШГ-630-0,05 (ГОСТ 162)

Штангенглубиномеры следует изготавливать с микрометрической подачей рамки.

Длину нониуса следует выбирать из ряда:

9; 19; 39 мм – при значении отсчета по нониусу 0,1 мм;

19; 39 мм – при значении отсчета по нониусу 0,05 мм.

Длинные штрихи нониуса допускается отмечать целыми числами.

Конструкция штангенглубиномера типа ШГЦ должна обеспечивать правильность показаний при наибольшей допустимой скорости перемещения рамки не менее 0,5 м/с.

Технические требования

Предел допускаемой погрешности штангенглубиномера как при незатянутом, так и при затянутом зажиме рамки при температуре окружающей среды $(20 \pm 10)^\circ\text{C}$, относительной влажности не более 80 % при температуре 25°C должен соответствовать указанному в табл. 3.11.

Допуск плоскостности измерительной поверхности штанги штангенглубиномера – 0,004 мм.

Диск плоскостности измерительной поверхности рамки штангенглубиномеров типа ШГ и ШГК – 0,006 мм, типа ШГЦ – 0,005 мм.

По краям измерительных поверхностей в зоне шириной не более 0,2 мм допускаются завалы.

Мертвый ход микрометрической пары микрометрической подачи рамки не должен превышать 1/3 оборота.

Таблица 3.11

Участки шкалы	Предел допускаемой погрешности штангенглубиномера (\pm)				
	со значением отсчета по нониусу		с ценой деления круговой шкалы отсчетного устройства		с шагом дискретности цифрового отсчетного устройства
	0,05	0,1	0,02	0,05	
До 100			0,03		0,03
Св. 100... 200	0,05	0,05		0,05	
Св. 200...300					
Св. 300...400			0,04		0,04
Св. 400...600	0,10	0,10			
Св. 600...800			–	–	–
Св. 800...1 000	0,15	0,15			

Примечание. Погрешность штангенглубиномера не должна превышать значений, указанных в табл. 3.11, при поверке их по плоско-параллельным концевым мерам длины из стали.

Рамка не должна перемещаться по штанге под действием собственного веса при вертикальном положении штанги. Штангенглубиномер должен иметь устройство для зажима рамки, обеспечивающее ее стопорение в любом положении в пределах диапазона измерения.

Штангенглубиномер должен обеспечивать измерение размеров канавок, проточек и глубины отверстий диаметром не менее 2 мм.

Требования к шкалам штанги и нониуса (тип ШГ)

Расположение плоскости шкалы нониуса относительно плоскости шкалы штанги указано на рис. 3.8.

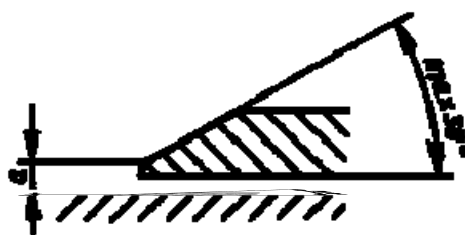


Рис. 3.8. Требования к расположению плоскости шкалы нониуса относительно плоскости шкалы штанги

Расстояние a от верхней кромки края нониуса до поверхности шкалы штанги не должно превышать 0,25 мм для штангенглубиномеров со значением отсчета по нониусу 0,05 мм и 0,30 мм для штангенглубиномеров со значением отсчета 0,1 мм.

Требования к шкалам штанги и нониуса (тип ШГК)

Ширина штрихов шкалы 0,15...0,25 мм. Разность ширины соответствующих штрихов в пределах одной шкалы должна быть не более 0,05 мм.

Ширина стрелки над делениями шкалы должна быть 0,15...0,20 мм. Конец стрелки должен перекрывать короткие штрихи не более чем на 0,8 мм их длины. Расстояние между концом стрелки и циферблатом не должно превышать 0,7 мм.

Отсчетное устройство должно обеспечивать возможность совмещения стрелки с нулевой отметкой круговой шкалы.

Требования к штангенглубиномерам типа ШГЦ

Высота цифр должна быть не менее 4 мм.

Штангенглубиномеры типа ШГЦ дополнительно допускается оснащать интерфейсом для вывода результата измерения на внешнее устройство.

Полный средний срок службы штангенглубиномера – не менее 5 лет.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомьтесь с описанием конструкции и принципом действия штангенглубиномера.
2. Произведите опробование СИ, т. е. проверьте плавность перемещения составных частей штангенинструмента.
3. Определите метрологические характеристики СИ.
4. Определите плоскостность основания и торца штанги с помощью стеклянных плоско-параллельных пластин.
5. Определите прямолинейность рёбер штанги.

Для этого к ребру штанги приложите лекальную линейку или поверочный угольник.

6. Определите основную погрешность штангенглубиномера.

Выберите из двух наборов концевых мер длины несколько пар однозначных мер. Например, 20; 10; 5; 1,6; 2,5; 1,1; 30; 40 мм – по 2 шт.

Соберите по 2 комплекта блоков концевых мер длины в соответствии с табл. 3.12.

Таблица 3.12

Значения блоков КМД, мм		
1,1	15	17,5
1,6	11,6	25
6,1	12,5	21,1
	11,1	21,6
6,6	16,1	22,5
7,5	16,6	30
		40

Затем на поверочной плите установите пары блоков и штангенглубиномер.

Снимите отсчет со шкалы инструмента и занесите в табл. 3.13.

Таблица 3.13

№	Номинальное значение блока КМД, H	Результат измерения, n	Разность $H - И$
	1,1		
	1,6		
	6,1		

Наибольшая разность не должна превышать допустимую.

Технические требования штангенглубиномеров указаны в табл. 3.14.

Таблица 3.14

Тип инструмента	Пределы измерений	Отсчет по нониусу	Основная погрешность	Отклонение от плоскостности	Отклонение от прямолинейности штанги
Штангенглубиномеры	0...160 0...200 0...250 0...315 0...400	0,05	0,05	Допускаются желтые блики	Допускается голубой просвет
	0...400 0...500	0,1	0,1	Допускаются желтые блики	Допускается голубой просвет

Проанализируйте результаты измерений, разработайте алгоритм выполнения лабораторной работы и по результатам оформите протокол.

Протокол

1. Тип инструмента _____.
2. Цена деления _____.
3. Диапазон измерения _____.
4. Отклонение основания от плоскостности _____.
5. Отклонение ребра штанги от прямолинейности _____.
6. Основная погрешность _____.
7. Дата поверки _____.
8. Подпись поверителя _____.

Содержание отчета

1. Название темы и цели работы.
2. Ответы на контрольные вопросы.
3. Выполненное задание с оформленным протоколом, разработанным алгоритмом выполнения лабораторной работы.
4. Выводы о проделанной работе.

Контрольные вопросы и задания

1. В чем заключается принцип действия штангенглубиномера?
2. Каково назначение инструмента?
3. Определите основную погрешность средства измерений.
4. Методика определения плоскостности основания и торца штанги инструмента.
5. Перечислите неисследованные в данной лабораторной работе метрологические характеристики СИ.

Список литературы

1. Шишкин И.Ф. Метрология, стандартизация и управление качеством: учебное пособие для вузов / под ред. Н.С. Соломенко. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 342 с.
2. Артемьев Б.Г., Голубев С.М. Справочное пособие для работников метрологических служб. – М.: Изд-во стандартов, 1986.
3. МИ 2284-94. Рекомендация. Документация поверочных лабораторий.
4. ПР 50.2.014-96. Правила проведения аккредитации метрологических служб юридических лиц на право поверки средств измерений.
5. ПР 50.2.012-94. Порядок аттестации поверителей средств измерений.
6. МИ 2060-90. Рекомендация. Государственные поверочные схемы.
7. Н.Н. Зябрева, М.Я. Шегал. Лабораторные занятия по курсу «Основы взаимозаменяемости и технические измерения». – М: Машиностроение, 1986.
8. ГОСТ 9038–90. Меры длины концевые плоско-параллельные. Технические условия.
9. ГОСТ 10905–86. Плиты поверочные и разметочные. Технические условия.
10. ГОСТ 162–90. Штангенглубиномеры. Технические условия.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

ИЗМЕРЕНИЕ РАЗМЕРОВ ДЕТАЛИ УГЛОМЕРОМ С НОНИУСОМ ТИПА УМ

Цель работы: ознакомиться со средствами и методами измерения углов; приобрести навыки работы со средствами измерений.

Применяемое оборудование: угломер с принадлежностями типа УМ.

Объект контроля: многогранная призма.

Применяемый метод измерений: метод непосредственной оценки.

4.1. Краткие теоретические сведения

4.1.1. Угломеры типа УН

Угломеры УН предназначены для измерения наружных и внутренних углов; состоят из основания с угловой шкалой, имеющей диапазон показаний 90° и цену деления $C = 1^\circ$. На основании закреплена основная линейка и подвижный сектор с нониусом (рис. 4.1).

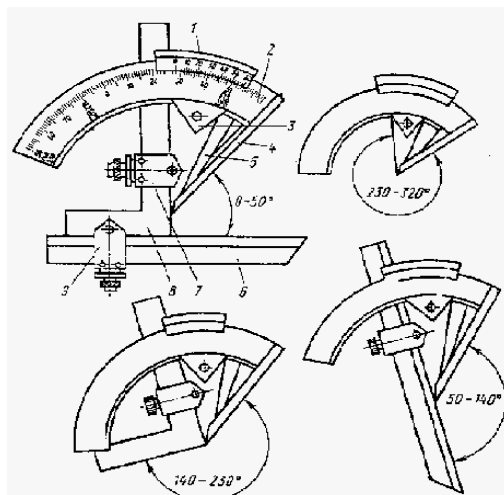


Рис. 4.1. Угломер УН: 1 – нониус; 2 – основание; 3 – стопор; 4 – линейка; 5 – сектор; 6 – съемная линейка; 7 – державка; 8 – Г-образный угольник; 9 – державка

Стопор фиксирует сектор в нужном положении. С помощью державки к сектору можно прикрепить угольник, к которому державкой можно присоединять съемную линейку. Последнюю можно устанавливать на сектор. В полностью собранном виде между плоскостями основной и съемной линейки измеряют углы от 0 до 50°. Если на секторе установлена съемная линейка, то измерения выполняются в пределах от 140 до 200°. Между плоскостями сектора и основной линейки углы измеряются в пределах от 230 до 320°. Цена деления нониуса этого угломера составляет 2'. Предельная погрешность измерения не превышает $\pm 2'$. Пример использования УН показан на рис. 4.2.

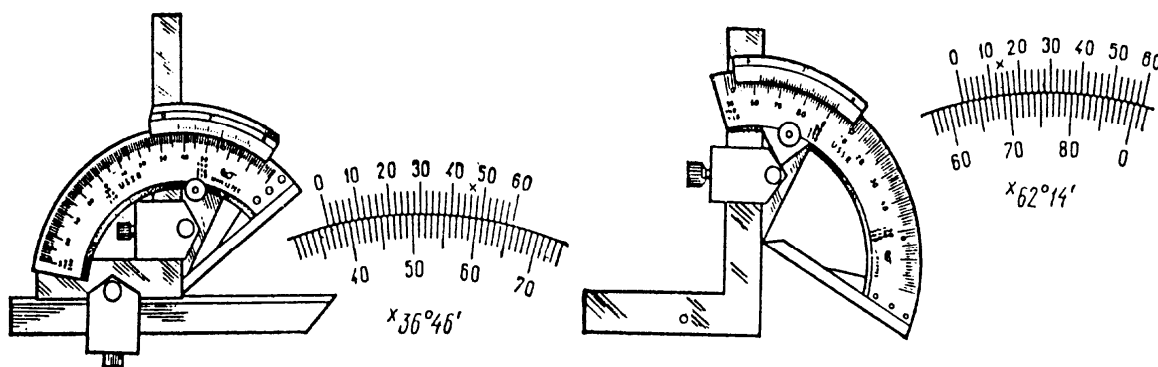


Рис. 4.2. Работа с угломером УН

4.1.2. Угломеры типа УМ

Угломеры типа УМ предназначены для измерения наружных углов; состоят из основания со шкалой и закрепленной на ней линейкой (рис. 4.3). Подвижная линейка вместе с сектором и нониусом может поворачиваться на оси. Стопорение линейки осуществляется винтом. Угломеры снабжены винтом микроподачи. На подвижной линейке с помощью сменной державки может крепиться угольник. Измерения свыше 90° ведутся при снятом угольнике, и в этом случае для получения значения угла к показаниям по шкале прибавляют 90°. Допускаемые погрешности угломеров равны значению отсчета по нониусу.

Собирается угломер с принадлежностями в соответствии с конфигурацией и значением контролируемого угла детали, проверяется установка на нуль. Прикладывая рабочие кромки прибора к сторонам угла детали и контролируя правильность их положения при отсутствии просвета, измеряют угол (углы). По окончании измерений проверяется, сохранилась ли установка на нуль.

Угломеры типа УМ предназначены для измерения наружных углов; состоят из основания со шкалой и закрепленной на ней линейкой. Подвижная линейка вместе с сектором и нониусом может поворачиваться

на оси. Стопорение линейки осуществляется винтом. Угломеры снабжены винтом микроподачи. На подвижной линейке с помощью сменной державки может крепиться угольник. Измерения свыше 90° ведутся при снятом угольнике, и в этом случае для получения значения угла к показаниям по шкале прибавляют 90° (рис. 4.3).

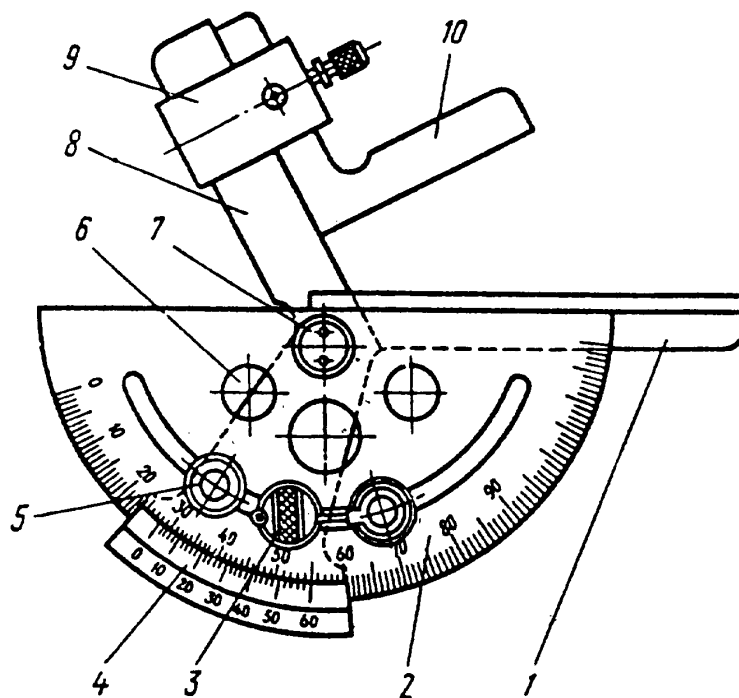


Рис. 4.3. Угломер с нониусом типа УМ: 1 – линейка; 2 – основание; 3 – винт микроподачи; 4 – нониус; 5 – винт; 6 – сектор; 7 – ось; 8 – подвижная линейка; 9 – державка; 10 – угольник

Основные параметры угломеров УМ приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Основные параметры угломеров УМ

Обозначение	2УМ	5УМ	4УМ
Пределы измерения углов	$0 \dots 180^\circ$	$0 \dots 180^\circ$	$0 \dots 180^\circ$
Значение отсчета по нониусу	$2'$	$5'$	$10'$

4.1.3. Угломер маятниковый типа ЗУРИ-М

Угломер маятниковый типа ЗУРИ-М предназначен для измерения углов режущих инструментов различных видов. Работа угломера основана на принципе действия массы маятника, жестко соединенного с показывающей стрелкой и имеющего общую с ней ось поворота. Углы поворота маятника отсчитываются с помощью стрелки по круговой шкале. В процессе измерения контрольная линейка угломера соприкасается с соответствующей поверхностью режущего инструмента. Угломер имеет устройство для фиксации положения стрелки. Основные параметры маятниковых угломеров приведены в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Основные параметры маятниковых угломеров типа ЗУРИ-М

Диапазон измерений	Цена деления шкалы
0...360°	1°

4.1.4. Оптические угломеры

Оптические угломеры предназначены для измерения углов от 0 до 180°; состоят из корпуса, с которым жестко связана сдвоенная линейка. Сменная линейка поворачивается и перемещается в продольном направлении. Съёмная подставка с зажимным винтом используется при измерениях углов цилиндрических или конических поверхностей.

Измерения проводят следующим образом:

- линейку выдвигают на длину, которая обеспечивает полноту охвата поверхности изделия, и стопорят поворотом рычага;
- рабочие грани линейки прижимают к плоскостям изделия, образующим измеряемый угол, и поворотом контактного кольца фиксируют установленное положение;
- отсчет осуществляют с помощью лупы. В лупу видна основная градусная шкала, а также прямая и обратная минутные шкалы с ценой деления 5'. Отсчет выполняют по делению градусной шкалы, находящемуся в пределах минутной шкалы.

Допускаемая погрешность оптического угломера составляет $\pm 2'30''$, а при измерениях с подставкой $\pm 5'$.

Результаты измерений сводятся в таблицу.

4.2. Порядок выполнения работы

1. Проанализируйте требования к точности контролируемых углов детали.
2. Выберите методику измерений в зависимости от номинального значения контролируемого угла, т. е. выберите схему измерений, подберите необходимые принадлежности к угломеру, соберите требуемый комплект.

3. Выполните измерения каждого контролируемого угла детали. Перед началом и после измерений проверьте установку на нуль. Результаты измерений представьте в табличной форме.
4. Оцените погрешность измерений.
5. Выполните анализ результатов измерений. Дайте заключение о годности детали по контролируемым параметрам.
6. Оформите отчет о лабораторной работе.

4.3. Оформление результатов измерений

Номер угла детали	Значение угла по чертежу	Измеренное значение угла	Заключение о годности угла детали
1			
2			
3			
...			

Содержание отчета

1. Название темы и цели работы.
2. Ответы на контрольные вопросы.
3. Выполненное задание с разработанным алгоритмом выполнения лабораторной работы.
4. Выводы о проделанной работе.

Контрольные вопросы и задания

1. Перечислите основные типы угломеров и их параметры.
2. Каково назначение угломера?
3. В чем заключается принцип действия угломера?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

ИЗМЕРЕНИЕ РАЗМЕРОВ ДЕТАЛИ МИКРОМЕТРИЧЕСКИМИ ИНСТРУМЕНТАМИ

Цель работы: ознакомиться с конструкцией и принципом действия микрометров, микрометрических глубиномеров, нутромеров; приобрести навыки работы с микрометрическими инструментами; приобрести навыки работы с нормативными и техническими документами.

Объект контроля: деталь с заданными размерами.

Приборы и инструменты: микрометр, микрометрический глубиномер, микрометрический нутромер; набор плоско-параллельных концевых мер длины и принадлежностей к ним; плита поверочная.

5.1. Краткие теоретические сведения

Микрометрические инструменты являются распространенными средствами измерений наружных и внутренних размеров, глубин пазов и отверстий. Измерения микрометрическими инструментами осуществляют методом непосредственной оценки. Принцип действия этих инструментов основан на применении пары винт – гайка, преобразующей вращательное движение микрометрического винта в поступательное перемещение его пятки. К микрометрическим инструментам относятся: микрометры, микрометрические глубиномеры, микрометрические нутромеры.

5.1.1. Микрометры

В соответствии с ГОСТ 6507 выпускаются следующие типы микрометров: МК; МЛ; МТ; МЗ; МВП; МРИ; МВМ; МТИ; МПИ; МСИ.

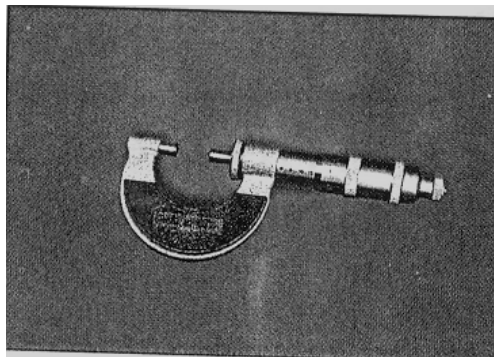
Гладкие микрометры (МК)

Гладкие микрометры предназначены для измерения наружных размеров изделий. К основным деталям и узлам относятся: скоба, пятка, микровинт, стопор, стебель, барабан и трещотка микрометрической головки, преобразующей вращательное движение барабана в поступательное движение микровинта (рис. 5.1). Основные параметры гладких микрометров приведены в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Основные параметры гладких микрометров

Обозначение	Диапазон измерений, мм	Класс точности	Диаметр гладкой части микрометрического винта, мм
МК-25	0...25	1; 2	8h9
МК-50	25...50		
МК-75	50...75		
МК-100	75...100	1; 2	8h9
МК-125	100...125		
МК-150	125...150		
МК-175	150...175		
МК-200	175...200		
МК-225	200...225		
МК-250	225...250		
МК-275	250...275		
МК-300	275...300		
МК-400	300...400		
МК-500	400...500		
МК-600	500...600		

*Рис. 5.1. Микрометр гладкий типа МК***Микрометры листовые (МЛ)**

Микрометры листовые с циферблатом применяют для измерения толщины листов и лент (рис. 5.2). Отличительные особенности: увеличенный вылет скобы, сферическая измерительная поверхность пятки, отсчетное устройство, выполненное в виде неподвижного циферблата и стрелки, вращающейся вместе с барабаном. Основные параметры листовых микрометров приведены в табл. 5.2.

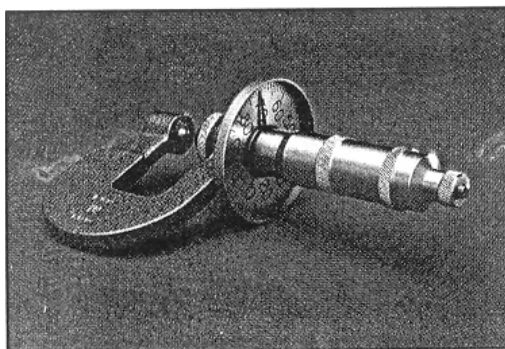


Рис. 5.2. Микрометр листовой типа МЛ

Таблица 5.2

Основные параметры листовых микрометров

Обозначение	Диапазон измерений, мм	Диаметр гладкой части микрометрического винта, мм
МЛ-5	0...5	6h9
МЛ-10	0...10	6h8
МЛ-25	0...25	6h8

Трубные микрометры (МТ)

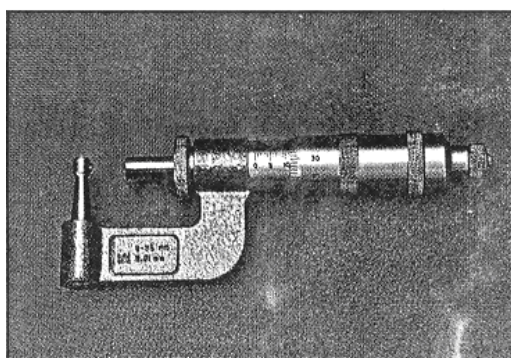


Рис. 5.3. Микрометр трубный типа МТ

Микрометры используют для измерения толщины стенок труб с внутренним диаметром 12 мм и более. Пятка у них имеет сферическую форму, а скоба в месте крепления пятки сделана тонкой для измерения труб небольшого диаметра (рис. 5.3). Основные параметры трубных микрометров приведены в табл. 5.3.

Таблица 5.3

Основные параметры трубных микрометров

Обозначение	Диапазон измерений, мм	Наименьший внутренний диаметр измеряемых труб, мм	Диаметр гладкой части микрометрического винта, мм
МТ	0...25	8 или 12	8h9

Зубомерные микрометры (МЗ)

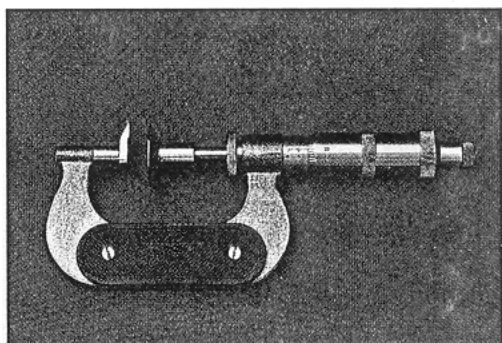


Рис. 5.4. Микрометр зубомерный типа МЗ

Микрометры зубомерные используются для измерения длины общей нормали зубчатых колес с модулем от 1 мм (рис. 5.4). Основные параметры зубомерных микрометров приведены в табл. 5.4.

Таблица 5.4

Основные параметры зубомерных микрометров

Обозначение	Диапазон измерений, мм	Класс точности	Диаметр измерительных поверхностей микрометра, мм
МЗ-25	0...25	1; 2	24
МЗ-50	25...50		
МЗ-75	50...75		
МЗ-100	75...100		

Микрометры МВП со вставками

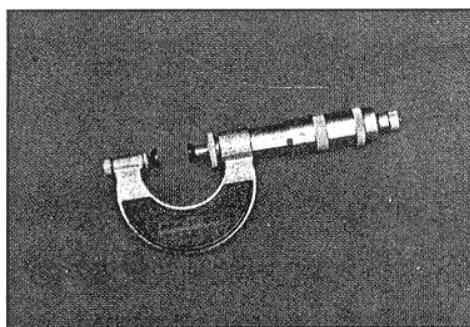


Рис. 5.5. Микрометр типа МВП со вставками

Микрометры типа МВП с плоскими вставками применяются для измерения деталей из мягких материалов (рис. 5.5.). Основные параметры микрометров МВП со вставками приведены в табл. 5.5.

Таблица 5.5

Основные параметры микрометров МВП со вставками

Цена деления, мм	Диапазон измерений, мм	Диаметр измеряемых поверхностей, мм
0,01	0...25	12

Рычажные микрометры типа МРИ

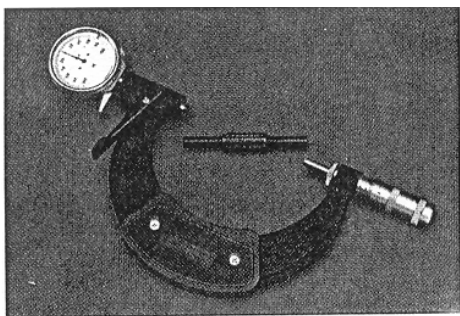


Рис. 5.6. Рычажный микрометр типа МРИ

Микрометры рычажные типа МРИ предназначены для измерения наружных размеров. Измерительные поверхности оснащены твердым сплавом (рис. 5.6). Цена деления барабана микрометра 0,01 мм. Основные параметры рычажных микрометров приведены в табл. 5.6.

Таблица 5.6

Основные параметры рычажных микрометров

Обозначение	Диапазон измерений, мм	Отсчетное устройство	
		Цена деления, мм	Диапазон показаний, мм
МРИ-125	100...125	0,02	0,1
МРИ-150	125...150		
МРИ-200	150...200		
МРИ-250	200...250		
МРИ-300	250...300		
МРИ-400	300...400	0,01	2
МРИ-500	400...500		
МРИ-400	300...400		
МРИ-500	400...500		
МРИ-600	500...600		5
МРИ-700	600...700		
МРИ-800	700...800		
МРИ-900	800...900		
МРИ-1000	900...1000		

Микрометры МВМ со вставками

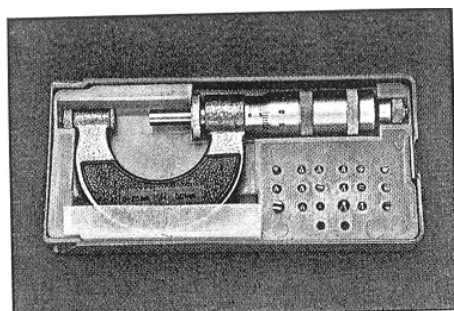


Рис. 5.7. Микрометр МВМ со вставками

Микрометры МВМ предназначены для измерения среднего диаметра микрометрических дюймовых и трубных резьб (рис. 5.7.). Основные параметры микрометров МВМ со вставками приведены в табл. 5.7, 5.8.

Микрометры призматические

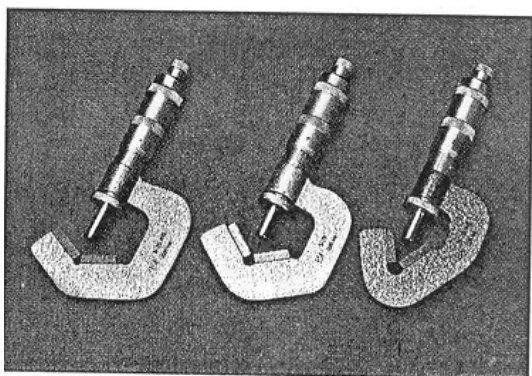


Рис. 5.8. Микрометр призматический

Призматические микрометры типа МТИ, МПИ, МСИ предназначены для измерения наружного диаметра многолезвийного инструмента (рис. 5.8):

МТИ – для трехлезвийного инструмента;

МПИ – для пятилезвийного инструмента;

МСИ – для семилезвийного инструмента.

Таблица 5.7

Основные параметры микрометров МВМ со вставками

Обозначение	Диапазон измерений, мм	Вставки для метрической резьбы с шагом, мм	Число пар вставок
МВМ-25	0...25	0,4–0,45; 0,5–0,6; 0,7–0,8; 1; 1,25; 1,5; 1,75; 2; 2,5; 3	10
МВМ-50	25...50	0,7–0,8; 1; 1,5; 2; 3; 3,5; 4; 4,5; 5	9
МВМ-75	50...75	1; 1,5; 2; 3; 4; 5; 5,5; 6	8
МВМ-100	75...100	1; 1,5; 2; 3; 4; 6	6
МВМ-125	100...125	1,5; 2; 3; 4; 6	5
МВМ-150	125...150		
МВМ-175	150...175		
МВМ-200	175...200	2; 3; 4; 6	4
МВМ-225	200...225	3; 4; 6	3
МВМ-250	225...250		
МВМ-275	250...275		
МВМ-300	275...300		
МВМ-325	300...325		
МВМ-350	325...350		

Таблица 5.8

Шаг метрической резьбы	0,4–0,45 0,5–0,6 0,7–0,8	1; 1,25; 1,5; 1,75	2; 2,5	3; 3,5; 4; 4,5; 5; 5,5; 6
Шаг трубной резьбы, мм	0,907(28–24)	1,337(20–16) 1,814(14–11)	2,309 –(10–8)	–(7–5) –(4,5–3)
Цена деления, мм	0,01			

В комплект микрометра входит установочная мера. Измерительные поверхности оснащены твердым сплавом. Основные параметры призматических микрометров приведены в табл. 5.9.

Таблица 5.9

Основные параметры призматических микрометров

Типы	Диапазон измерений, мм	Диаметр гладкой части микрометрического винта, мм
МТИ-20	5...20	8h9
МТИ-35	20...35	
МТИ-50	35...50	
МТИ-65	50...65	
МТИ-80	65...80	
МПИ-25	5...25	
МПИ-45	25...45	
МПИ-65	45...65	
МПИ-85	65...85	
МПИ-105	85...105	
МСИ-25	5...25	
МСИ-45	25...45	
МСИ-65	45...65	
МСИ-85	65...85	
МСИ-105	85...105	

Рассмотрим конструкцию и принцип использования гладкого микрометра (МК) (рис. 5.9).

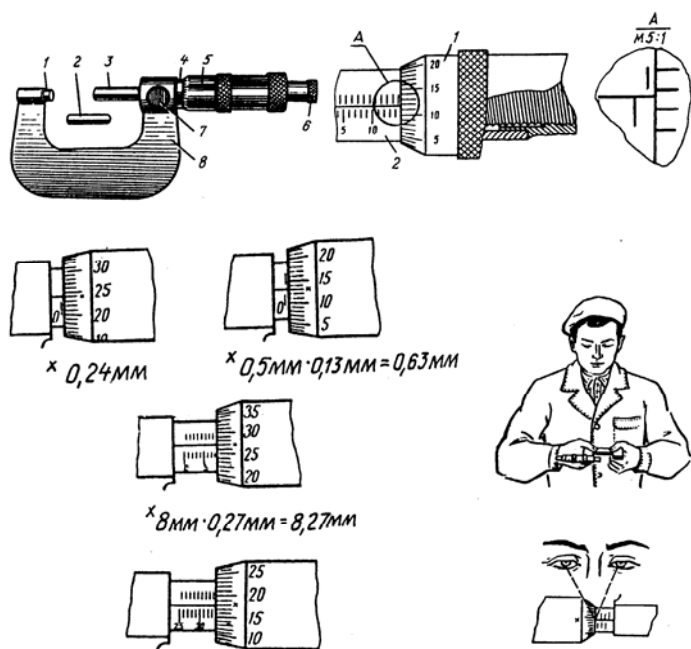


Рис. 5.9. Микрометр.
Работа с микрометром:
1 – пятка; 2 – установочная мера; 3 – микрометрический винт; 4 – стемпель; 5 – барабан; 6 – трещотка; 7 – стопорный винт; 8 – скоба

В отверстиях скобы запрессована с одной стороны пятка, а с другой – стебель с отверстием, которое является направляющей микрометрического винта. Микрометрический винт ввинчивается в микрогайку, имеющую разрез и наружную резьбу. Это устройство обеспечивает точное осевое перемещение винта относительно микрогайки в зависимости от угла его поворота. За один оборот торец винта перемещается в осевом направлении на расстояние, равное шагу резьбы, т. е. на 0,5 мм. На микрометрический винт надевается барабан. Предохранительный механизм – трещотка, состоящая из храпового колеса, зуба и пружины, в случае превышения между губками $0,7 \pm 0,2\text{Н}$ отсоединяет трещотку от барабана, и они начинают поворачиваться с характерным прощелкиванием. При этом микрометрический винт не вращается. Для закрепления винта в требуемом положении микрометр снабжен стопорным винтом. Измерительные поверхности (губки) пятки и микрометрического винта изготавливают из твердого сплава. Для настройки микрометра используется установочная мера.

На стебле 2 нанесена шкала с делениями через 0,5 мм. Для удобства отсчета четные штрихи нанесены выше, а нечетные – ниже сплошной продольной линии, которая используется для отсчета углов поворота барабана 1. На коническом конце барабана нанесена круговая шкала, имеющая 50 делений. Если учесть, что за один оборот барабана с 50 делениями торец винта и срез барабана перемещаются на 0,5 мм, то поворот барабана на одно деление вызовет перемещение, равное 0,01 мм, т. е. цена деления на барабане 0,01 мм.

При снятии отсчета пользуются шкалами на стебле 2 и барабане. Срез барабана является указателем продольной шкалы и регистрирует показания с точностью 0,5 мм. К этим показаниям прибавляют отсчет по шкале барабана.

При чтении микрометр следует держать прямо перед глазами во избежание искажения результатов измерений. Сначала отсчитывается целое число миллиметров и половина миллиметра (если это имеет место) по шкале стебля кромкой барабана, после чего определяются сотые доли миллиметра порядковым номером штриха барабана, совпадающего с продольным штрихом стебля, затем суммируются полученные показания.

Практика измерений показывает, что чаще всего горизонтальная линия стебля попадает между штрихами барабана. В этом случае чтение показания производится приблизительно, для этого цена деления шкалы на барабане $0,01\text{ мм} = 10\text{ мкм}$ мысленно делится на части.

Перед измерением следует проверить правильность установки на нуль. Для этого необходимо с помощью трещотки вращать микровинт

до соприкосновения этих поверхностей с установочной мерой. Вращение продолжают до проворачивания трещотки. Правильной считается установка, при которой торец барабана совпадает с нулевым штрихом шкалы на стебле и нулевой штрих круговой шкалы барабана совпадает с продольной линией на стебле. В случае их несовпадения необходимо закрепить микровинт стопором, отвернуть на пол-оборота установочный колпачок-гайку, повернуть барабан в положение, соответствующее нулевому, закрепить его колпачком-гайкой и освободить микровинт. После этого следует еще раз проверить правильность установки на нуль.

5.1.2. Микрометрические нутромеры

Микрометрические нутромеры предназначены для измерения внутренних размеров изделий в диапазоне 50...6 000 мм; существуют следующих видов: НМ-75; НМ-150; НМ-600; НМ-1250; НМ-2500; НМ-4000; НМ-6000. Основные параметры микрометрических нутромеров приведены в табл. 5.10.

Таблица 5.10

Основные параметры микрометрических нутромеров

Обозначение	Пределы измерений, мм
НМ-75	50...75
НМ-150	75...150
НМ-600	75...600
НМ-1250	150...1 250
НМ-2500	600...2 500
НМ-4000	1 250...4 000
НМ-6000	2 500...6 000

Нутромеры с верхним пределом измерения до 2 500 мм должны изготавливаться с микрометрической головкой (рис. 5.10), а свыше 2 500 мм – с микрометрической головкой, оснащённой индикатором часового типа класса точности 0, по ГОСТ 577 (рис. 5.11).

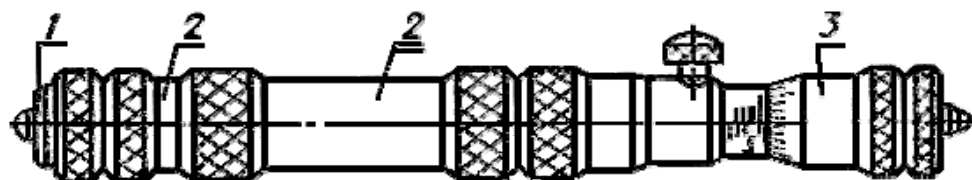


Рис. 5.10. Нутромер с микрометрической головкой: 1 – измерительный наконечник; 2 – удлинитель; 3 – микрометрическая головка

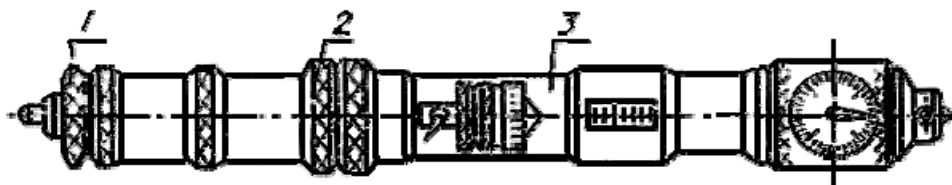


Рис. 5.11. Нутромер с микрометрической головкой, оснащенной индикатором часового типа: 1 – измерительный наконечник; 2 – удлинитель; 3 – микрометрическая головка с индикатором

Нутромеры состоят из микрометрической головки 2, сменных удлинителей 3, наконечника 1. Микрометрическая головка нутромера несколько отличается от головки микрометра и глубиномера и не имеет трещотки (рис. 5.12).

Для расширения пределов измерения ввинчиваются удлинители и наконечник, оснащённый вставкой из твердого сплава. Удлинитель представляет собой стержень со сферическими измерительными поверхностями, имеющий точный размер в осевом направлении. Стержень не выступает за пределы корпуса, на обоих концах которого нарезана резьба.

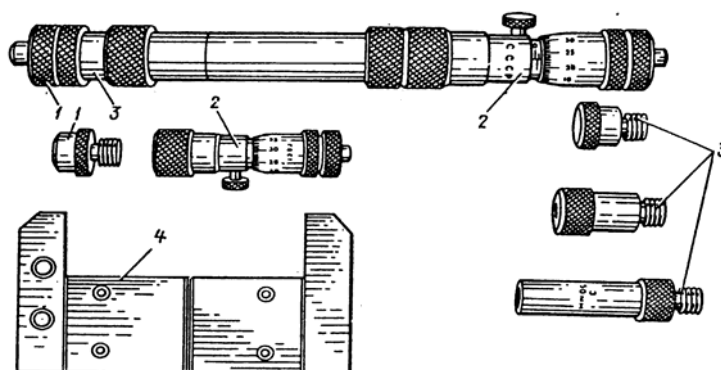


Рис. 5.12. Микрометрический нутромер

Пружина, расположенная внутри корпуса, создает замыкание стержней между собой при свинчивании удлинителя с микрометрической головкой. На свободный конец удлинителя может быть навинчен другой удлинитель, и так далее – до получения нутромера с требуемым пределом измерения. В последний удлинитель ввинчивается наконечник.

Измерения внутренних размеров нутромером осуществляют следующим образом (рис. 5.13). Вводят инструмент в пространство между измерительными поверхностями (например, в отверстие). Устанавливают один измерительный наконечник нутромера на поверхность и вращают барабан головки до касания второго измерительного наконечника

противоположной поверхности. В процессе измерения необходимо не только вращать барабан, но еще покачивать собранный нутромер в вертикальной и горизонтальной плоскостях для определения минимального расстояния между поверхностями.

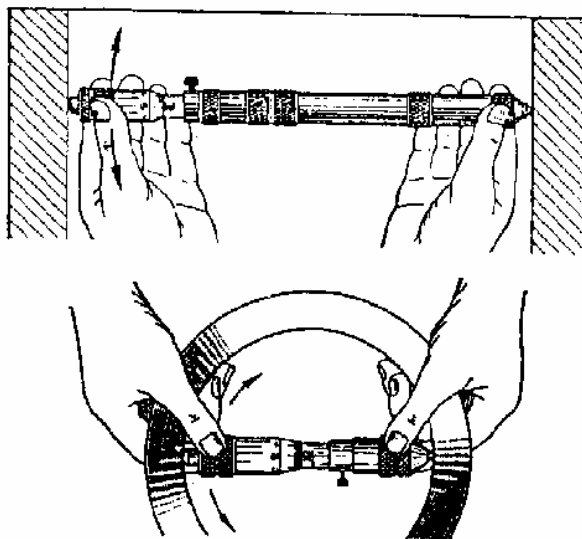


Рис. 5.13. Работа с микрометрическим нутромером

5.1.3. Микрометрические глубиномеры

Микрометрические глубиномеры предназначены для измерения глубины пазов и высоты уступов. Диапазон измерений обеспечивается набором сменных стержней, оснащённых твердым сплавом: ГМ-25; ГМ-50; ГМ-75; ГМ-100; ГМ-125; ГМ-150 (рис. 5.14).

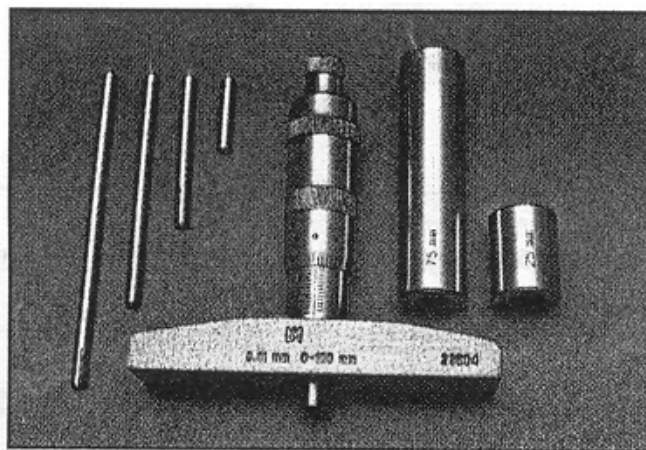


Рис. 5.14. Микрометрический глубиномер

Основные параметры микрометрических глубиномеров приведены в табл. 5.11.

Таблица 5.11

Основные параметры микрометрических глубиномеров

Обозначение	Диапазон измерений, мм	Цена деления, мм
ГМ-25	0...25	0,01
ГМ-50	0...50	
ГМ-75	0...75	
ГМ-100	0...100	0,01
ГМ-125	0...125	0,01
ГМ-150	0...150	

Микрометрические глубиномеры состоят из микрометрической головки, запрессованной в отверстие основания. Торец микровинта этой головки имеет отверстие, куда вставляют разрезными пружинящими концами сменные стержни со сферической измерительной поверхностью. Размеры между торцами стержней выдержаны очень точно. Измерительными поверхностями в этих приборах являются наружный конец сменного стержня и нижняя опорная поверхность основания. При снятии отсчета необходимо помнить, что в некоторых конструкциях основная шкала, расположенная на стебле, имеет обратный отсчет.

Для настройки глубиномера на нуль опорную поверхность основания прижимают к торцу специальной установочной мерой, которую ставят на поверочную плиту. Микровинт со вставкой с помощью трещотки доводят до контакта с плитой, фиксируют его стопором и далее проделывают те же операции, что и при настройке микрометра.

Измерение глубины отверстий, заступов, выточек выполняют следующим образом. Опорную поверхность основания глубиномера устанавливают на базовую поверхность детали, относительно которой измеряется размер. Одной рукой прижимают основание к детали, а другой вращают с помощью трещотки барабан микрометрической головки до касания стержня с измеряемой поверхностью и прощелкивания трещотки. Затем фиксируют стопором микровинт и снимают отсчет со шкал головки.

5.2. Работа с микрометрическими инструментами

Микрометрические инструменты предназначены для абсолютного контактного метода измерения. Цена деления прибора 0,01 мм. Погрешность измерения зависит от пределов измерения микрометра и составляет: от 3 мкм для микрометров от 0 до 25 мм; от 50 мкм для микрометров с пределами измерения от 400 до 500 мм. Принцип микрометрической пары используется в конструкциях многих измерительных приборов.

5.2.1. Устройство микрометра

Общий вид микрометра показан на рис. 5.15.

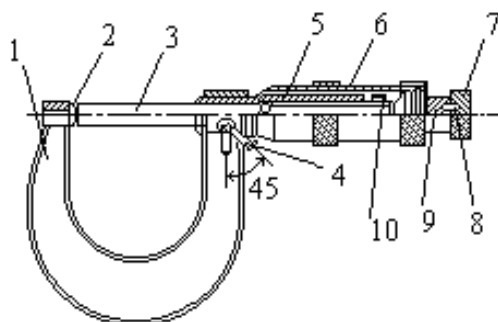


Рис. 5.15. Микрометр

Корпусом инструмента служит скоба 1, в которую запрессованы с одной стороны пятка 2, с другой – стебель 5, на котором закреплена микрогайка и нанесена продольная шкала. Одной измерительной поверхностью является торец микрометрического винта 3, выдвигающегося из стебля, второй – торец пятки 2. Микровинт связан с корпусом барабана 6, имеющим на конусном конце круговую шкалу. Заканчивается барабан резьбой, на которую навинчивается гайка 9, являющаяся корпусом механизма трещотки. Основное назначение трещотки – обеспечивать постоянство измерительного усилия за счет храповика 7 и подпружиненного стержня 8. Микрометр снабжен устройством 4, позволяющим стопорить микровинт, и гайкой 10 – для регулировки зазора в паре микровинт–микрогайка.

5.2.2. Отсчет показаний микрометрических инструментов

Отсчетное устройство микрометрических инструментов состоит из двух шкал (рис. 5.15). Продольная шкала имеет два ряда штрихов с интервалом 1 мм, расположенных по обе стороны горизонтальной линии и смещенных относительно друг друга на 0,5 мм. Таким образом, оба ряда штрихов образуют одну продольную шкалу с ценой деления 0,5 мм.

Микровинт связан с барабаном 6, который на конусном конце имеет круговую шкалу с числом делений $n = 50$. Учитывая, что шаг резьбы винтовой пары $S = 0,5$ мм, цена деления круговой шкалы (нониуса) микрометра «С» равна:

$$C = S / n = 0,5 / 50 = 0,01 \text{ мм.}$$

Размер измеряемой детали с точностью до 0,5 мм отсчитывают по шкале стебля указателем, которым является скошенный край барабана. Сотые доли миллиметра отсчитывают по круговой шкале барабана, указателем которой является продольный штрих на стебле микрометра.

5.2.3. Установка микрометра на нуль

Перед началом измерений микрометрическими инструментами производят их проверку и установку на нуль. Установка микрометров на нуль производят на начальном делении шкалы. Для микрометров с пределом измерений 0...25 мм – на нулевом делении шкалы, для микрометров с пределами измерений 25...50 мм – на делении 25 и т. д. Осторожно вращая микровинт за трещотку, приводят в соприкосновение измерительные поверхности микровинта и пятки. У микровинтов с пределом измерения 25...50, 50...75 и т. д. микровинт и пятка соединяются между собой через блок концевых мер длины размером 25, 50 мм и т. д. или через специально установочные цилиндрические меры, прилагаемые в комплект к микрометрам.

При указанном соприкосновении скошенный край барабана микрометра должен установиться так, чтобы штрих начального деления основной шкалы 0, 25, 50 мм и т. д.) был полностью виден, а нулевое деление круговой шкалы барабана совпадало с продольной горизонтальной линией на стебле 5 (рис. 5.15). Если такого совпадения нет, то стопором 4 необходимо зафиксировать микровинт 3 и, придерживая барабан 6 за накатанный выступ, ослабить накидную гайку 9. Затем, поворачивая освобожденный корпус барабана, совмещают нулевое деление на барабане с горизонтальной линией на стебле 5 микрометра, и, придерживая корпус барабана за накатанный выступ, снова закрепляют барабан гайкой 9.

Следует иметь в виду, что при затягивании гайки 9 нулевая установка может снова нарушиться, поэтому нужно снова проверить ее и при необходимости исправить.

Установка микрометрического нутромера на нуль производится по специальной установочной скобе, которая входит в комплект прибора. Возможна установка и с помощью концевых мер длины.

Придерживая нутромер за гильзу и вращая барабан за накатное кольцо, выворачивают микрометрический винт до соприкосновения измерительных наконечников с поверхностями установочной скобы. Затем стопорят микровинт. Нулевой штрих горизонтальной линии основной шкалы должен быть виден полностью, скошенный край барабана должен касаться данного штриха, а нулевое деление барабана – совпадать с горизонтальной линией основной шкалы. Наибольшими покачиваниями определяют, соответствует ли размер нутромера наименьшему расстоянию между поверхностями установочной скобы или концевых мер длины. Если нутромер между поверхностями скобы проходит туго, то микровинт отстопоривают и настройку повторяют. Настройку повторяют несколько раз для отыскания наименьшего расстояния между поверхно-

стями установочной скобы (находят наименьшее показание нутромера). Если нутромер не установлен на нуль, то при застопоренном микровинте необходимо ослабить контргайку и отрегулировать установку барабана на нуль. После окончательной установки на нуль можно присоединить удлинительные трубки, при этом нулевая установка не нарушается.

5.2.4. Измерение микрометром и микрометрическим нутромером

При измерении микрометром (рис. 5.15) отводят измерительную поверхность микровинта 3, вращая барабан 6, на необходимое расстояние. Между микровинтом 3 и пяткой 2 помещают измеряемую деталь и при помощи барабана 6 сокращают зазор между измеряемой деталью и измерительными поверхностями до 1...2 мм. Окончательное соприкосновение измерительных поверхностей с деталью производят вращением трещотки 7 и снимают показания прибора.

При измерении микрометрическим нутромером его вводят в измеряемое отверстие и, отстопорив микровинт, вращением накатного кольца приводят измерительные наконечники прибора в соприкосновение со стенками отверстия и затем снова стопорят микровинт.

Измерение размера производят несколько раз, слегка покачивая нутромер в плоскости, проходящей через ось отверстия, отыскивая; соответственно, наибольший и наименьший размер. После окончательной установки нутромера на размер, стопорят микровинт и снимают показания.

Определение размеров детали должно проводиться измерительным инструментом, имеющимся в распоряжении студента и обеспечивающим наименьшее значение погрешности для каждого параметра.

5.3. Порядок выполнения работы

1. Получите у преподавателя задание, в котором определены объект измерения и порядок назначения допусков на размеры. Выполните эскиз детали в соответствии с требованиями ЕСКД, используя для определения номинальных значений размерных параметров микрометрические инструменты, и согласуйте с преподавателем перечень размеров, определяемых с минимальной погрешностью.
2. Ознакомьтесь с измерительным инструментом для использования в эксперименте. Особое внимание должно быть обращено на раздел, содержащий сведения о параметрах каждого измерительного прибора, структуре и принципе действия, порядке подготовки прибора к работе и выполнения работы с ним.
3. После получения допуска к работе, используя набор концевых мер длины, микрометрический, рычажный и другой измеритель-

ный инструмент и приборы, выполните повторные измерения установленных ранее размеров.

4. Занесите в протокол предусмотренное заданием количество наблюдений и представьте результаты эксперимента преподавателю на утверждение.
5. Подготовьте отчет по лабораторной работе.

Содержание отчета

1. Задание.
2. Эскиз детали с экспериментально определенными номинальными размерами и допусками.
3. Протокол непосредственных наблюдений и результаты расчетов погрешностей при определении размеров детали.
4. Обоснование выбора образцового измерительного инструмента для уточнения результатов предварительных измерений.
5. Заключение о годности по каждому размерному параметру и альтернативные допуски на размеры.
6. Ответы на контрольные вопросы.
7. Выводы о проделанной работе.

Контрольные вопросы и задания

1. Укажите предусмотренные стандартом показатели точности измерений.
2. Как должны записываться результаты измерений?
3. Для какого метода измерения предназначены микрометрические инструменты?
4. Опишите устройство нониуса микрометра.
5. Как установить микрометр на нуль? Зачем производят установку микрометра на нуль?
6. На каком принципе основано устройство микрометрических инструментов?
7. Назначение плоско-параллельных концевых мер длины.

Список использованной литературы

1. ГОСТ 10–88. Нутромеры микрометрические.
2. ГОСТ 7470–92. Глубиномеры микрометрические.
3. ГОСТ 4381–87. Микрометры рычажные.
4. ГОСТ 6507–90. Микрометры типа МЛ, МТ, МЗ с ценой деления 0,01 мм.
5. ГОСТ 50190–92. Микрометры типа МВП, МВМ со вставками.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

ИЗМЕРЕНИЕ ДИАМЕТРА ОТВЕРСТИЯ И ОТКЛОНЕНИЯ ЕГО ФОРМЫ ИНДИКАТОРНЫМ НУТРОМЕРОМ

Цель работы: измерить размеры гладких внутренних цилиндрических поверхностей; приобрести навыки работы со средствами измерений.

Объект контроля: цилиндрическая деталь (труба) с гладким отверстием.

Приборы и инструменты: нутромер индикаторный, штангенциркуль; набор плоско-параллельных кольцевых мер длины и принадлежностей к ним, рычаг измерительный к индикатору, плита поверочная.

6.1. Краткие теоретические сведения

6.1.1. Нутромеры индикаторные

Индикаторные нутромеры предназначены для измерения внутренних размеров диаметров отверстий. В нутромерах моделей НИ-10 и НИ-18 величина перемещения подвижного измерительного стержня передается на отсчетное устройство при помощи клиновой передачи, а в нутромерах НИ-50М, НИ-450 М – посредством рычажной передачи. В моделях НИ-700 и НИ-1000 подвижный измерительный стержень контактирует непосредственно с отсчетным устройством. Основные параметры индикаторных нутромеров приведены в табл. 6.1.

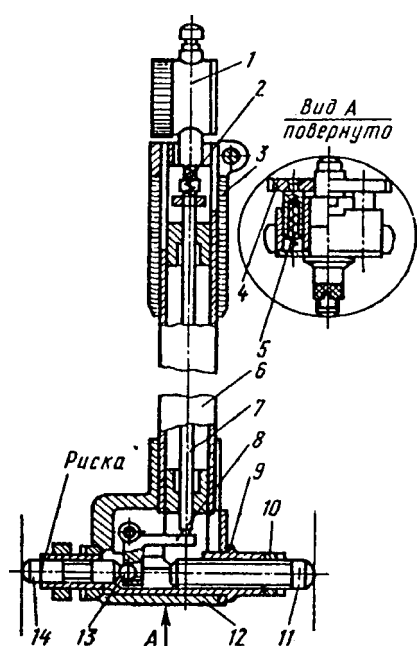
Измерения этими приборами осуществляются методом сравнения с мерой. Регулируемый (неподвижный при измерении) наконечник ввертывают во втулку и контят после настройки на размер гайкой. С другого конца втулки помещен измерительный стержень, перемещение которого через угловой рычаг с запрессованными шариками и стержень передается на индикатор. Измерительное усилие, обеспечивающее надежный контакт пяток наконечника и стержня с поверхностью измеряемого отверстия, создается пружиной и индикатором. Стержень находится внутри трубки, имеющей накладку. В корпусе нутромера имеются отверстия, куда входят направляющие стержни центрирующего мостика. Под действием пружин центрирующий мостик находится в крайнем выдвинутом состоянии. После введения нутромера в измеряемое отверстие центри-

рующийся мостик под действием этих пружин поднимается к поверхности, обеспечивая размещение пяток по линии диаметра отверстия (рис. 6.1).

Таблица 6.1

Основные параметры индикаторных нутромеров

Параметры, мм	Диапазон измерений, мм	Наибольшая глубина измерения, мм	Наименьшее перемещение измерительного стержня
НИ-10	6...10	60, 100	0,6
НИ-18	10...18	130	0,8
НИ-50М	18...50	150	1,5
НИ-100М	50...100	200	4
НИ-160М	100...160	300	
НИ-250М	160...250	400	
НИ-450М	250...450	500	6
НИ-700	450...700	—	8
НИ-1000	700...1 000	—	



*Рис. 6.1. Конструкция нутромера:
 1 – индикатор; 2 – пружина; 3 – накладка;
 4 – центрирующий мостик; 5 – пружины;
 6 – трубка; 7 – стержень;
 8 – угловой рычаг; 9 – втулка; 10 – гайка;
 11 – регулируемый наконечник;
 12 – корпус нутромера;
 13 – запрессованные шарики;
 14 – стержень*

Индикаторный нутромер настраивают на размер по образцовой детали (кольцу) или блоку кольцевых мер с боковиками, закрепленными в трубчатине (рис. 6.2). При настройке измерительная пятка должна быть выдвинута настолько, чтобы риска, расположенная на измерительном стержне, совпала с торцом втулки. Это обеспечит установку плеч рычага в положение, перпендикулярное к осям стержней, и уменьшит погрешность измерения.

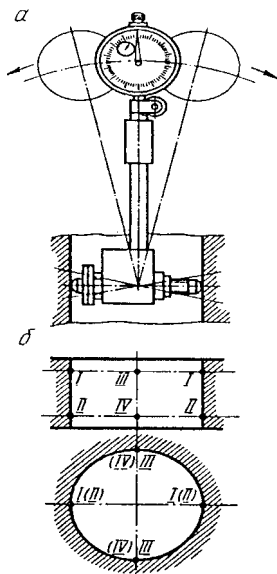


Рис. 6.2. Работа с нутромером

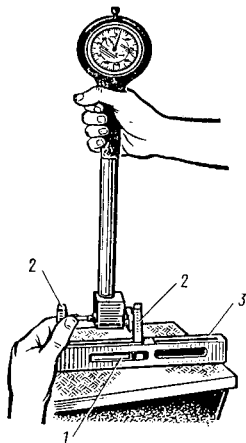


Рис. 6.3. Установка прибора на нуль:

- 1 – плоско-параллельные концевые меры длины;
- 2 – боковики;
- 3 – державка

Для настройки прибора на нуль необходимо создать предварительный натяг, вывернув на 1 мм регулируемый наконечник, затем установить нутромер в положение, при котором ось измерительного стержня и регулируемого наконечника заняли бы положение, перпендикулярное к поверхностям боковиков. Это положение находится покачиванием нутромера в вертикальной плоскости и соответствует наименьшему показанию индикатора.

Для измерения диаметра отверстия корпус нутромера с направляющим мостиком вводят в отверстие, устанавливают по линии диаметра и, так же как при настройке на размер, покачивают нутромер в вертикальной плоскости. Наименьшее показание индикатора будет соответствовать отклонению диаметра от размера блока концевых мер. Оценку формы отверстия можно произвести, если диаметры отверстия измерить по двум взаимно перпендикулярным направлениям в двух сечениях по высоте.

6.1.2. Индикатор часового типа

Индикаторы часового типа используются для измерения глубины подрезов и неполного заполнения разделки кромок.

Подрез – острое конусообразное углубление на границе поверхности сварного шва с основным металлом.

Не полностью заполненная разделка кромок – продольная непрерывная или прерывистая вогнутость на поверхности сварного шва из-за недостаточности присадочного металла.

Основные параметры и размеры

Индикаторы следует изготавливать с диапазонами измерений 0...2, 0...5, 0...10, 0...25 мм.

Индикаторы с диапазоном измерения 0...2 мм следует изготавливать двух исполнений:

- ИЧ – с перемещением измерительного стержня параллельно шкале (рис. 6.4);
- ИТ – с перемещением измерительного стержня перпендикулярно шкале (рис. 6.5).

Индикаторы с другими диапазонами измерений – типа ИЧ (рис. 6.4).

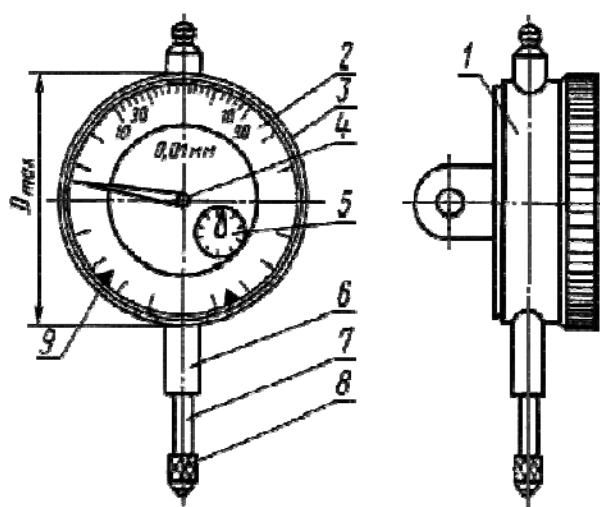


Рис. 6.4. Индикатор типа ИЧ: 1 – корпус; 2 – циферблат; 3 – ободок; 4 – стрелка; 5 – указатель; 6 – гильза; 7 – измерительный стержень; 8 – измерительный наконечник; 9 – указатель поля допуска

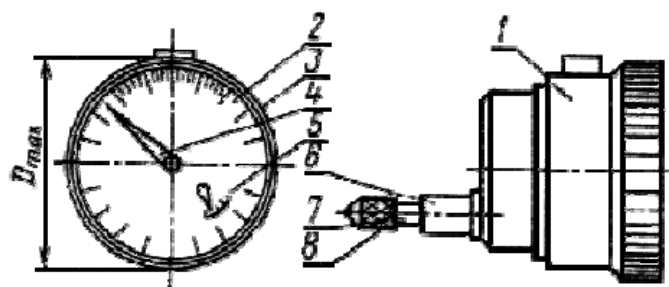


Рис. 6.5. Индикатор типа ИТ: 1 – корпус; 2 – циферблат; 3 – ободок; 4 – стрелка; 5 – указатель; 6 – гильза; 7 – измерительный стержень; 8 – измерительный наконечник

По исполнению корпуса индикаторы разделяются на обыкновенные, брызгозащищенные и пылезащищенные. Обыкновенным считается исполнение, предохраняющее механизм индикатора от загрязнений и механических повреждений. Брызгозащищенным считается исполнение, предохраняющее механизм индикатора от попадания брызг во время пребывания в брызгонесущей среде. Пылезащищенным считается исполнение, предохраняющее механизм индикатора от попадания пыли во время пребывания в воздухе с повышенной концентрацией пыли.

Индикаторы должны поставляться двух классов точности: 0 и 1.

Пример условного обозначения индикатора исполнения ИЧ с диапазоном измерения 0–2 мм, обыкновенного, класса точности 0:

индикатор ИЧ02 кл. 0 ГОСТ 577–68.

Метрологические характеристики индикаторов не должны превышать значений, указанных в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Класс точности	Наибольшая разность погрешностей индикатора, мкм							Размах показаний индикатора для диапазона измерения, мкм		Вариация показаний индикатора для диапазона измерения, мкм	
	на любом участке диапазона измерения, мм		во всем диапазоне измерения, мм								
	$\Delta_{0,1}$	Δ_1	Δ_2	Δ_3	Δ_5	Δ_{10}	Δ_{25}	до 10 мм	св. 10 мм	до 10 мм	св. 10 мм
0	4	8	10	10	12	15	22	3	5	2	5
1	6	10	12	15	16	20	30		6	3	6

Примечание:

1. Под $\Delta_{0,1}$, Δ_1 понимают алгебраические разности ординат самой высокой и самой низкой точек кривой погрешностей индикатора в пределах любого участка длиной, соответственно, 0,1 мм ($\Delta_{0,1}$ – черт. 4) и 1 мм (Δ_1 – черт. 3) диапазона измерений при прямом или обратном ходе измерительного стержня.
2. Под Δ_2 , Δ_3 , Δ_5 , Δ_{10} и Δ_{25} понимают алгебраические разности ординат самой высокой и самой низкой точек кривой погрешностей индикатора с диапазоном измерения, соответственно, 0...2 мм (Δ_2), 0...3 мм (Δ_3), 0...5 мм (Δ_5), 0...10 мм (Δ_{10}) и 0...25 мм (Δ_{25}) при прямом или обратном ходе измерительного стержня.

6.2. Порядок выполнения работы

1. Получите у преподавателя деталь для осуществления контроля.
2. Проанализируйте требования к точности параметров детали, подлежащей контролю.
3. Выберите схему измерений, количество контролируемых сечений, средства измерения и вспомогательные устройства.

4. Выполните измерения. Результаты измерений представьте в табличной форме.

Направление измерений	Размеры в сечении, мм	
A – A	I–I	II–II
B – B	III–III	IV–IV

5. Оцените погрешности измерений и сравните с допустимыми.
6. Выполните анализ результатов измерений. Результаты сравните с допустимыми значениями параметров и дайте заключение о годности детали по контролируемому параметру.
7. Оформите отчет о работе.

Содержание отчета

1. Название темы и цели работы.
2. Ответы на контрольные вопросы.
3. Выполненное задание с оформленными результатами измерений.
4. Выводы о проделанной работе.

Контрольные вопросы и задания

1. Опишите принцип действия нутромера и индикатора часового типа.
2. Каково назначение инструментов?
3. Каким методом осуществляются измерения этими приборами?
4. Каким образом осуществляют измерения внутренних размеров нутромером?

Список использованной литературы

1. РД 03–606–03. Инструкция по визуальному и измерительному контролю. – М.: «НТЦ» «Промышленная безопасность», 2003 (Инструкция). – 61 с.
2. ГОСТ 577–68. Индикаторы часового типа с ценой деления 0,01 мм.
3. ГОСТ. 862–82. Нутромеры индикаторные с ценой деления 0,01 мм.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7

ВИЗУАЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ ДЕФЕКТОВ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Цель работы: приобрести навыки по выявлению дефектов сварных соединений в соответствии с РД 03–606–03.

7.1. Дефекты сварных соединений

Под дефектом понимают каждое отдельное несоответствие продукции установленным в НТД требованиям. Если продукция имеет дефект, то это означает, что хотя бы один из показателей качества вышел за предельные значения, установленные НТД.

Все многочисленные виды сварки разделяют на две группы: сварку плавлением и давлением. В первом случае свариваемые заготовки располагают на некотором расстоянии друг от друга и осуществляют расплавление кромок заготовок и заполнение разделки присадочным (обычно из электрода) или оплавленным основным металлом. Во втором случае также возможно расплавление кромок, но сварку осуществляют при сдавливании свариваемых заготовок.

В процессе образования сварного соединения в металле шва, в зонах термического влияния могут возникать дефекты, приводящие к снижению прочности, эксплуатационной надежности, точности, а также ухудшающие внешний вид изделия. Дефекты оказывают большое влияние на прочность сварных соединений и могут явиться причиной преждевременного разрушения сварных конструкций. Особенно опасны трещиноподобные дефекты (трещины, непровары), резко снижающие прочность, особенно при циклических перегрузках.

7.1.1. Классификация дефектов сварных швов и соединений

Дефекты сварных соединений по месту их расположения делятся на внутренние и наружные.

К дефектам, связанным с металлургическими и тепловыми явлениями, происходящими в процессе формирования и кристаллизации сварочной ванны и остывания металла, относятся: горячие и холодные трещины в металле шва и околошовной зоне, шлаковые включения.

К дефектам, связанным с нарушением режимов сварки, неправильной подготовкой и сборкой элементов конструкции под сварку, неисправностью оборудования, небрежностью и низкой квалификацией сварщика, относят: несоответствие швов расчетным размерам, непровары, подрезы, прожоги, наплывы, несваренные кратеры и др.

Каждому виду сварки свойственны свои характерные дефекты. Особенно сильно отличаются дефекты сварки плавлением и давлением.

Для сварки плавлением (ГОСТ 19232) свойственны некоторые дефекты, характерные для литого металла: усадочные раковины, поры (иногда поры располагаются цепочками, группами), включения (шлаковые, флюсовые, оксидные, сульфидные, металлические).

Специфическими дефектами сварки являются:

- непровар – местное несоединение вследствие неполного расплавления кромок основного металла или поверхности ранее выполненных валиков;
- вогнутость или превышение проплавления корня сварного шва;
- подрез – углубление в основном металле вдоль линии сплавления;
- большое превышение верхней выпуклости шва;
- смещение кромок сварного шва из-за недоброкачественной сборки;
- прожог в виде сквозного отверстия, образующегося в результате вытекания сварочной ванны.

Особенно опасными дефектами являются сварочные трещины, возникающие обычно в процессе остывания сварного соединения. Они могут появиться не только в наплавленном металле, но также в основном металле соединения в зоне влияния на него сварочного процесса (в зоне термического влияния). Различают трещины продольные и поперечные относительно оси шва, разветвленные (паукообразные), образующие сетку.

Причинами возникновения перечисленных дефектов могут быть: неправильный состав сварочных материалов (электродов, флюсов); неправильная подготовка к сварке (неверная форма разделки; неверно выбранное расстояние между свариваемыми заготовками); нарушение режима сварки.

Трещины могут возникать также из-за неправильной конструкции сварного изделия, неправильного термического режима сварки, наличия включений, расслоений и других дефектов в основном металле.

Дефекты формирования сварного шва (смещение кромок, подрезы, неправильная форма выпуклостей) проверяют визуально или с помощью шаблонов.

В сварке давлением встречаются некоторые дефекты, характерные для сварки плавлением, например поры, смещение кромок и др. Специфиче-

ским дефектом сварки давлением является слипание. Это хрупкое и непрочное соединение свариваемых заготовок, окисленное в большей или меньшей степени. Оно возникает при недостаточно хорошей очистке свариваемых поверхностей, недостаточном расплавлении металла кромок.

Визуальный контроль в процессе сварки соединения выполняется с целью подтверждения отсутствия недопустимых поверхностных дефектов (трещин, пор, включений, прожогов, свищей, усадочных раковин, несплавлений, грубой чешуйчатости, западаний между валиками, наплывов) в каждом слое (валике) шва.

В выполненном сварном соединении (наплавке) визуально следует контролировать:

- отсутствие (наличие) поверхностных трещин всех видов и направлений;
- отсутствие (наличие) на поверхности сварных соединений и наплавов дефектов (пор, включений, скоплений пор и включений, отслоений, прожогов, свищей, наплывов, усадочных раковин, подрезов, непроваров, брызг расплавленного металла, западаний между валиками, грубой чашуйчатости, прожогов металла, а также мест касания сварочной дугой поверхности основного материала).

В выполненном сварном соединении необходимо измерениями контролировать:

- размеры поверхностных дефектов (поры, включения и др.), выявленных при визуальном контроле;
- высоту и ширину шва, а также вогнутость и выпуклость обратной стороны шва в случае её доступности для контроля;
- высоту углублений между валиками и чешуйчатость поверхности шва;
- подрезы основного материала;
- несплавления (непровары) с наружной и внутренней стороны шва.

7.1.2. Классификация дефектов швов при сварке металлов плавлением

Дефекты сварки – опасные дефекты технологического происхождения, резко снижающие характеристики сопротивления деталей знакопеременным нагрузкам.

Трещина сварного соединения – дефект сварного соединения в виде разрыва в сварном шве и (или) прилегающих к нему зонах.

Продольная трещина сварного соединения – трещина сварного соединения, ориентированная вдоль оси сварного шва.

На рис. 7.1 показана типичная продольная трещина сварного соединения.

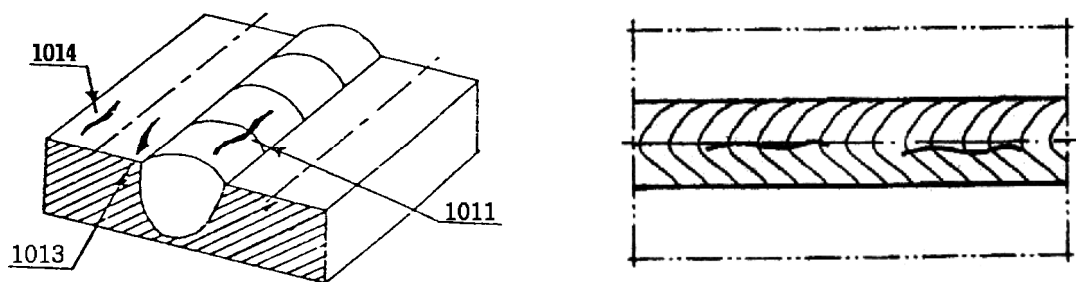


Рис. 7.1. Продольная трещина сварного соединения

Поперечные трещины сварного соединения – это трещины сварного соединения, ориентированные поперек оси сварного шва. Они могут возникать в шве, зоне термического влияния, зоне сплавления.

На рис. 7.2 показана типичная поперечная трещина сварного соединения.

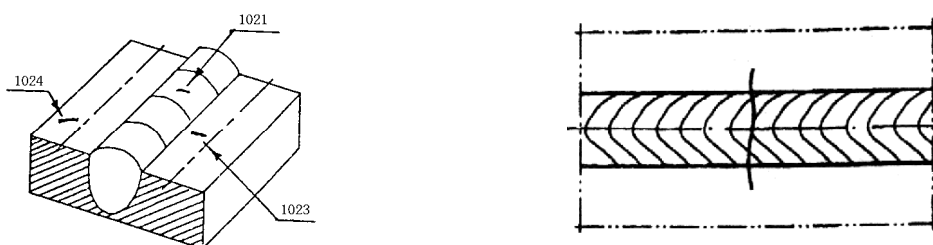


Рис. 7.2. Поперечная трещина сварного соединения

Радиальные трещины – это трещины, исходящие из одной точки (рис. 7.3). Небольшие трещины этого типа известны как звездообразные трещины. Они могут располагаться в шве, зоне сплавления, зоне термического влияния.

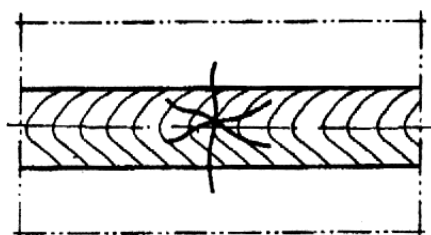


Рис. 7.3. Радиальная трещина сварного соединения

Кратерные трещины – это трещины в углублении на поверхности шва в месте отрыва дуги (рис. 7.4). Они могут быть продольными, поперечными и звездообразными.

Трещины в кратере возникают при сварке вследствие избытка серы в электродах (проволоке, обмазке) или в результате неправильного выполнения окончания шва.

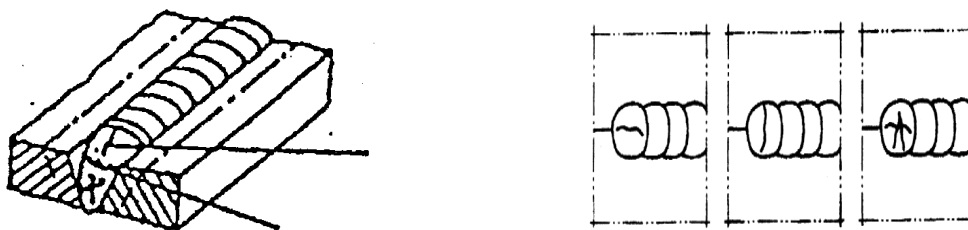


Рис. 7.4. Кратерная трещина

Разветвленные трещины – это группа соединенных трещин, образованных от общей трещины (рис. 7.5). Они могут располагаться в шве, зоне термического влияния.

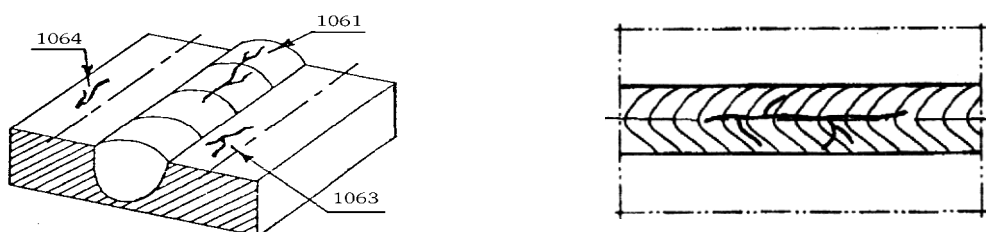


Рис. 7.5. Разветвленные трещины

Усадочная раковина сварного шва – дефект в виде полости, заполненной газом, или впадины, образованной при усадке металла шва в условиях отсутствия питания жидким металлом. На рис. 7.6 показана типичная усадочная раковина сварного шва.

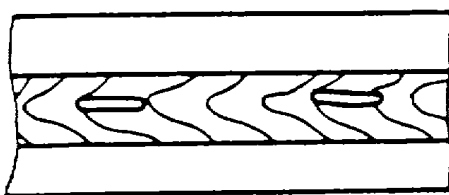


Рис. 7.6. Усадочная раковина сварного шва

Вогнутость корня шва – дефект в виде углубления на поверхности обратной стороны сварного одностороннего шва (рис. 7.7).



Рис. 7.7. Вогнутость корня шва

Свищ – это трубчатая полость в металле шва, вызванная выделением газа (рис. 7.8). Обычно свищи группируются в скопления и распределяются елочкой. Форма и положение свища определяются режимом за- твердевания шва и выделения газа из металла.

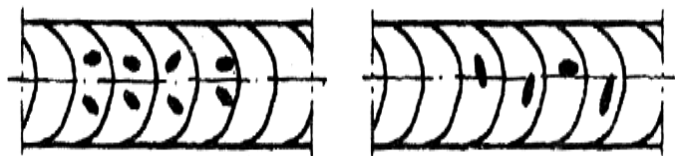


Рис. 7.8. Свищ в сварном шве

Пора – это сферическая полость в металле шва, содержащая задержанный металлом газ (рис. 7.9).

Поры образуются в результате перенасыщения жидкого металла га- зами, которые не успевают выйти на поверхность во время его быстрой кристаллизации.

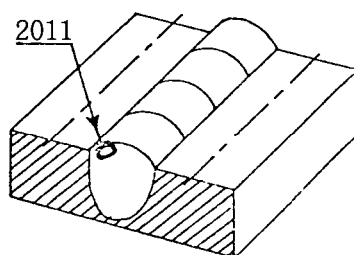


Рис. 7.9. Пора

Цепочка пор в сварном шве – группа пор в сварном шве, расположен- ных параллельно оси сварного шва (рис. 7.10).

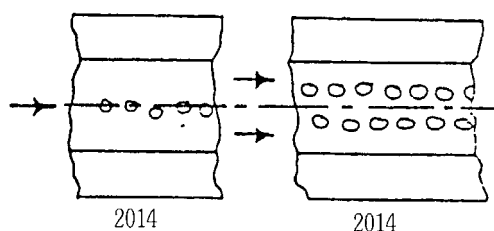


Рис. 7.10. Цепочка пор в сварном шве

Равномерно распределенная пористость – это ряд газовых пор, рас- пределенных примерно равномерно в металле шва (рис. 7.11).

Сплошную пористость вызывает большое количество ржавчины и масла на кромках заготовок, а также влажный или крупный флюс.

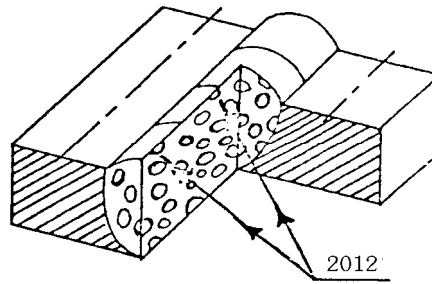


Рис. 7.11. Равномерно распределенная пористость

Канальная раковина – это вытянутое, в направлении оси шва, газовое включение (рис. 7.12). Обычно возникает в зоне слабины, т. е. в ослабленном стыке зон столбчатых кристаллитов, растущих навстречу друг другу от линии сплавления.

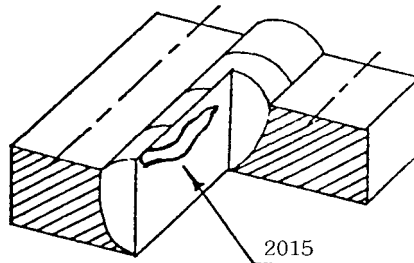


Рис. 7.12. Канальная раковина

Поверхностная пора – это небольшая газовая пора, разрывающая поверхность сварного шва (рис. 7.13). Появление пор связано с рядом металлургических и технологических факторов.

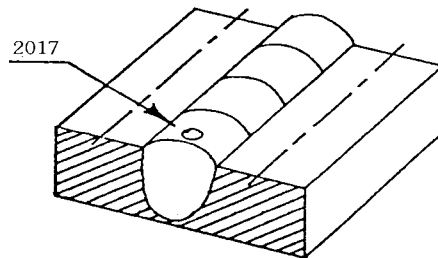


Рис. 7.13. Поверхностная пора

Несплавление (непровар) – это дефект, заключающийся в местном отсутствии сплавления между металлом шва и основным металлом (например, по разделке), или же между слоями металла шва. Различают непровар по кромке, непровар между валиками по сечению, непровар в корне.

Образование непроваров могут вызвать следующие причины: загрязнение кромок или их неправильная подготовка (например, уменьшенный угол скоса), низкая сила тока из-за повышенной скорости сварки, смещение внутреннего или наружного шва, блуждание дуги. Непровар

между слоями шва получается в результате плохой очистки предыдущих слоев или при натекании металла под дугу.

На рис. 7.14 показано типичное несплавление.

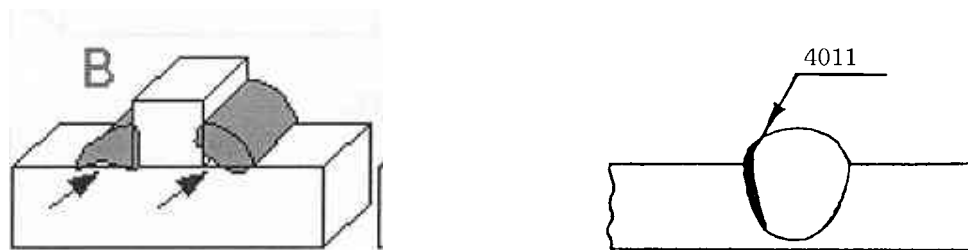


Рис. 7.14. Несплавление

Непровар (неполный провар) – это отсутствие сплавления между основным металлом одной свариваемой детали и основным металлом другой детали вследствие неспособности наплавленного металла проникнуть в корень соединения. Он может присутствовать в корне шва, по его сечению (рис. 7.15). Дефект вызван нарушением режимов сварки, небольшим углом разделки кромок, отсутствием зазора, большим притуплением и низкой квалификацией сварщика.

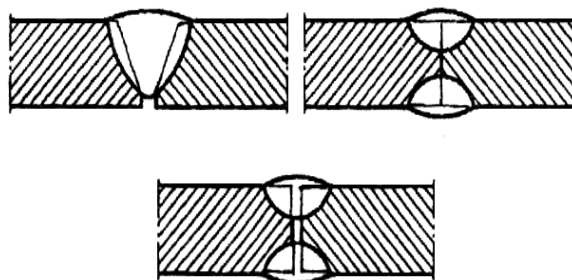


Рис. 7.15. Непровар

Подрез зоны сплавления – дефект в виде углубления по линии сплавления сварного шва с основным металлом. На рис. 7.16 показан типичный подрез.



Рис. 7.16. Подрез

Твердые включения

Включение – полость в металле, заполненная газом, шлаком или инородным металлом; обобщенное наименование пор, шлаковых и вольфрамовых включений (рис. 7.17).

Шлаковое включение – это шлак, окислы, попавшие в металл сварного шва. Металл шва может также иметь флюсовое, окисное или металлическое (вольфрам, медь и другие металлы) включения. Величина их колеблется от микроскопических размеров до нескольких миллиметров в поперечнике. Форма их может быть самой различной – от сферической до плоской, вытянутой в виде пленки, которая разделяет прилегающие объемы наплавленного металла. В соответствии с реальными условиями такие включения могут быть одиночными, групповыми или носить строчечный характер.

Различают эндогенные включения, т. е. такие, которые образуются в результате протекающих в металле процессов, например химических реакций; экзогенные включения, образующиеся в результате попадания инородных частиц извне.

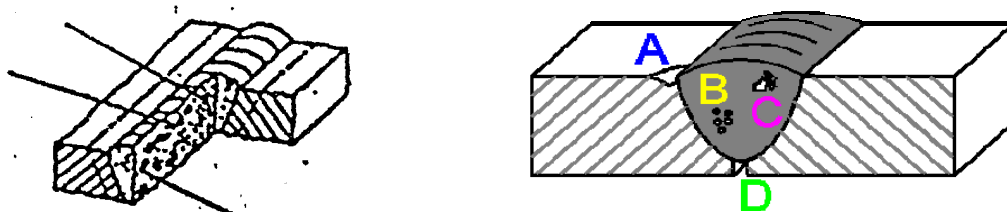


Рис. 7.17. Твердые включения

Флюсовое включение – полость в металле сварного шва, заполненная нерасплавившимся флюсом, попавшим в металл шва во время затвердевания.

Вольфрамовое включение – внедрившаяся в металл шва нерасплавленная частица (осколок) неплавящегося вольфрамового электрода.

Кратер – это углубление на поверхности шва в месте обрыва дуги (рис. 7.18). Дефект в виде полости или впадины, образовавшийся при усадке расплавленного металла при затвердевании (располагается, как правило, в местах обрыва дуги или окончания сварки).

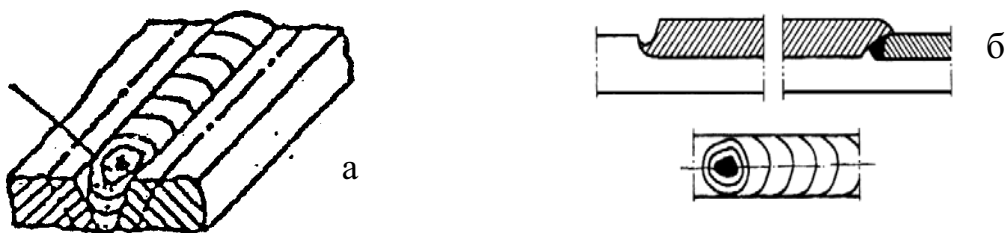


Рис. 7.18. Кратер

Превышение выпуклости шва – это дефект, связанный с избыточным наплавлением металла на лицевой стороне углового шва (рис. 7.19).

Рабочее сечение углового шва представляет собой прямоугольный треугольник; оно характеризуется двумя размерами – катетом (K) и его высотой (h). При $h = K$ – шов выпуклый. Дефект возникает из-за недостаточной силы тока и малой скорости сварки.

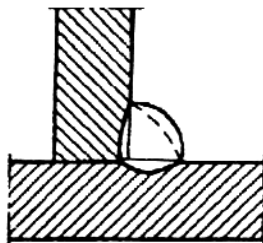


Рис. 7.19. Превышение выпуклости шва

Превышение проплава корня шва (превышение проплава) – это дефект, связанный с избытком наплавленного металла, проникающего в корень шва (рис. 7.20).

Местный избыточный проплав (с внутренней стороны одностороннего шва). Плохая формовка заготовки, небрежная работа сварщика. Дефект может иметь локальный характер или возникать на всем протяжении корня шва.

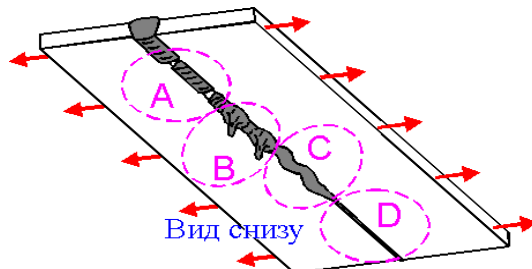


Рис. 7.20. Превышение проплава корня шва

Неправильный профиль сварного шва – резкий переход от шва к основному металлу (рис. 7.21). Слишком малый угол (α) между поверхностью основного металла и плоскостью, касательной к поверхности сварного шва. Нарушение режима сварки, небрежная работа сварщика.

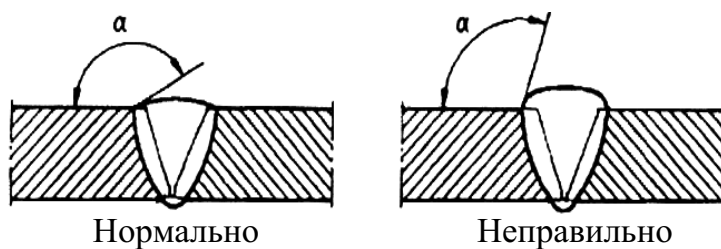


Рис. 7.21. Профиль сварного шва

Наплыв (натек) – дефект в виде металла, натекшего в процессе сварки (наплавки) на поверхность сваренных (наплавленных) деталей или ранее выполненных валиков и несплавившегося с ними (рис. 7.22).

Между наплывом и поверхностью сварного соединения нет монолитности. Они могут быть местными в виде отдельных застывших капель или иметь значительную протяженность вдоль шва. Причиной могут быть: чрезмерные силы тока и напряжения при длинной дуге и большая скорость сварки, неправильное положение электрода, большой угол наклона изделия при сварке на подъем и спуск. В кольцевых швах наплывы образуются при недостаточном или излишнем смещении.



Рис. 7.22. Наплыв

Утяжина на поверхности сварного шва – это канавка в шве, образовавшаяся вследствие усадки металла шва (рис. 7.23). Образуется при отклонении параметров сварочного процесса от номинальных значений.



Рис. 7.23. Утяжина

Вогнутость корня сварного шва в виде усадочного продольного углубления – дефект в виде углубления на поверхности обратной стороны сварного одностороннего шва (оценивается по максимальной глубине расположения поверхности корня шва от уровня расположения поверхностей сваренных деталей) (рис. 7.24). Образуется при отклонении параметров сварочного процесса от номинальных значений.

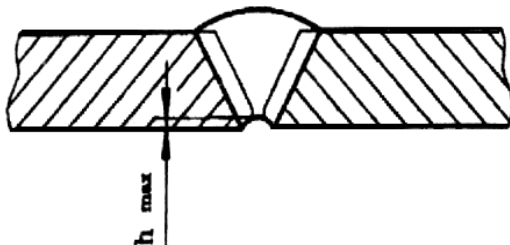


Рис. 7.24. Вогнутость корня сварного шва

Превышение усиления сварного шва – избыток наплавленного металла на лицевой стороне(ах) стыкового шва (рис. 7.25).

Дефект возникает из-за нарушения режимов сварка (малый ток и т. д.).

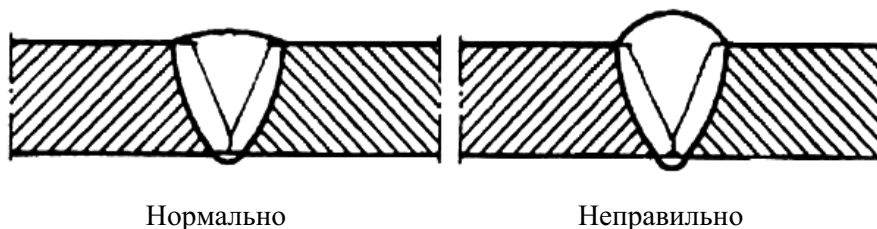


Рис. 7.25. Превышение усиления сварного шва

Не полностью заполненная разделка кромок – продольная непрерывная или прерывистая вогнутость на поверхности сварного шва из-за недостаточности присадочного металла (рис. 7.26).



Рис. 7.26. Не полностью заполненная разделка кромок

Чешуйчатость сварного шва – поперечные или округлые (при автоматической сварке под флюсом – удлиненно-округлые) углубления на поверхности валика, образовавшиеся вследствие неравномерности застывания металла сварочной ванны (оценивается по максимальной глубине) (рис. 7.27).

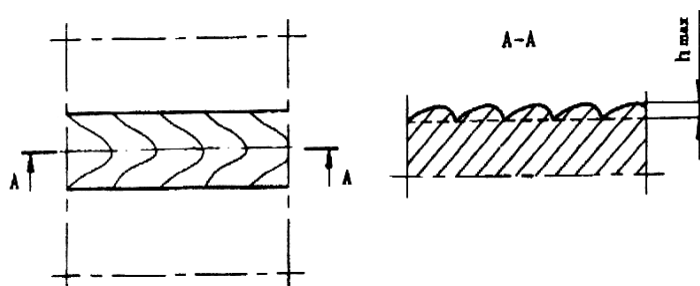


Рис. 7.27. Чешуйчатость сварного шва

7.2. Порядок выполнения работы

1. Получить у преподавателя образец контролируемой детали.
2. Визуально выявить дефекты сварного соединения.
3. Изобразить эскиз сварного соединения с выявленными дефектами.
4. Оформить отчет.

Содержание отчета

1. Название темы и цели работы.
2. Ответы на контрольные вопросы.
3. Выполненное задание.
4. Выводы о проделанной работе.

Контрольные вопросы и задания

1. Что такое дефект?
2. Основные виды дефектов согласно ГОСТ 15467.
3. Назовите специфические дефекты сварки.
4. Каковы причины возникновения перечисленных дефектов?

Список литературы

1. РД 03–606–03. Инструкция по визуальному и измерительному контролю. – М.: «НТЦ» «Промышленная безопасность», 2003 (Инструкция). – 61 с.
2. В.В. Ключев, Ф.Р. Соснин, В.Ф. Мужичкий, А.И. Маслов, А.А. Кеткович, Ю.А. Глазков. Визуальный и измерительный контроль. – М.: РОНКТД, 1998.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8

ИЗМЕРЕНИЕ РАЗМЕРОВ ДЕФЕКТОВ И ПАРАМЕТРОВ СВАРНОГО ШВА

Цель работы: ознакомиться с приборами и инструментами визуального и измерительного контроля; научиться выбирать необходимые средства контроля для измерения параметров дефектов и размеров сварных соединений; изобразить эскиз контролируемой детали.

Приборы и инструменты: универсальный шаблон сварщика УШС-3 (модель 00314 ТУ 3936-050-00221190-99), линейка, штангенциркуль, щупы и специальные шаблоны.

8.1. Краткие теоретические сведения

8.1.1. Дефекты в сварных соединениях

Все многочисленные виды сварки подразделяют на две группы: сварка плавлением и сварка давлением. В первом случае свариваемые заготовки располагают на некотором расстоянии друг от друга и осуществляют расплавление кромок заготовок и заполнение разделки присадочным (обычно из электрода) или оплавленным основным металлом. Во втором случае также возможно расплавление кромок, но сварку осуществляют при сдавливании свариваемых заготовок.

Каждому виду сварки свойственны свои характерные дефекты. Особенно сильно отличаются дефекты сварки плавлением и давлением.

Для сварки плавлением свойственны некоторые дефекты, характерные для литого металла: усадочные раковины, поры (иногда поры располагаются цепочками, группами), включения (шлаковые, флюсовые, оксидные, сульфидные, металлические).

Специфическими дефектами сварки являются:

- **непровар** – местное несоединение вследствие неполного расплавления кромок основного металла или превышение проплавления корня сварного шва;
- **подрез** – углубление в основном металле вдоль линии сплавления; большое превышение верхней выпуклости шва;

- смещение кромок сварного шва из-за недоброкачественной сборки;
- прожог – сквозное отверстие, образующееся в результате вытекания сварочной ванны;
- чешуйчатость – отслоения или разрывы в виде сетки, образовавшиеся при прокатке из-за перегрева (пережога) или пониженной пластичности металла периферийной зоны;
- свищ в сварном шве – дефект в виде воронкообразного или трубчатого углубления в сварном шве;
- кратер – дефект в виде полости или впадины, образовавшихся при усадке расплавленного металла при затвердевании;
- пора – заполненная газом полость округлой формы.

Особенно опасными дефектами являются сварочные трещины, возникающие обычно в процессе остывания сварного соединения. Они могут появиться не только в наплавленном металле, но также в основном металле соединения в зоне влияния на него сварочного процесса (в зоне термического влияния). Различают трещины продольные и поперечные относительно оси шва, разветвленные (паукообразные), образующие сетку.

Причинами возникновения перечисленных дефектов могут быть: неправильный состав сварочных материалов (электродов, флюсов); неправильная подготовка к сварке (неверная форма разделки; неверно выбрано расстояние между свариваемыми заготовками); нарушение режима сварки.

8.2. Выполнение измерений

Измерение размеров осуществляется с помощью универсального шаблона сварщика (УШС-3), линейки, штангенциркуля, щупов и специальных шаблонов.

Линейка и штангенциркуль используются для контроля толщины детали.

8.2.1. Универсальный шаблон сварщика (УШС-3)

УШС-3 предназначен для контроля разделки под сварной шов электродов и элементов сварного шва (рис. 8.1).

Устройство и принцип работы

Шаблон состоит из основания и установленного на оси движка с закрепленным на нем указателем.

На лицевой поверхности расположены шкалы для измерения следующих элементов сварного шва:

Г – глубина дефектов, глубина разделки до корневого слоя, превышение кромок, высота усиления шва;

Д – угол скоса кромок;
 Е – величина притупления шва.

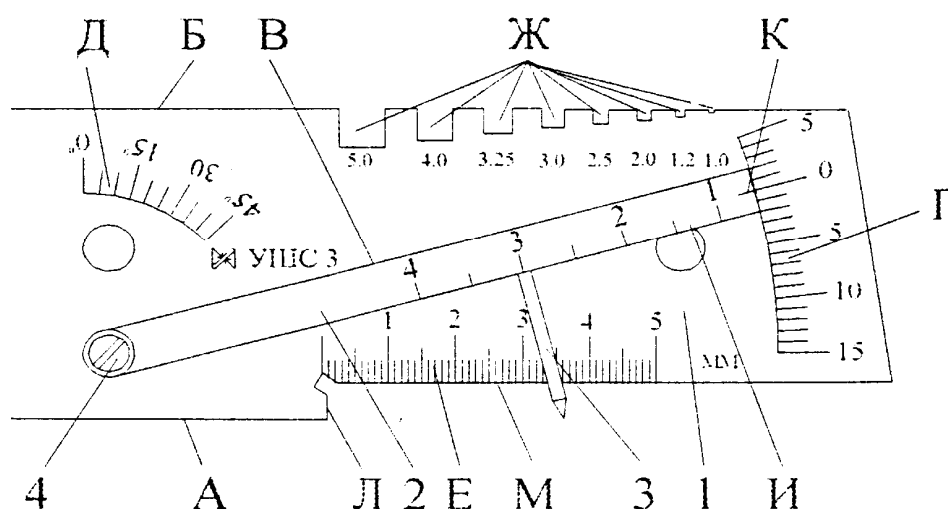


Рис. 8.1. Универсальный шаблон сварщика УШС-3: 1 – основание; 2 – движок; 3 – указатель; 4 – ось; А, Б, В – установочные плоскости; Л – торцовая грань; М – продольное ребро линейки со шкалой Е для измерения величин притупления и ширины шва; Г – шкала для измерения высоты усиления шва; К – риска-индекс для снятия отсчета по шкале Г; Д – шкала для измерения углов скоса кромок; Ж – пазы для измерения диаметров электродов; И – шкала для измерения величины зазора

Один конец движка выполнен в виде клина. На лицевой поверхности клиновой части движка находится шкала И, причем цифры шкалы соответствуют толщине движка в данном сечении (толщина меняется от 0,5 до 4 мм). Такой профиль движка позволяет измерять с помощью шкалы И зазор между свариваемыми деталями.

На клиновом конце движка нанесена риска К, являющаяся индексом для шкалы Г. Пазы Ж позволяют контролировать диаметр используемых электродов. Принцип работы – механический.

Порядок выполняемой работы

- Для контроля дефектов глубины (вмятин, забоин), превышения смещения кромок, глубины разделки стыка до корневого слоя и высоты усиления шва, шаблон установите на поверхность изделия плоскостью А (рис. 8.2, 8.3). Повернуть движок вокруг оси до соприкосновения конца указателя с измеряемой поверхностью (поверхностью вмятины, кромки шва и т. д.). Снять отсчет по шкале Г с помощью риски К.

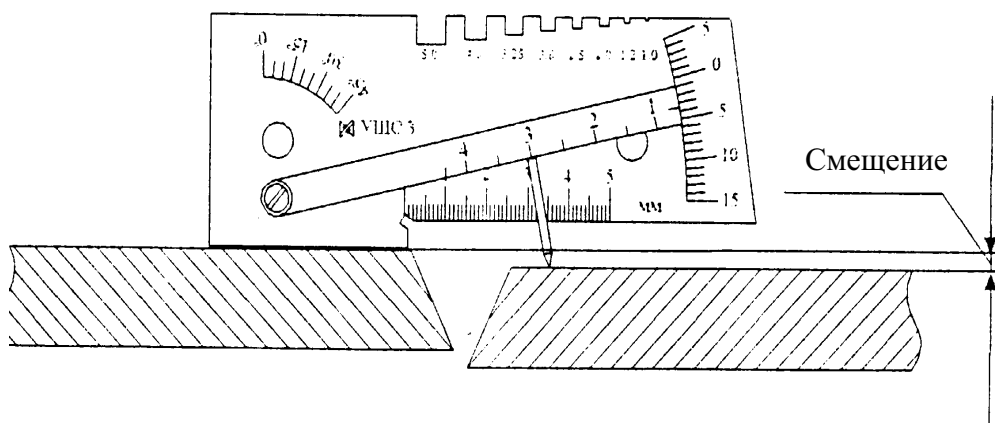


Рис. 8.2. Схема измерения смещения наружных кромок деталей

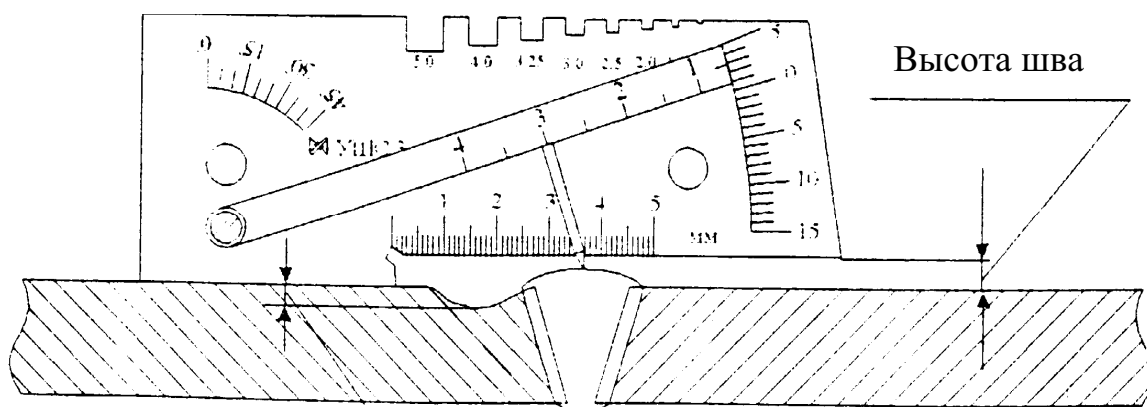


Рис. 8.3. Схема измерения высоты усиления и глубины подреза шва

Измерение глубины западаний между валиками, при условии, что высота валиков отличается, выполняют относительно валика, имеющего меньшую высоту (рис. 8.4).

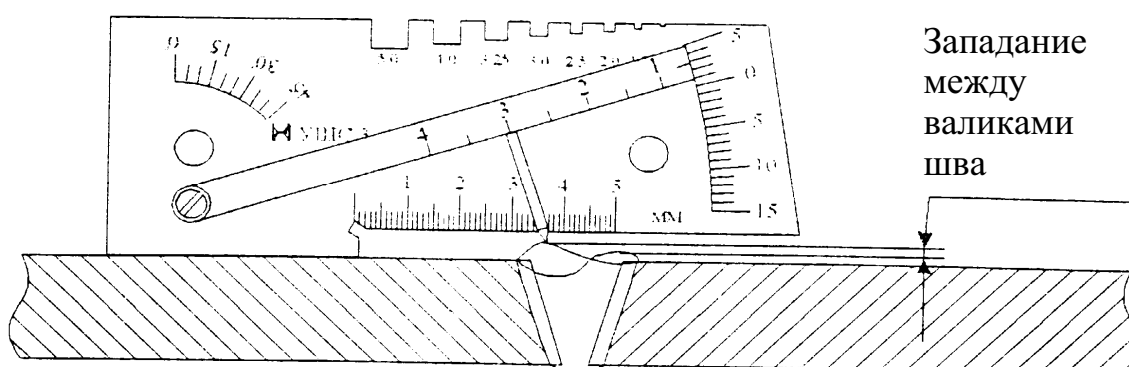


Рис. 8.4. Схема измерения западания между валиками шва

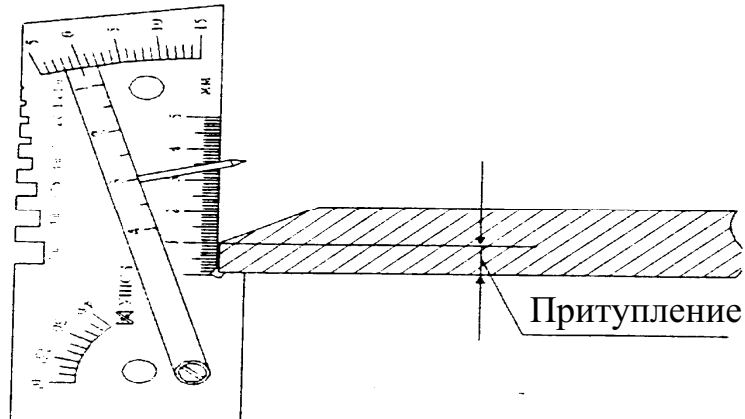


Рис. 8.5. Схема измерения размера притупления разделки

- Контроль притупления и ширины шва необходимо производить с помощью шкалы Е, пользуясь ею как измерительной линейкой (рис. 8.5, 8.6).
- Для контроля величины зазора между свариваемыми деталями введите клиновую часть движка в контролируемый зазор до упора. Снимите отсчет по шкале И (рис. 8.7).

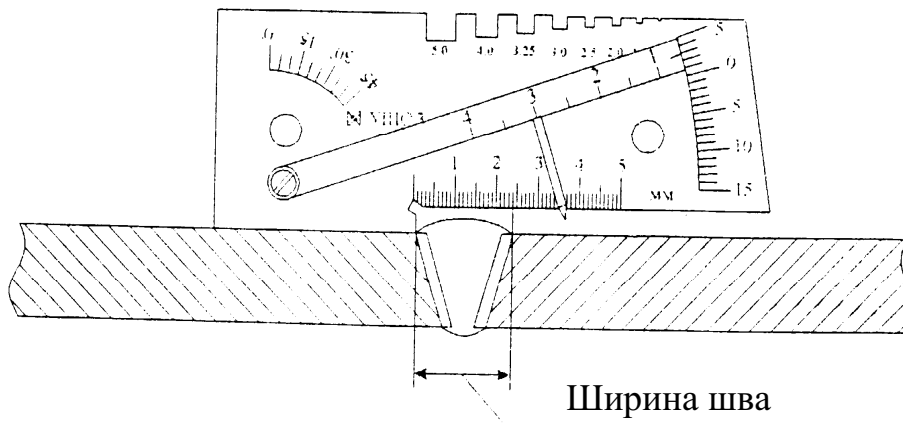


Рис. 8.6. Схема измерения ширины шва

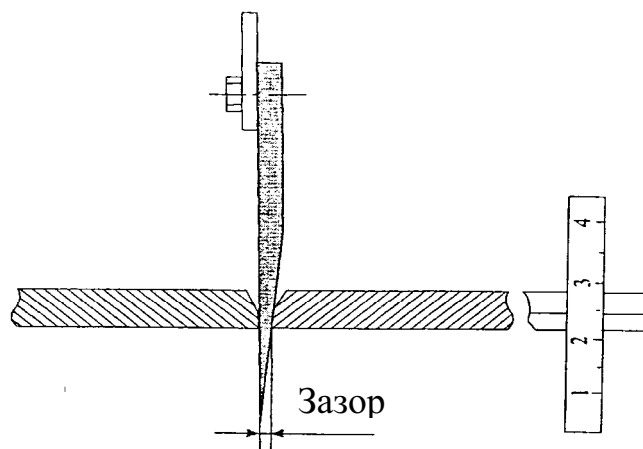


Рис. 8.7. Схема измерения зазора в соединении

- Для контроля углов скоса кромок установите шаблон плоскостью Б на образующую поверхность изделия (рис. 8.8). Поверните движок до совмещения плоскости В движка с измеряемой поверхностью. Снимите отсчет по шкале Д основания, пользуясь плоскостью В движка с индексом.
- Для определения диаметра электрода (электронной проволоки) его вставляют в пазы Ж шаблона, используя пазы как калибры-скобы.

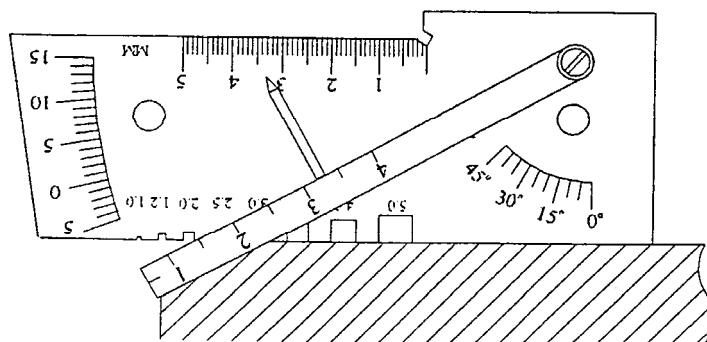


Рис. 8.8. Схема измерения угла скоса разделки

8.2.2. Шаблоны

При контроле угловых швов сварных соединений катеты сварного шва измеряют с помощью специальных шаблонов (рис. 8.9). Определение размеров высоты, выпуклости и вогнутости углового шва выполняется расчетным путем и только в тех случаях, когда это требование предусмотрено конструкторской документацией. Измерение выпуклости, вогнутости и высоты углового шва проводится с помощью шаблонов, например шаблоном В.Э. Ушера-Маршака, шаблоном А.И. Красовского (рис. 8.10, 8.13).

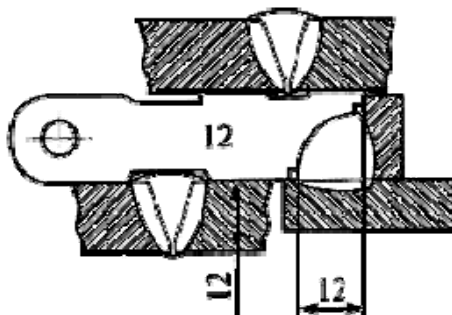


Рис. 8.9. Специальный шаблон для контроля сварных швов

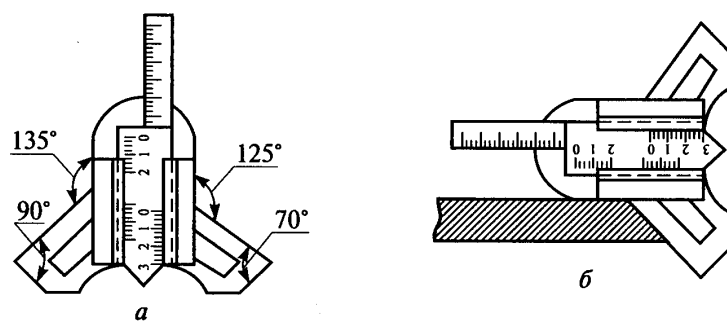


Рис. 8.10. Контроль шаблоном конструкции В.Э. Ушеров-Маршака (начало):
а – общий вид шаблона; б – измерение угла скоса разделки α

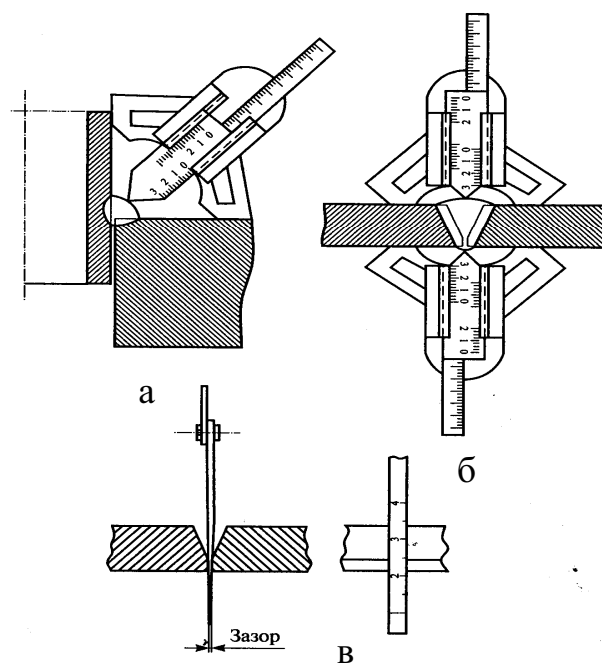


Рис. 8.11. Контроль шаблоном конструкции В.Э. Ушеров-Маршака
(окончание): а – измерение высоты катета углового шва; б – измерение высоты
валика усиления и выпуклости корня шва стыкового сварного соединения; в –
измерение зазора в соединении при подготовке деталей к сварке

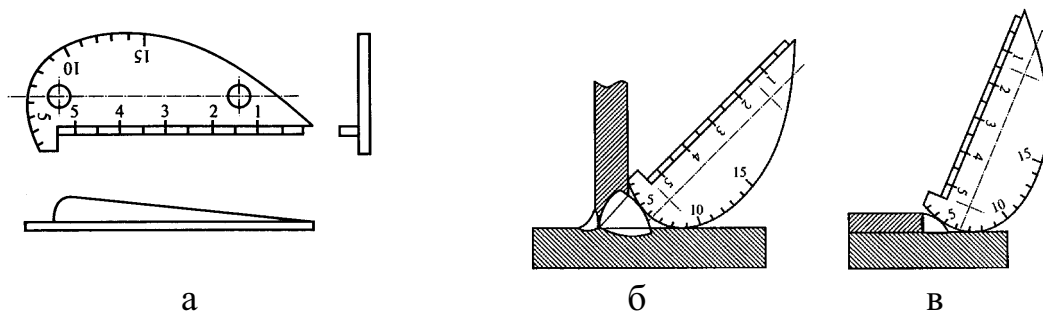


Рис. 8.12. Контроль шаблоном конструкции А.И. Красовского (начало):
а – общий вид шаблона; б, в – контроль тавровых и нахлесточных сварных соединений

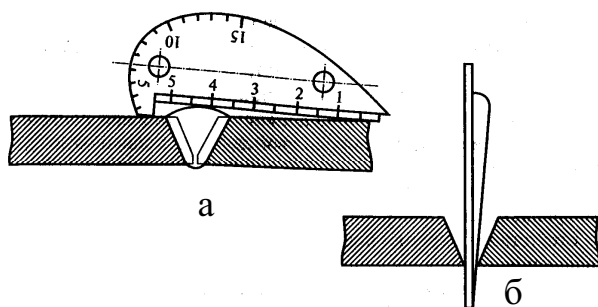


Рис. 8.13. Контроль шаблоном конструкции А.И. Красовского (окончание):

*а – контроль стыковых сварных соединений;
б – измерение зазора между кромками*

8.3. Порядок выполнения работы

1. Получите у преподавателя образец контролируемой детали.
2. Визуально выявите дефекты сварного соединения и выберите средства измерения.
3. Выполните измерения параметров формы шва и составьте операционную карту (приложение А), нарисуйте эскиз контролируемой детали.
4. Составьте перечень контролируемых параметров и дефектов сварного шва и корня шва, запишите размер найденных.
5. Произведите анализ результатов измерений. Сравните результаты визуального и измерительного контроля с допустимыми значениями, указанными в нормативных документах, выданных преподавателем, и дайте заключение о годности контролируемого образца. Недопустимые по нормативной документации дефекты занесите в акт контроля, указанный в приложении Б.
6. Разработайте технологическую карту визуального контроля согласно приложению В.
7. Оформите отчет.

Содержание отчета

1. Название темы и цели работы.
2. Ответы на контрольные вопросы.
3. Выполненное задание.
4. Выводы о проделанной работе.

Контрольные вопросы и задания

1. Перечислите основные дефекты сварки.
2. Назовите причины возникновения перечисленных дефектов.
3. Каково назначение и принцип работы УШС-3?
4. Перечислите основные виды шаблонов. В чем заключается их назначение и принцип работы?

Список литературы

1. РД 03–606–03. Инструкция по визуальному и измерительному контролю. – М.: ГУП «НТЦ» «Промышленная безопасность», 2003. – 61 с.
2. ТУ 3936-050-0022190-99. Шаблон сварщика универсальный УШС-3 модели 00314.

ФИО _____

**ЗАДАНИЕ НА ПРАКТИЧЕСКОЕ ИСПЫТАНИЕ
ПО ВИЗУАЛЬНОМУ И ИЗМЕРИТЕЛЬНОМУ КОНТРОЛЮ**

Выполнить визуальный и измерительный контроль нахлесточного
сварного соединения № 47 200×7×290

(подготовки кромок, сборки деталей или сварного соединения)

образца пластины из стали _____ Зсп

(трубопровода, пластины)

в соответствии с требованиями _____ РД 03-606-03

(наименование документа)

Категория сварного соединения:

Н 1 по ГОСТ 16037–80 (ГОСТ 5264–80)

1. Нарисовать схему освещенности рабочего места и измерить освещенность.
2. Выполнить визуальный контроль образца (для внешней стороны шва и для корня шва).
3. Выполнить измерительный контроль образца.
4. Разработать технологическую карту с приведением дефектограммы сварного шва.
5. Оценить форму шва в соответствии с заданной разделкой Н 1 по ГОСТ 5264–80.
6. Сравнить результаты визуального и измерительного контроля с требованиями РД 24.090.97–98 и записать отклонения от требований в операционную (технологическую) карту.
7. Составить акт по результатам визуального и измерительного контроля с оценкой соответствия требованиям НТД.

Преподаватель Н.П. Калиниченко _____ удост. № 553/02

« _____ » _____ 2008 г.

**Приложение Б
(обязательное)**

АКТ

выполнения визуального и измерительного контроля качества

от _____ 2008 г.

1. Задание на практическое испытание:

(вид контролируемого образца, марка стали, наименование документа)

2. Проконтролированные образцы показали следующие результаты:

(контролируемые параметры, результаты)

3. Заключение по результатам визуального и измерительного контроля:

Контроль выполнил: _____
(ФИО, подпись)

Приложение В (рекомендуемое)

Перечень НТД норм оценки качества по визуальному и измерительному методу контроля

1 Объекты котлонадзора

- 1.1 РД 153-34.1-003-01 (РТМ 1с). Нормы допустимых поверхностных дефектов, выявляемых при визуальном контроле сварных соединений
- 1.2 РД 10-577-03. Типовая конструкция по контролю металла и продлению срока службы основных элементов котлов, турбин и трубопроводов тепловых электростанций
- 1.3 РД 153-34.1-17.462-00. Методические указания о порядке оценки работоспособности рабочих лопаток паровых турбин в процессе изготовления, эксплуатации и ремонта
- 1.4 РД 10-210-98. Методические указания по проведению технического освидетельствования металлоконструкций паровых и водогрейных котлов
- 1.5 ПБ 10-575-03. Правила устройства и безопасной эксплуатации электрических котлов и электрокотельных
- 1.6 ВСН 005-88. Строительство промысловых стальных трубопроводов
- 1.7 СП 101-34-96. Выбор труб для сооружения магистральных газопроводов

2 Системы газоснабжения (газораспределения)

- 2.1 СП 42-103-2003. Проектирование и строительство газопроводов из полиэтиленовых труб и реконструкция изношенных газопроводов
- 2.2 СП 105-34-96. Производство сварочных работ и контроль качества сварных соединений
- 2.3 ВСН 003-88. Строительство и проектирование трубопроводов из пластмассовых труб
- 2.4 ОСТ 153-39.3-051-2003. Техническая эксплуатация газораспределительных систем

3 Подъемные сооружения

- 3.1 РД 24.090.97-98. Оборудование подъемно-транспортное. Требования к изготовлению, ремонту и реконструкции металлоконструкций грузоподъемных кранов
- 3.2 ПБ 10-382-00. Правила устройства и безопасности эксплуатации грузоподъемных кранов

- 3.3 ПБ 10-611-03. Правила устройства и безопасной эксплуатации подъемников (вышек)
- 3.4 ПБ 10-518-02. Правила устройства и безопасной эксплуатации строительных подъемников
- 3.5 Правила устройства и безопасной эксплуатации фуникулеров (наклонных подъемников)
- 3.6 ПБ 10-157-97. Правила устройства и безопасной эксплуатации кранов – трубоукладчиков
- 3.7 РД 10-112-3-97. Методические указания по обследованию грузоподъемных машин с истекшим сроком службы
- 3.8 ПБ 10-77-94. Правила устройства и безопасной эксплуатации эскалаторов
- 3.9 ПБ 10-257-98. Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов-манипуляторов
- 3.10 СП 12-103-2002. Пути наземные рельсовые крановые

4 Оборудование нефтяной и газовой промышленности

- 4.1 РД 08-195-98. Инструкция по техническому диагностированию состояния передвижных установок для ремонта скважин
- 4.2 РД 153-39.4-124-02. Положение о порядке проведения технического освидетельствования и продления срока службы технологического оборудования НПС МН
- 4.3 ВСН 012-88. Строительство магистральных и промысловых трубопроводов. Контроль качества и приемка работ. Часть I
- 4.4 РД 26.260.16-2002. Экспертное техническое диагностирование сосудов и аппаратов, работающих под давлением на объектах добычи и переработки газа, газового конденсата и нефти в северных районах Российской Федерации и подземных газохранилищ
- 4.5 РД 39-12-1224-84. Технология неразрушающего контроля кронблоков и талевых блоков
- 4.6 ГОСТ 30767-2002. Оборудование для газлифтной эксплуатации скважин
- 4.7 РД 153-34.0-21.529-98. Методика обследования железобетонных резервуаров для хранения жидкого топлива

5 Оборудование металлургической промышленности

- 5.1 СП 53-101-98. Изготовление и контроль качества стальных строительных конструкций
- 5.2 РД 34 15.132-96. Сварка и контроль качества сварных соединений металлоконструкций зданий при сооружении промышленных объектов

5.3 СНиП 3.05.05-84. Технологическое оборудование и технологические трубопроводы

6 Оборудование взрывопожароопасных и химически опасных производств

6.1 ПБ 03-584-03. Правила проектирования, изготовления и приемки сосудов и аппаратов стальных сварных

6.2 ПБ 03-605-03. Правила устройства вертикальных цилиндрических стальных резервуаров

6.3 ПБ 03-576-03. Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением

6.4 РД 03-380-00. Инструкция по обследованию шаровых резервуаров и газгольдеров для хранения сжиженных газов под давлением

6.5 РД 09-24-98. Инструкция по проведению диагностирования технического состояния сосудов, трубопроводов и компрессоров промышленных аммиачных холодильных установок

6.6 ПБ 03-585-03. Правила устройства и безопасной эксплуатации технологических трубопроводов

6.7 РД 03-410-01. Инструкция по проведению комплексного технического освидетельствования изотермических резервуаров сжиженных газов

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9

ВИЗУАЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ ДЕФЕКТОВ ОСНОВНОГО МЕТАЛЛА

Цель работы: приобрести навыки по выявлению дефектов основного металла (в соответствии с РД 03–606–03).

Применяемые средства контроля: лупа; линейка.

Объекты: полуфабрикаты, заготовки, детали.

9.1. Краткие теоретические сведения

9.1.1. Дефекты основного металла

Под дефектом понимают каждое отдельное несоответствие продукции установленным в НТД требованиям. Если продукция имеет дефект, то это означает, что хотя бы один из показателей качества вышел за предельные значения, установленные НТД.

Дефекты могут быть обусловлены образованием несплошностей и структурных неоднородностей, отклонением размеров и физико-механических характеристик от номинальных значений, нарушениями формы и другими причинами. Независимо от типа дефектов, их разделяют, согласно ГОСТ 15467–79, на три вида:

- *критические*, когда, при наличии дефекта, использовать продукцию по назначению невозможно или недопустимо (небезопасно);
- *значительные*, оказывающие существенное влияние на использование продукции и на ее долговечность, но не являющиеся критическими;
- *малозначительные*, практически не влияющие на использование продукции по назначению и на ее долговечность.

В процессе изготовления металлические изделия проходят сложный технологический цикл. Он включает следующие основные операции: плавка, литье, обработка давлением, термическая обработка, соединение с другими деталями. Готовые изделия хранятся и эксплуатируются, при этом их параметры могут претерпевать изменения. В процессе технологических операций металл изделий изменяется.

Литье – это технологический процесс изготовления заготовок и изделий путем заполнения жидким металлом изложницы или формы с по-

следующим затвердеванием металла. Изложница – это форма простых геометрических очертаний обычно с малой конусностью. Отлитый в изложницу металл (слиток) является заготовкой для дальнейшей обработки давлением. Литейная форма имеет конфигурацию, приблизительно или даже точно (точное литье) повторяющую конфигурацию изделия. В ней получают заготовки, называемые отливками.

При рассмотрении дефектов литья к слитку и отливке подходят по-разному. Слиток подлежит дальнейшей обработке давлением, а отливка является почти готовым изделием. Такие дефекты отливки, как наросты, вмятины, корка, окалина, поверхностные включения, несоответствие размеров и конфигурации чертежу (вызываются сдвигом частей литейной формы, сдвигом стержней в форме, неполным заполнением формы металлом), обнаруживают при визуальном осмотре и обмерах. Для слитка все названные выше дефекты несущественны, так как поверхность слитка обычно механически обрабатывают, а точная форма слитка не имеет значения для дальнейшей обработки его давлением.

Термообработка может изменить или повредить материалы двумя способами – изменить уже существующие дефекты либо ввести новые дефекты. Поведение кристаллов и дефектов в них зависит от режима обработки.

Обработку металлов давлением осуществляют: свободной ковкой (ударным воздействием), прессованием (неударным воздействием), штамповкой (ковкой или прессованием в форму-штамп), высадкой (продавливанием металла через отверстие-оправку для получения прутка, проволоки), прокаткой (обжатием между вращающимися валками) и др. Обработка давлением позволяет получить металл требуемой формы, уплотняет его, измельчает структуру, улучшает механические свойства.

К дефектам слитка относят:

- горячие и холодные трещины;
- газовую пористость и усадочные раковины;
- неметаллические включения и оксидные пленки и др.

Дефекты литья при последующей обработке слитков давлением приводят к образованию расслоений, волосовин, раскрытию трещин при горячей деформации и другим дефектам.

При обработке давлением качественного металла могут образоваться дефекты, связанные только с технологией обработки металла давлением. К таким дефектам относят:

- закаты (складки);
- вмятины;
- риски;
- ковочные трещины и др.

В соответствии с общей классификацией дефекты в основном металле являются металлургическими дефектами, т. к. они возникают при литье и обработке давлением и относятся к металлургическим процессам.

Грубые дефекты выявляются визуально, а более мелкие – методами дефектоскопии. Не выявленные и не устраненные дефекты в основном металле могут открыться при сварке и привести к появлению новых дефектов в сварном шве.

9.2. Классификация дефектов основного металла

9.2.1. Дефекты поверхности, обусловленные качеством слитка и литой заготовки

Пузыри в поверхностных слоях металла – полости, имеющие в поперечном сечении округлую форму, а в продольном сечении форму капсулы, ориентированной перпендикулярно оси слитка. При выходе пузырей на поверхность слитка они имеют вид отверстий округлой формы.

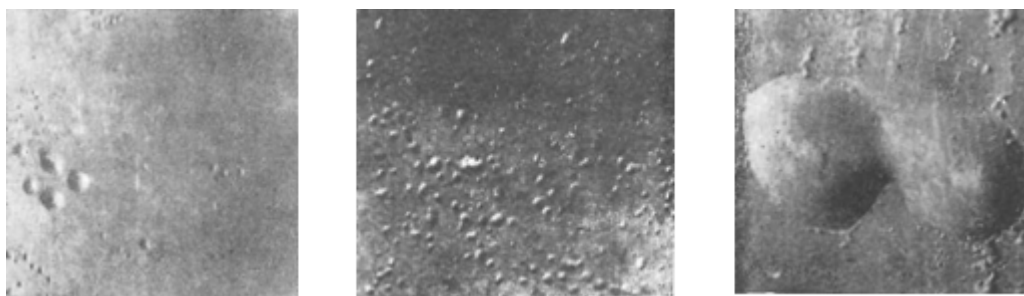
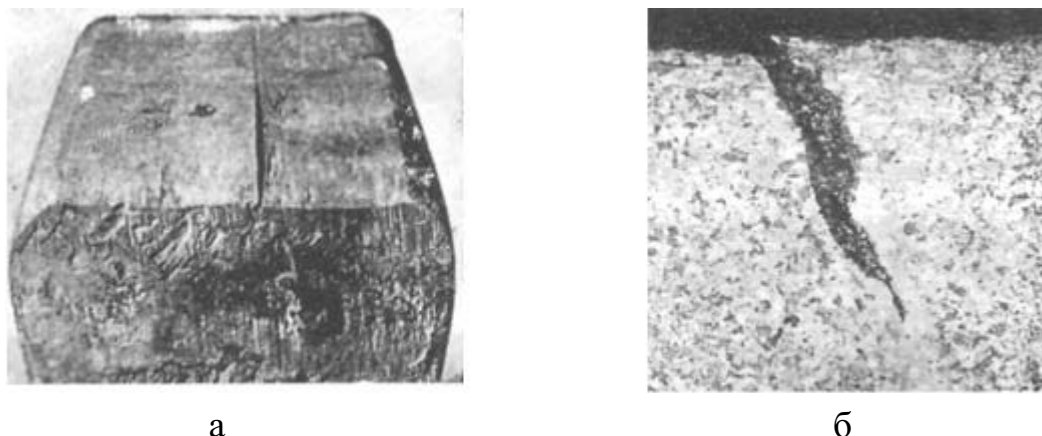


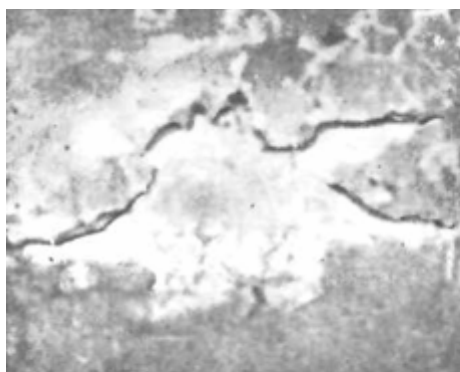
Рис. 9.1. Отдельные пузыри (вздутия) и скопления пузырей на поверхности



а

б

Рис. 9.2. Раскатанный подкорковый пузырь: а – разорвавшийся пузырь на поверхности горячекатаной заготовки; б – поперечное сечение пузыря



а



б

Рис. 9.3. Разорванный (вскрытый) пузырь: а – сильно загрязненный окислами алюминия; б – на поверхности толстого листа

Диаметр пузырей может достигать нескольких миллиметров, протяженность – более 10...12 мм. Располагаются дефекты, как правило, группами в корковом слое слитка (поверхностные пузыри) и под коркой (подкорковые пузыри). Нередки случаи выхода пузырей на поверхность слитка в виде отверстий округлой формы. Газовые пузыри могут располагаться группами по всей поверхности и высоте слитка и сопровождают, как правило, такие дефекты на поверхности слитка, как «сетка разгара», заворот корки, наплывы.

В сортовом прокате раскатанные поверхностные и подкорковые газовые пузыри имеют вид прямолинейных тонких продольных трещин с плотно сжатыми краями. Иногда эти дефекты называют волосовинами, но это неверно: раскатанные газовые пузыри отличаются от волосовин значительно большей протяженностью и раскрытием, а также часто большей глубиной, выявляемой при зачистке. В прутках раскатанные пузыри располагаются преимущественно группами; иногда могут встречаться отдельные раскатанные пузыри.

Меры предупреждения пузырей:

- применение шихты, легирующих добавок и шлакообразующих материалов с влажностью, не превышающей допустимую;
- соблюдение технологии разливки, тщательная подготовка составов и изложниц (применение высококачественных сухих сифонных припасов и чистых отремонтированных, сухих, правильно смазанных изложниц).

Предупреждение газовых пузырей в металле вакуумно-дугового переплава достигается улучшением качества электродов (уменьшением загрязненности неметаллическими включениями и газонасыщенности).

Завороты корки – завернувшиеся корки металла, окислившиеся заливнины и брызги, расположенные у поверхности слитков. В деформированном металле дефект представляет собой или разрывы, или частичное отслоение, образовавшееся в результате раскатки завернувшихся корок или брызг.

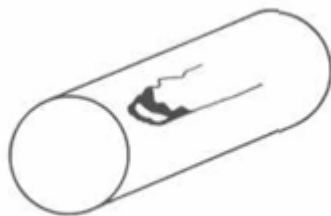


Рис. 9.4. Схематическое изображение заворота корки на деформированном прутке

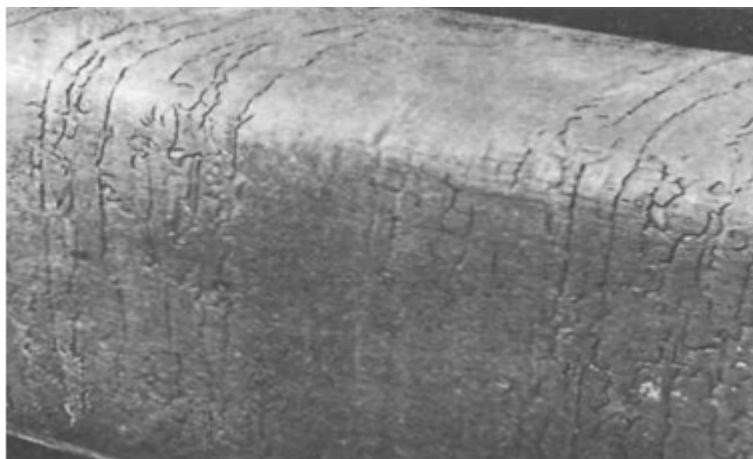


Рис. 9.5. Внешний вид слитка стали 12X18H10T с заворотами корки на поверхности

Может располагаться в любом месте по высоте слитка, но чаще встречается в его нижней части. Иногда дефект не единичный и поражает всю поверхность слитка или значительную ее часть.

С целью предупреждения образования дефектов необходимо разливать хорошо нагретый и раскисленный металл. Эффективное средство предупреждения дефекта – разливка под жидким синтетическим шлаком или шлакообразующими смесями и брикетами.

Загрязнения и волосовины – загрязнения поверхности слитков, прутков и других изделий неметаллическими включениями (шлаком, огнеупорами, утепляющими смесями, оксидами и др.).



Рис. 9.6. Схематичное изображение: а – загрязнений; б – волосовин



Рис. 9.7. Внешний вид прутков с грубыми раскатанными загрязнениями: а – пруток стали ШХ15; б – блюм стали 45

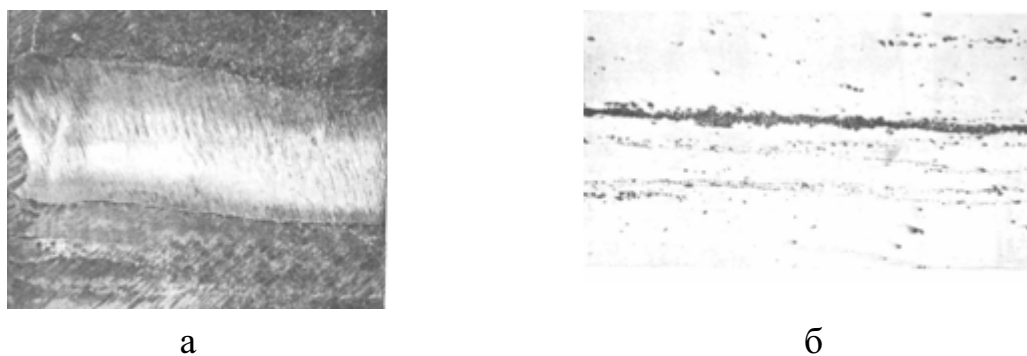


Рис. 9.8. Дефект: а – волосовины в местах зачистки сугунки из стали Х25Т; б – грубая волосовина в продольном микрошлифе стали 12Х18Н10Т

Загрязнения слитков на поверхности обнаруживаются при визуальном внешнем осмотре. Имеют вид пристывших или частично залитых металлом кусков или мелких частиц светло-серого, темно-серого или коричневого цвета. В макрошлифах слитков загрязнения имеют вид темных точек или пятен, расположенных скоплениями у поверхности. Мелкие загрязнения при деформации вытягиваются в нитевидные дефекты, называемые волосовинами. Волосовины выявляются на шлифованной или протравленной поверхности прутков и могут быть единичными или групповыми.

Если слитки поступают на передел в холодном состоянии, то загрязнения подлежат удалению; для этого производят вырубку, зачистку абразивами или обточку на станках их поверхности. Если же слитки поступают на передел в горячем состоянии без обработки поверхности, то загрязнения либо удаляются с окалиной, либо (при значительной глубине) проявляются на поверхности деформированного металла в виде продольных дефектов.

Трещины горячие (кристаллизационные) – извилистый окисленный разрыв металла, более широкий у поверхности и сужающийся в глубь, образовавшийся в период кристаллизации металла вследствие растягивающихся напряжений, превышающих прочность наружных слоев слитка.

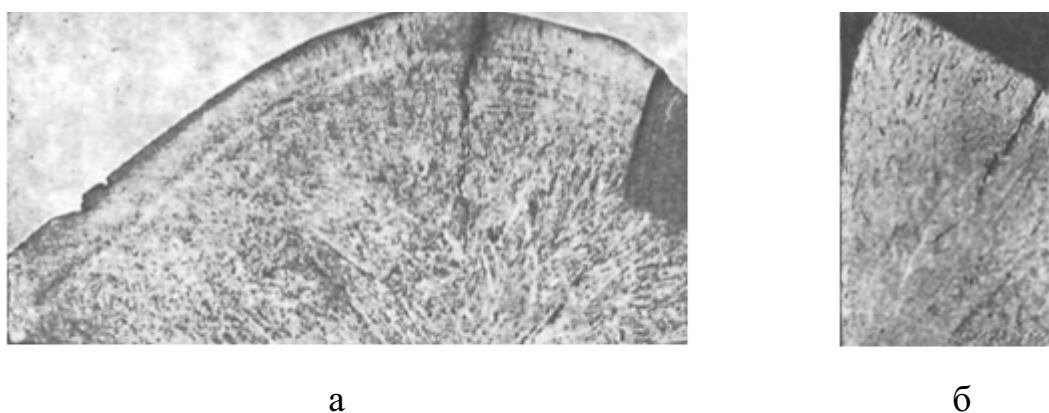


Рис. 9.9. Продольная угловая трещина в поперечном макрошлифе слитка стали 20: а – травление в 50%-м растворе соляной кислоты; б – травление в реактиве Обергоффера

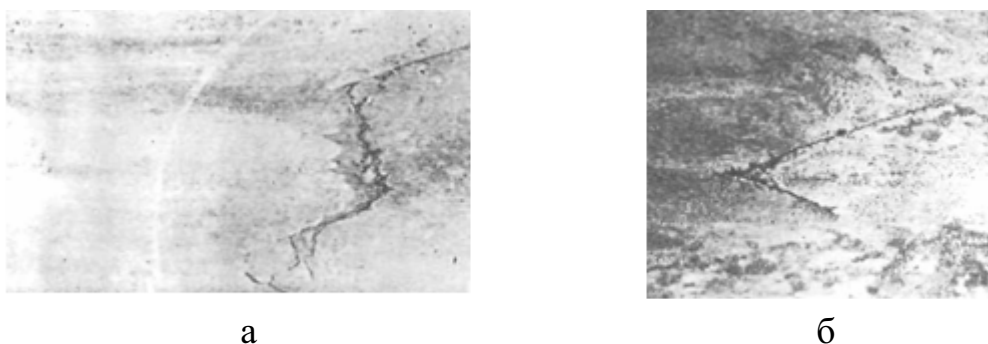


Рис. 9.10. Внешний вид раскатанных горячих трещин на прутках деформированного металла: а – поперечная трещина на блюме из стали 20; б – косая трещина на блюме из стали 20

Ширина раскрытых трещин на поверхности может достигать нескольких миллиметров, глубина – нескольких десятков миллиметров. Горячие трещины могут быть поперечными (трещины зависания) и продольными.

Раскатанные горячие трещины представляют собой разрывы металла, ориентированные вдоль оси проката, под углом к ней или перпендикулярно в зависимости от ориентации и формы исходного дефекта слитка.

Для предупреждения и устранения дефектов следует своевременно ремонтировать изложницы, тщательно подгонять к ним прибыльные надставки, применять оптимальные режимы температуры и скорости разливки металла, проводить разливку под слоем жидкого шлака.

9.2.2. Дефекты поверхности, образовавшиеся в процессе деформации

Задир поверхности основного металла-повреждение поверхности, вызванное удалением путем отрыва временного технологического крепления.

Дефект от вдавливания в слиток кернов клещей крана-углубления на блюмах и слябах, образовавшиеся от вдавливания острых кернов клещей крана в горячие слитки при их транспортировке.



Рис. 9.11. Внешний вид блюма с дефектом от вдавливания в слиток кернов клещей крана

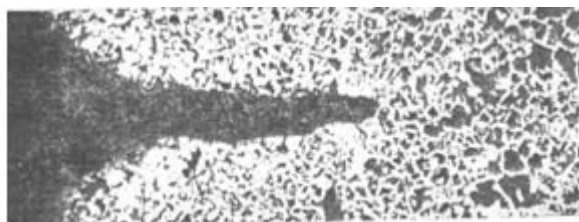


Рис. 9.12. Микроструктура дефекта от кернов клещей крана, шлиф протравлен в 4%-м спиртовом растворе азотной кислоты

По виду дефект напоминает единичную чечевицеобразную, широко открытую, сравнительно короткую трещину. Стенки дефекта гладкие, конец тупой, закругленный. Дефект наиболее часто встречается в блюмах и слябах малоуглеродистой стали.

Для предупреждения дефекта рекомендуется не применять сильно заостренных кернов.

Трещина напряжения – направленный в глубь металла разрыв, часто под прямым углом к поверхности, образовавшийся вследствие объемных изменений, связанных со структурными превращениями или с нагревом и охлаждением металла.



Рис. 9.13. Схемы трещин напряжения на прутках стали: а – единичная трещина; б – прерывистая продольная трещина

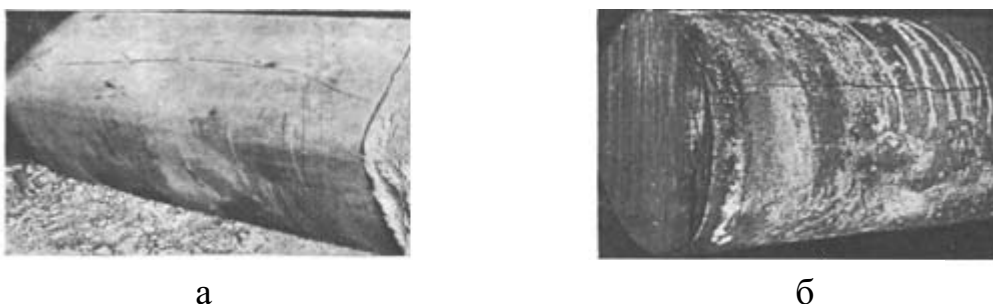


Рис. 9.14. Трещины напряжения на слитках стали 37ХНЗА: а – слиток обычной разливки; б – слиток электрошлакового переплава

Для предупреждения образования трещин напряжения при мартенситном превращении необходимо стали мартенситного класса после горячей механической обработки охлаждать в утепленных колодцах или ямах, передавать на термическую обработку выше температуры мартенситного превращения. При необходимости длительного вылеживания сталь следует подвергать предварительному смягчающему отжигу или отпуску.

Для предупреждения образования трещин при нагреве дисперсионно-твердеющих сталей и сплавов следует интервал температур выделения упрочняющей фазы проходить по возможности быстро, до температуры растворения фазы и рекристаллизации металла. Если из-за больших размеров изделий осуществить быстрый нагрев сложно, то не следует допускать низкой температуры окончания горячей деформации в целях предупреждения наклепа.

В сталях ферритного и феррито-мартенситного класса, главным образом высокохромистых, причиной возникновения трещин напряжения может быть выделение α -фазы в интервале температур 750...850 °С, как при

охлаждении, так и при нагреве. Наряду с изменениями объема, в этом случае происходит охрупчивание металла. Для предупреждения трещин необходимо избегать длительного пребывания стали при температурах выделения α -фазы и обеспечивать быстрое охлаждение ее от 850 °С.

Рванины – раскрытые разрывы, расположенные перпендикулярно или под углом к направлению наибольшей вытяжки металла.

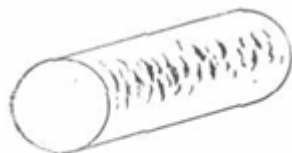


Рис. 9.15. Схема рванин на прутке стали

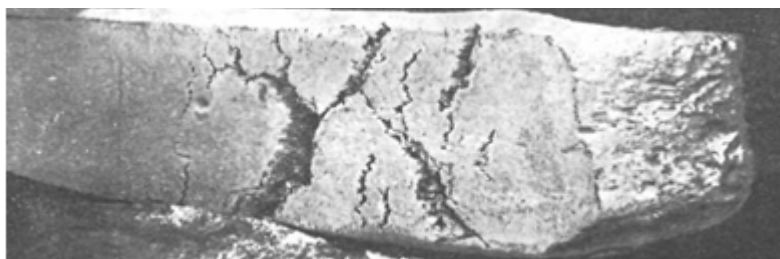


Рис. 9.16. Слиток с грубыми рванинами после первых обжатий при прокате



Рис. 9.17. Слиток сплава 20НГ с грубыми рванинами, образовавшимся при первых ударах молота

Дефект образуется при горячей деформации малопластичного металла. При резко пониженной пластичности металла возможно образование грубых рванин после первого обжатия в валках или при первых ударах молота при ковке.

В момент образования разрывы обычно тонкие, но последующая деформация приводит к их расширению.

Прокатные плены – отслоения металла языкообразной формы, соединенные с основным металлом и образованные вследствие раскатки или расковки рванин.



Рис. 9.18. Схематическое изображение прокатных плен на прутке

Особенно часто дефекты встречаются при перегреве или недогреве при деформации высоколегированных сталей и сплавов. Последние часто имеют низкую пластичность и требуют особенно строгого поддержания оптимальных режимов нагрева и деформации. Для предупреждения образования прокатных плен, заготовки с рванинами и другими дефектами подвергают тщательной зачистке.

Чешуйчатость – отслоения или разрывы в виде сетки, образовавшиеся при прокатке из-за перегрева (пережога) или пониженной пластичности металла периферийной зоны.

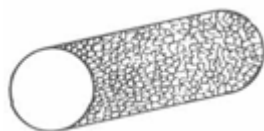


Рис. 9.19. Схематическое изображение чешуйчатости

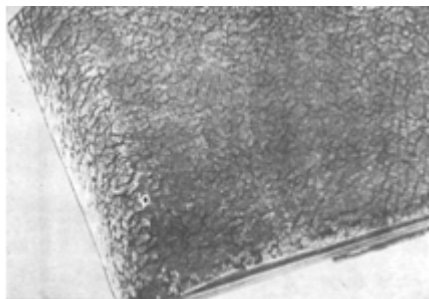


Рис. 9.20. Внешний вид заготовки с чешуйчатостью

Чешуйчатостью может быть покрыта вся поверхность проката или часть ее. Чешуйчатость встречается у низко- или среднеуглеродистых конструкционных сталей, в том числе легированных.

Мероприятия по предупреждению дефекта:

- соблюдение оптимальной температуры нагрева стали перед деформацией (не допуская перегрева и пережога поверхности);
- использование печных атмосфер, не содержащих высоких концентраций серы.

Прижоги – дефекты, образующиеся при локальном перегреве металла (шлифование, электрохимическое клеймение, спектральный анализ и др.), являющиеся структурными концентраторами напряжений, в зоне которых может возникнуть растрескивание.

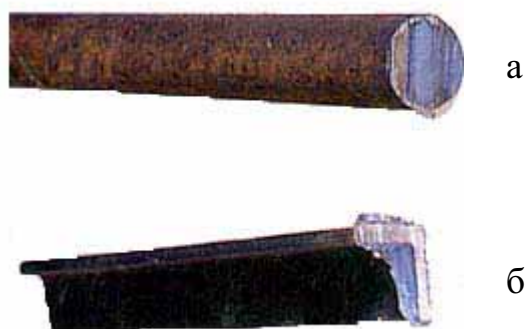


Рис. 9.21. Внешний вид прижогов

Ус – продольный выступ с одной стороны прутка или с двух диаметрально противоположных его сторон.



Рис. 9.22. Внешний вид и макроструктура прутка с усом

Дефект имеет значительную протяженность и обычно распространяется на всю длину прутка. Иногда дефект располагается на одном конце прутка. Микроструктура стали в зоне дефекта не изменяется. Прокат с усом обычно бракуют и лишь в редких случаях ус с заготовок удаляют зачисткой.

Меры по предупреждению дефекта:

- применение калибровки, гарантирующей от переполнения калибров;
- правильная настройка валков и валковой арматуры;
- подача металла в калибр по центру;
- использование калибров, не имеющих значительного износа;
- соблюдение температурного режима нагрева металла;
- установка проводок по центру (без смещения).

Подрез – продольное углубление по всей длине прутка или на отдельных участках его поверхности, образовавшееся из-за неправильной настройки валковой арматуры или одностороннего перекрытия калибра. Прокатный подрез может иметь волнистый или зазубренный край.

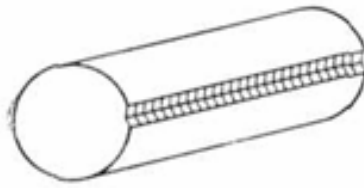


Рис. 9.23. Схематическое изображение подреза на прутке

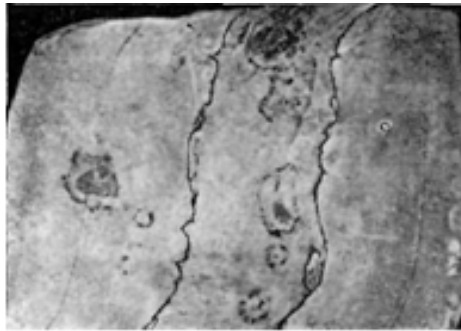


Рис. 9.24. Прикатанный подрез на заготовке



Рис. 9.25. Внешний вид прутка с подрезом

Прикатанный подрез может иметь волнистый или зазубренный край; возможны мелкие отслоения вдоль прутка.

Основные меры предупреждения: правильная настройка валков, валковой арматуры, а также устранение одностороннего перекрытия калибров.

Морщины – группа чередующихся продольных углублений и выступов.

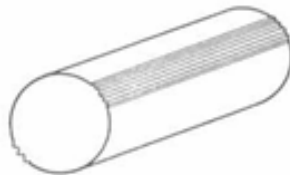


Рис. 9.26. Схематическое изображение прутка с морщинами



Рис. 9.27. Морщины на поверхности заготовки

Как правило, морщины располагаются по всей длине блюмов или прутков, преимущественно в зоне, соответствующей разъему валков. Глубина дефекта обычно не превышает 1,0 мм. Типичные признаки морщин в поперечных микрошлифах – полости с гладкими стенками и тупыми концами, частично заполненные окалиной. Степень обезуглероживания поверхности морщин обычно такая же, как и поверхности прутка.

Для предупреждения дефекта рекомендуется также избегать работы на сильно выработанных калибрах с наварями и не допускать вдавливания окалины в металл. При прокатке необходимо проверять поверхность промежуточных профилей.

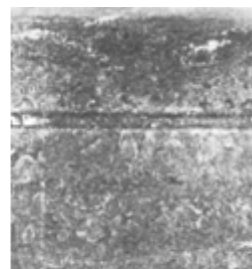
Риска – прямоугольное продольное углубление с закругленным или плоским дном, образовавшееся из-за царапания поверхности металла наварями и другими выступами.



Рис. 9.28. Схематическое изображение прутка с риской



а



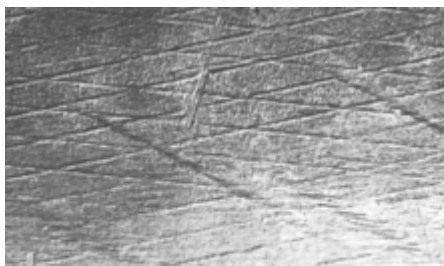
б

Рис. 9.29. Риски в прокатанных прутках: а – тонкая риска; б – широкая риска

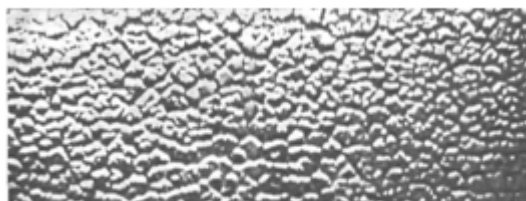
Риски могут быть тонкими и более широкими. Распространяются риски обычно вдоль всего прутка.

Риски образуются большей частью при прокатке низкоуглеродистой стали. Меры предупреждения – поддержание арматуры прокатных станков в хорошем состоянии (отсутствие наваров и других дефектов).

Отпечатки – углубления или выступы, расположенные по всей поверхности металла или на отдельных его участках.



а



б

Рис. 9.30. Отпечатки: а – на прутках от насечки в виде сетки на прокатных валках; б – на прутке от выработанных валков

Глубина или высота отпечатков, как правило, небольшая, и если отпечатки образуются на заготовке, то при последующих нагреве и деформации они обычно устраняются и металл приобретает гладкую поверхность. Единичные локальные отпечатки могут возникать при наличии на валках местных углублений, вызванных выработкой валков.

Меры предупреждения: наблюдение за состоянием валков и своевременная их замена.

Рябизна – углубление от вдавленной окалины, образовавшееся при ковке, прокатке или правке металла с толстым слоем окалины.

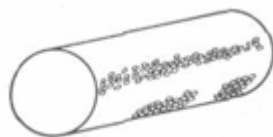


Рис. 9.31. Схематическое изображение прутка с рябизной

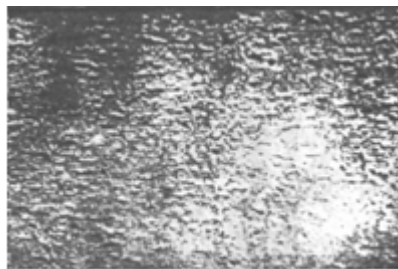


Рис. 9.32. Поверхность прутка с рябизной

Может занимать значительную поверхность, располагаясь преимущественно отдельными участками вдоль направления деформации. Выявляется после удаления окалины.

Рябизна образуется при деформации металла с окалиной, плотно прилегающей к металлу и не осыпающейся при первых обжатиях. При небольшой степени деформации часто наблюдается рябизна поверхности, связанная с вдавливанием окалины при первых обжатиях.

Меры предупреждения: получение рыхлой, легко осыпающейся окалины, более полное сбивание окалины при первом обжатии, и достаточная степень деформации для сглаживания неровностей, полученных при первых обжатиях.

Заусенец – острый в виде гребня выступ на конце прутка, образовавшийся при резке металла.



Рис. 9.33. Схематическое изображение заусенца

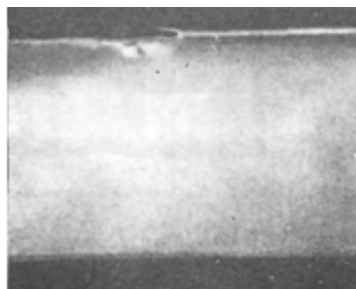


Рис. 9.34. Заусенцы от резки на холоднокатаной полосе

Заусенец может образоваться при резке в горячем и холодном состоянии, а также при рубке горячего металла.

Причина образования заусенцев при резке – неудовлетворительное состояние режущего инструмента (тупой режущий инструмент, слишком большой зазор между ножами, перекосы и др.). При рубке металла заусенцев избежать трудно.

Для предупреждения и уменьшения заусенцев необходимо поддерживать режущий инструмент в хорошем состоянии. В отдельных случаях заусенцы зачищают абразивами.

Раковины от вдавленной окалины – отдельные углубления, иногда частично вытянутые вдоль направления прокатки, образующиеся при выпадении и вытравливании вкатанной окалины.

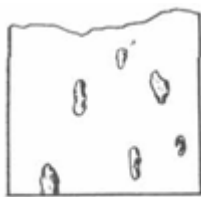


Рис. 9.35. Схематичное изображение раковин от вдавленной окалины

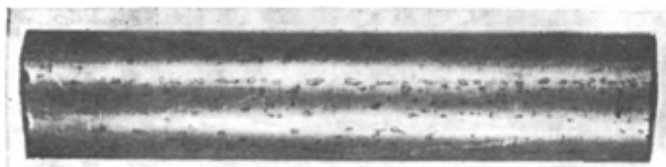


Рис. 9.36. Пруток с раковинами от окалины

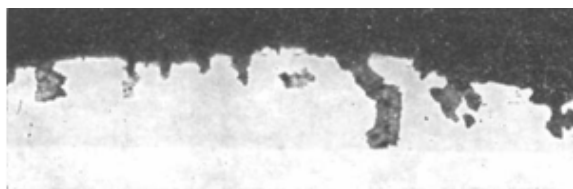


Рис. 9.37. Микрошлиф прутка с вдавленной окалиной

Дефект можно предупредить, улучшая условия сбивания окалины перед подачей металла в валки при горячей деформации.

Дефект образуется при горячей прокатке в том случае, если окалина плохо сбивается в первых проходах и вдавливается в металл при дальнейших проходах. При больших обжатиях окалина выкатывается, а при небольших может частично оставаться на поверхности прутков.

Вкатанный кусок металла – приварившийся кусок инородного металла к металлу основного материала.



Рис. 9.38. Пруток стали 40ХНМАШ с вкатанным инородным куском металла



Рис. 9.39. Макрошлиф прутка, показанного на рис. 9.38

9.2.3. Дефекты поверхности, образовавшиеся при отделочных операциях

Случайное оплавление основного металла в результате зажигания или гашения дуги – местное повреждение поверхности основного металла, примыкающего к сварному шву, возникшее в результате случайного и (или) преднамеренного возбуждения дуги вне разделки соединения.

Утонение металла – уменьшение толщины металла вследствие чрезмерного его удаления при обработке абразивным инструментом.

Остатки поджога от резки – темное пятно, отличающееся по травимости от основного металла, или углубление, частично заполненное расплавленным металлом и шлаком, образовавшиеся при резке на анодно-механических станках.



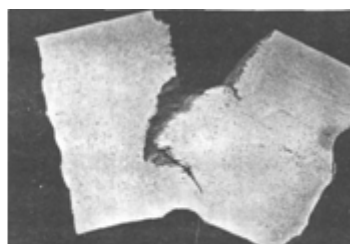
Рис. 9.40. Остатки поджога от резки (сплав ХН73МВТЮ)

Дефект следует удалять при изготовлении макрошлифа. Присутствие остатков поджога указывает на необходимость снятия более глубокого слоя при подготовке макрошлифа к травлению.

Дефект рубки металла – трещины или рваные вязкие изломы.



а



б

Рис. 9.41. Вырывы в центре прутка из стали 20, образовавшиеся при рубке:
а – излом; б – макрошлиф

Дефекты такого вида характерны для случая холодной резки металла с высокой твердостью в неотожженном состоянии.

Трещина шлифовочная – сетка паутинообразных разрывов или отдельных, произвольно направленных поверхностных разрывов, образо-

вавшихся при шлифовке металла. Очень тонкие, извилистые и проникающие в глубь металла зигзагами или ступеньками с ответвлениями.

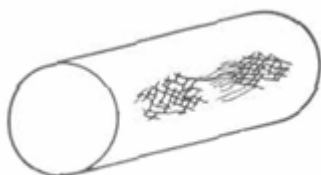


Рис. 9.42. Схема прутка стали с сеткой шлифовочных трещин



а



б

Рис. 9.43. Шлифовочные трещины: а – на сутунке сплава ХН68ВКТЮ (ЭИ578); б – на горячекатаной заготовке



Рис. 9.44. Микрошлиф сплава ХН68ВКТЮ с шлифовочной трещиной

Могут возникать при шлифовке слитков и деформированного металла. Имеют небольшую глубину (до 1–2 мм), но удалять их шлифованием обычно не удается, так как при шлифовании возникают новые трещины.

Микроанализ показывает, что шлифовочные трещины очень тонкие, извилистые и распространяются в глубь металла зигзагами или ступеньками с ответвлениями.

Наибольшей склонностью к образованию шлифовочных трещин обладают стали мартенситного и ферритного (высокохромистые и хромоалюминиевые) классов, а также дисперсионно-твердеющие сплавы.

Образование шлифовочных трещин связано со структурой металла и не связано со способом его выплавки. Причина их возникновения – местный разогрев металла, приводящий к локальному увеличению его объема. При последующем охлаждении объем локальных зон уменьша-

ется и при температуре ниже 100 °С, когда металл становится хрупким и происходит разрыв.

Для предупреждения образования шлифовочных трещин горячедеформированные стали мартенситного класса подвергают перед шлифовкой смягчающей термической обработке. Для сталей ферритного класса и дисперсионно-твердеющих сплавов применяют термическую обработку для уменьшения напряжений, а шлифовку осуществляют по умеренным режимам.

Трещины травильные – разрывы, образовавшиеся при травлении металла с внутренними напряжениями, вызванными структурными превращениями или деформацией.

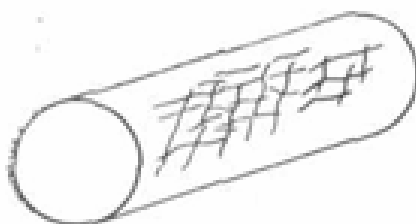


Рис. 9.45. Схема прутка стали с сеткой травильных трещин

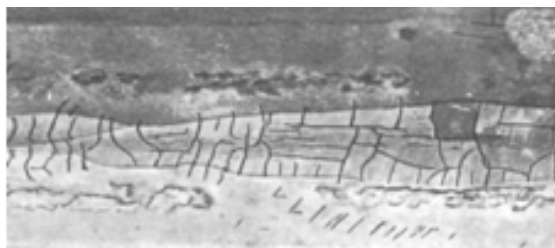


Рис. 9.46. Внешний вид прутка с травильными трещинами

Травильные трещины иногда образуют поверхностную сетку, подобную сетке шлифовочных трещин, но значительно более грубую.

Причина образования травильных трещин – насыщение напряженного металла водородом, выделяющимся при травлении.

Применение ингибиторов при травлении предупреждает образование травильных трещин, так как уменьшает интенсивность выделения водорода.

Перетрав – местное или общее разъедание поверхности металла при травлении.

Травление обычно осуществляют для удаления окалины, поэтому при трудном ее отделении (плотная окалина) приходится увеличивать время пребывания металла в ванне, что часто и приводит к перетраву поверхности на тех участках, с которых окалина сошла раньше.

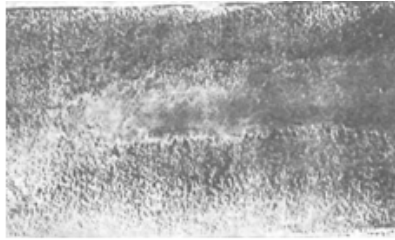


Рис. 9.47. Внешний вид прутка с перетравленной поверхностью

Другие причины – слишком высокая температура раствора; использование старых растворов кислот, обогащенных солями железа; недостаточное наблюдение за режимом травления.

Важный способ предупреждения перетравливания – разрыхление окалины перед травлением. Применение при травлении ингибиторов снижает опасность перетрава металла.

Остатки окалины – окалина, не удаленная с отдельных участков прутков.



Рис. 9.48. Схематическое изображение остатков окалины на прутке

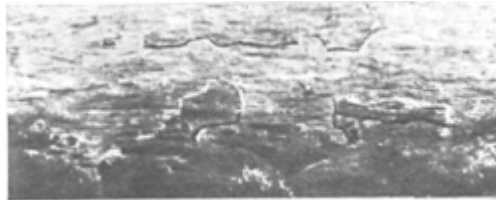


Рис. 9.49. Внешний вид прутка с остатками окалины

Обычно этот дефект встречается в тех случаях, если травлению подвергается металл с толстым слоем плотной окалины после отжига. Остатки окалины могут также наблюдаться, если при правке плотная окалина после отжига осыпается лишь частично.

Меры предупреждения:

- уменьшение продолжительности и температуры отжига, получение более рыхлой окалины;
- удаление окалины легкой правкой прутков с изгибом, но без сильного давления, при котором окалина может вдавливаться и создавать вмятины;
- удаление окалины путем равномерного стравливания в кислотах с применением ингибиторов.

Царапина – канавка неправильной формы и произвольного направления, образовавшаяся в результате механических повреждений, в том числе при складировании и транспортировке металла.

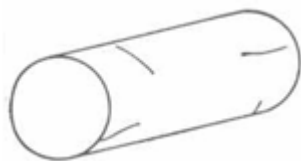
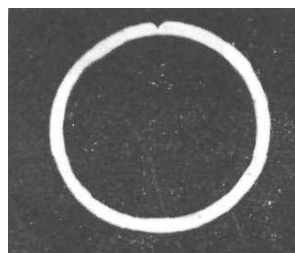


Рис. 9.50. Схематическое изображение царапин на прутке



а



б

Рис. 9.51. Царапина: а – внешний вид; б – поперечное сечение прямошовной трубы

Для предупреждения дефекта необходимо тщательно соблюдать правила транспортировки и складирования металла. При небольшой глубине царапину не считают браковочным признаком, но она портит внешний вид металла.

Форма и протяженность дефекта могут быть разнообразными. Дефект иногда может объединять несколько царапин.

9.3. Порядок выполнения работы

1. Изучите классификацию дефектов основного металла.
2. Обеспечьте условия проведения визуального и измерительного контроля поверхности основного металла (измерение освещённости и т. д.).
3. Проведите визуальный и измерительный контроль предложенных полуфабрикатов (заготовок, деталей).
4. Проведите оценку качества полуфабрикатов (заготовок, деталей).
5. Схематично изобразите выявленные дефекты.
6. Оформите отчёт.

Содержание отчёта

1. Название темы и цели работы.
2. Ответы на контрольные вопросы.
3. Выполненное задание.
4. Выводы о проделанной работе.

Контрольные вопросы и задания

1. Что такое дефект?
2. Какие дефекты основного металла можно отнести: а) к критическим; б) значительным; в) малозначительным?
3. Какие вы знаете виды технологических процессов, в результате которых могут образоваться дефекты металла?
4. Почему трещина является недопустимым дефектом?

Алфавитный указатель терминов

Термин	Рисунок №
Вкатанный кусок металла	9.38–9.39
Дефект рубки металла	9.41
Дефект от вдавливания в слиток кернов клещей крана	9.11–9.12
Заворот корки	9.4–9.5
Загрязнение и волосовина	9.6–9.8
Задир поверхности основного металла	–
Заусенец	9.33–9.34
Морщина	9.26–9.27
Остатки поджога от резки	9.40
Остатки окалины	9.48–9.49
Отпечатки	9.30
Перетрав	9.47
Подрез	9.23–9.25
Прижог	9.21
Прокатная плена	9.18
Пузырь	9.1–9.3
Раковина от вдавленной окалины	9.35–9.37
Рванина	9.15–9.17
Риска	9.28–9.29
Рябизна	9.31–9.32
Случайное оплавление основного металла	–
Трещина горячая	9.9–9.10
Трещина напряжения	9.13–9.14
Трещина травильная	9.45–9.46
Трещина шлифовочная	9.42–9.44
Ус	9.22
Утонение металла	–
Царапина	9.50–9.51
Чешуйчатость	9.19–9.20

Список литературы

1. РД 03–606–03. Инструкция по визуальному и измерительному контролю. – М.: «НТЦ» «Промышленная безопасность», 2003 (Инструкция). – 61 с.
2. Атлас дефектов стали: пер. с нем. – М.: Metallurgiya, 1979.
3. В.В. Ключев, Ф.Р. Соснин, В.Ф. Мужичкий, А.И. Маслов, А.А. Кеткович, Ю.А. Глазков. Визуальный и измерительный контроль, М.: РОНКТД, 1998.
4. Дефекты стали: справ. изд. / под ред. С.М. Новокшеновой. – М.: Metallurgiya, 1984.
5. СП 53-101–98. Изготовление и контроль качества стальных строительных конструкций.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 10

ОСМОТР И ВЫЯВЛЕНИЕ ДЕФЕКТОВ ИЗДЕЛИЙ С ПОМОЩЬЮ СМОТРОВОГО ПРИБОРА РВП-496

Цель работы: ознакомиться с принципом работы смотрового прибора РВП-496; выявить дефекты в изделии с помощью смотрового прибора РВП-496.

10.1. Краткие теоретические сведения

Назначение: прибор смотровой РВП-496 предназначен для осмотра и выявления дефектов (трещин, раковин, забоин, рисок и т. п.) на лопатках компрессора турбины, на внутренних деталях и сборочных единицах камеры сгорания двигателей.

Прибор рассчитан для эксплуатации в закрытых помещениях и под навесами при температуре воздуха $-30...+40$ °С и относительной влажности не более 75 %.

Технические данные

Фокусное расстояние окуляров, мм 31; 22,75

Глубина наблюдения, мм, не более 515

Величины линейного поля зрения и увеличения приведены в табл. 10.1.

Таблица 10.1

Расстояние от призмы прибора до плоскости предмета, мм	Увеличение с окуляром		Линейное поле зрения, мм
	$f' = 31$ мм	$f' = 22,75$ мм	
7	$2,4^x$	$3,3^x$	9
12	$1,7^x$	$2,3^x$	13

Питание прибора от сети переменного или постоянного тока напряжением, В 27

Габаритные размеры:

длина прибора при ввернутом окуляре с $f' = 31$ мм, не более 720

диаметр рабочей части, мм 0,5

Масса прибора с окулярами, кг, не более 0,5

10.2. Устройство и работа прибора

10.2.1. Оптическая схема

Оптическая схема представляет собой систему микроскопа и состоит из лампы 2 (рис. 10.1), широкоугольного объектива (линзы 3, 4), двух первых оборачивающих систем (линзы 5, 6), одной второй оборачивающей системы (линзы 7, 8, 9, 10), окуляра (линза 11) для прямолинейного наблюдения и окуляра (линза 13 с зеркалом 12) для наблюдения под углом 90° .

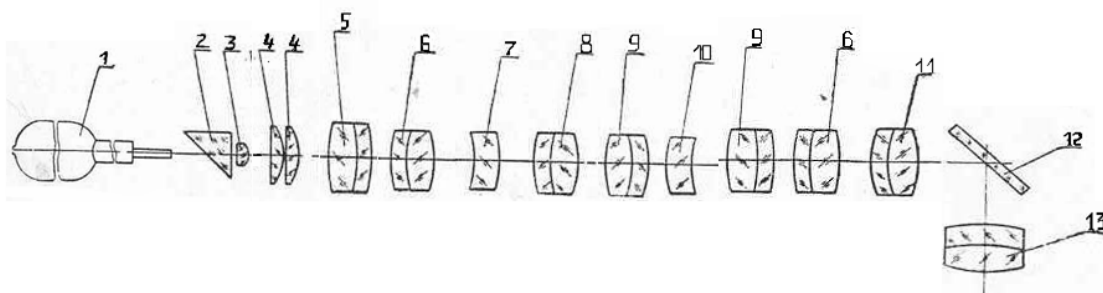


Рис. 10.1. Оптическая схема РВП-496: 1 – лампа; 2 – призма; 3, 4 – линзы объектива; 5, 6 – линзы первой оборачивающей системы; 7, 8, 9, 10 – линзы второй оборачивающей системы; 11, 13 – линзы сменных окуляров; 12 – зеркало

Первая и вторая оборачивающие системы установлены последовательно одна за другой.

Резкость изображения осматриваемой поверхности достигается перемещением окуляра вдоль оси.

Конструктивно прибор представляет собой неразборную трубу с оптикой.

Для освещения осматриваемого участка на рабочем конце прибора установлена лампа 5 (рис. 10.2) в колпачке 4. Питание к лампе поступает через электрошнур со штепсельной вилкой 2 и провода, проложенные в кожухе прибора.

На другом конце прибора ввертывают один из сменных окуляров.

Для удобства осмотра в труднодоступных местах в окуляре 13 предусмотрен переходник 8, позволяющий вести осмотр под углом 90° к оси прибора.

Вблизи окуляра, на наружной поверхности трубы, расположен барабан 7, который находится в резьбовом зацеплении с ползунком 12. При повороте барабана ползунок перемещается вдоль оси прибора и через жестко закрепленный с ним тросик 11 поворачивает призму в оправе 6, что позволяет, не изменяя положения прибора, увеличить зону наблюдения. Поворот призмы осуществляется в пределах $\pm 15^\circ$.

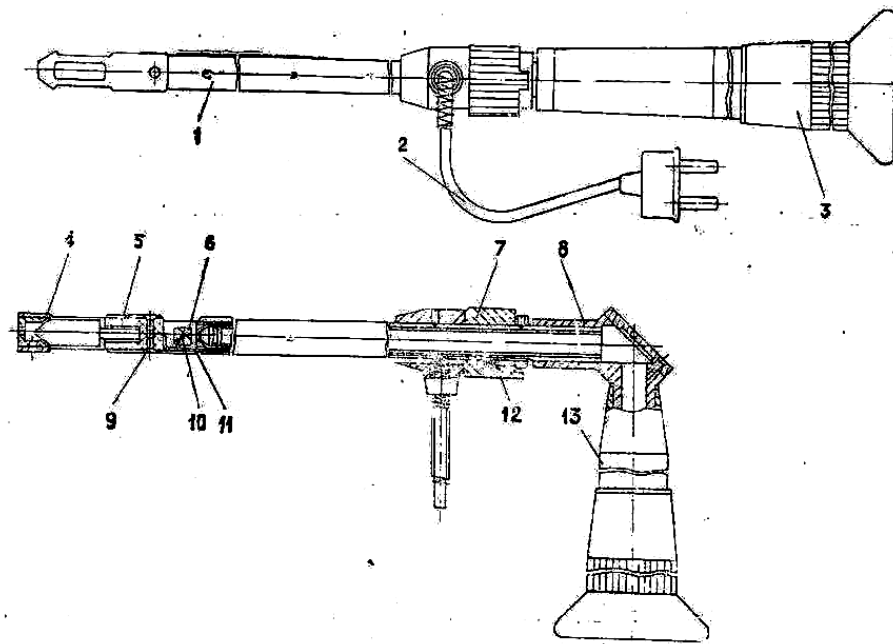


Рис. 10.2. Прибор смотровой РВП-496: 1 – труба с оптикой; 2 – электрошнур со штепсельной вилкой; 3, 13 – окуляры сменные; 4 – колпачок; 5 – лампа; 6 – призма в оправе; 7 – барабан; 8 – переходник; 9 – винт для крепления колпачка; 10 – ось; 11 – тросик; 12 – ползунок

10.3. Общие указания

Смотровой прибор РВП-496 требует тщательного ухода, правильного хранения и аккуратного обращения в процессе эксплуатации. Вскрыв ящик, осмотрите прибор и его составные части. Проверьте комплект поставки по паспорту. Выньте осторожно составные части прибора из укладочного ящика. Удалите с поверхностей деталей смазку.

10.4. Подготовка и порядок выполнения работы

Осторожно выньте прибор из ящика. С трубы прибора и окуляров снимите колпачки. Если это необходимо, почистите наружные поверхности оптических деталей. К трубе присоедините наружный окуляр, затем подключите прибор к источнику питания. Прибор готов для осмотра деталей.

Осторожно вводите прибор в канал осматриваемой детали. Продвигая его вперед, осмотрите внутреннюю поверхность детали.

Эксплуатируйте прибор в режиме: 45 мин – работа, не менее 15 мин – перерыв. Напряжение, подаваемое на лампу, не должно превышать 27 В.

Для повышения ресурса лампы рекомендуется снижать напряжение питания до 24 В.

Окончив работу, протрите прибор хлопчатобумажной тканью, на трубу и окуляр наденьте колпачки, аккуратно уложите в ящик и закрепите.

10.5. Правила хранения

Перед укладкой в ящик прибор со всем комплектом тщательно вычистите. Пыль с наружных поверхностей оптических деталей сдувайте струей воздуха или смахивайте беличьей кисточкой легкими движениями. Грязь удаляйте салфеткой, слегка смоченной в спиртово-эфирной смеси.

Храните прибор в укладочном ящике со всем комплектом на стеллажах в сухом отапливаемом помещении, в котором не должно быть кислот, щелочей и т. п. веществ. Температура в помещении должна быть не ниже + 5 и не выше + 25 °С при относительной влажности не более 80 %.

При длительном хранении прибора все неокрашенные металлические части смажьте смазкой ГОИ-54п ГОСТ 3276.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомьтесь с конструкцией и работой прибора.
2. Проведите исследования предлагаемого объекта на наличие дефектов.
3. Подготовьте отчет.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Применяемые материалы и оборудование.
3. Порядок выполнения работы.
4. Результаты работы (эскиз и т. д.).
5. Вывод о проделанной работе.

Контрольные вопросы и задания

1. Каково назначение смотрового прибора РВП-496?
2. Опишите устройство оптической схемы прибора.
3. Каковы особенности режима эксплуатации прибора?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 11

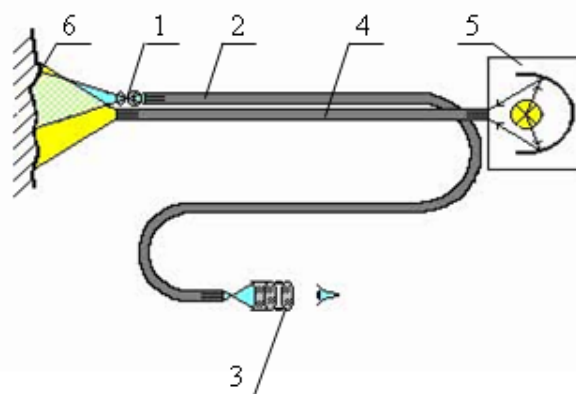
УСТРОЙСТВО ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО ЭНДСКОПА

Настоящая лабораторная работа подготовлена Учебно-научным центром Компании «СМТ», производящей технические эндоскопы, и внедрена в учебный процесс кафедры ФМПК ТПУ

Цель работы: ознакомиться с устройством и работой волоконно-оптического эндоскопа СМТ1-К13-1500М («Кобра») по лабораторному макету.

11.1. Оптическая схема эндоскопа

Оптическая схема эндоскопа «Кобра», представленная на рис. 11.1, выполнена в виде волоконно-оптического тракта передачи изображения, включающего в себя микрообъектив 1 (с углом обзора 50°), волоконно-оптический жгут передачи изображения 2 (регулярный жгут) и трёхлинзовый 15-кратный окуляр 3. Линзы микрообъектива и окуляра выполнены с просветлением.



*Рис. 11.1. Оптическая и осветительная схемы эндоскопа «Кобра»:
1 – микрообъектив; 2 – жгут передачи изображения; 3 – окуляр; 4 – жгут передачи освещения; 5 – осветитель; 6 – объект контроля*

Разрешающая способность волоконно-оптического жгута составляет 45 лин/мм.

Индивидуальная для наблюдателя настройка на резкость в диапазоне ± 5 диоптрий осуществляется перемещением окуляра 3 вдоль его оси относительно выходного торца волоконно-оптического жгута.

11.2. Осветительная схема эндоскопа

Осветительная схема, показанная на рис. 11.1, выполнена в виде волоконно-оптического тракта передачи освещения, состоящего из нерегулярного волоконно-оптического жгута 4, который передаёт «холодный» свет от осветителя 5 к объекту контроля 6 (что исключает помещение лампы в объект контроля). Осветитель выполнен на основе галогенной лампы мощностью 100 Вт.

Наряду с осветителями на основе галогенных ламп в эндоскопии используются металлогалоидные и ксеноновые лампы. Ниже приведены их преимущества и недостатки.

Основное преимущество галогенных осветителей – дешевизна. Недостатки: высокое энергопотребление при относительно невысоком световом потоке, малый срок службы лампы (порядка 50 ч) и смещенный в желтую область спектр. Они находят наибольшее применение.

В металлогалоидных осветителях в основном используются лампы 24 Вт. Они значительно дороже галогенных, однако обладают рядом достоинств: низкое энергопотребление при световом потоке, сравнимом с галогенной лампой 200 Вт; длительный срок службы – 600–800 ч; спектр, приближенный к естественному белому свету. Недостаток: требует громоздкую схему для стабилизации дуги горения.

Ксеноновые осветители – наиболее мощные осветительные системы, но и самые дорогие. Они находят небольшое применение.

11.3. Конструкция эндоскопа

Конструкция эндоскопа в целом показана на рис. 11.2.

Эндоскоп содержит видеотрубку 1, укрепленную на изгибаемом (с памятью формы изгиба) патрубке 2. Видеотрубка 1 оптически связана посредством волоконно-оптического жгута (проходящего через корпус 3 и гибкую оболочку 4) с микрообъективом, установленным на изгибаемом конце 13 оболочки 4. Оболочка 4 с изгибаемым концом 13 является рабочей частью эндоскопа. Управление изгибом конца рабочей части производится путём нажатия на курок 5, вмонтированный в рукоятку эндоскопа. Курок управления 5 фиксируется поворотом по часовой стрелке флажка 9, установленного на рукоятке. На боковой поверхности курка имеется круглая метка чёрного цвета, положение которой непосредственно у входа курка в рукоятку соответствует прямому неизогнутому состоянию изгибаемого конца рабочей части эндоскопа. Рабочая часть 4 представляет собой композиционную оболочку с резиновым покрытием.

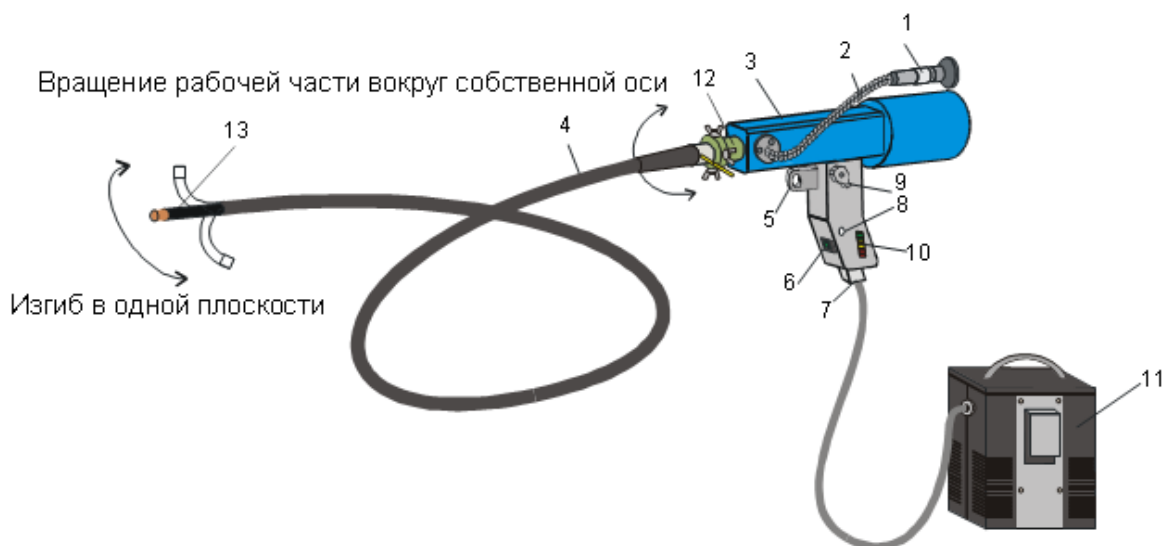


Рис. 11.2. Конструкция эндоскопа: 1 – видеотрубка, 2 – патрубок, 3 – корпус, 4 – гибкая оболочка рабочей части эндоскопа, 5 – курок, 6 – выключатель, 7 – разъём, 8 – сигнальная лампа индикатора разряда аккумуляторной батареи, 9 – флажок фиксатора курка, 10 – линейный индикатор разряда аккумуляторной батареи, 11 – аккумуляторная батарея, 12 – узел поворота рабочей части вокруг её оси, 13 – изгибаемый конец рабочей части

Рабочая часть 4 выполнена с возможностью поворота вокруг своей оси на угол $\pm 90^\circ$, для чего служит узел 12, соединяющий рабочую часть 4 с корпусом 3 эндоскопа.

Подсветка наблюдаемого объекта осуществляется волоконно-оптическим жгутом от осветительного блока цилиндрической формы, установленного на тыльной части корпуса эндоскопа. Осветительный блок выполнен на основе галогенной лампы, охлаждаемой вентилятором.

В рукоятке эндоскопа имеется разъём 7 для подключения кабеля питания от аккумуляторной батареи 11, а также выключатель 6. На рукоятке также размещена сигнальная лампа 8 индикатора разряда аккумуляторной батареи 11. В рукоятке смонтирован зуммер, который служит для звуковой сигнализации о разряде аккумуляторной батареи. Степень разряда аккумулятора можно оценить по линейному индикатору 10, представляющему собой линейку из десяти светодиодов.

11.3.1. Конструкция отдельных узлов

Для дальнейшего ознакомления с материалом лабораторной работы рекомендуется сверяться с макетом, который представляет собой модель эндоскопа СМТ1-К13-1500М в разрезе.

Видеотрубка показана на рис. 11.3.

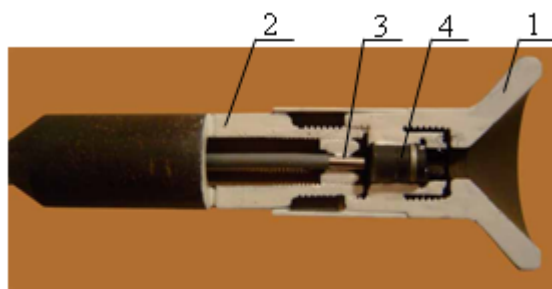


Рис. 11.3. Конструкция видеотрубки: 1 – наглазник окуляра; 2 – корпус; 3 – волоконно-оптический жгут, 4 – окуляр

Видеотрубка состоит из наглазника окуляра 1, навинченного на корпус 2. Корпус 2 крепится на изгибаемом (с памятью формы изгиба) патрубке (на рисунке не показан). В корпусе укреплен выходной конец волоконно-оптического жгута 3, передающего изображение наблюдаемого объекта.

В наглазнике окуляра 1 установлен трёхлинзовый 15-кратный окуляр 4, который служит для наблюдения изображения с выходного конца жгута. Для настройки на резкость наглазник окуляра 1 вращают вокруг своей оси относительно корпуса 2.

Патрубок 3 позволяет установить видеотрубку в удобное для оператора положение для наблюдения или при укладке эндоскопа в ящик для хранения или переноски.

Корпус и рабочая часть эндоскопа показаны на рис. 11.4.

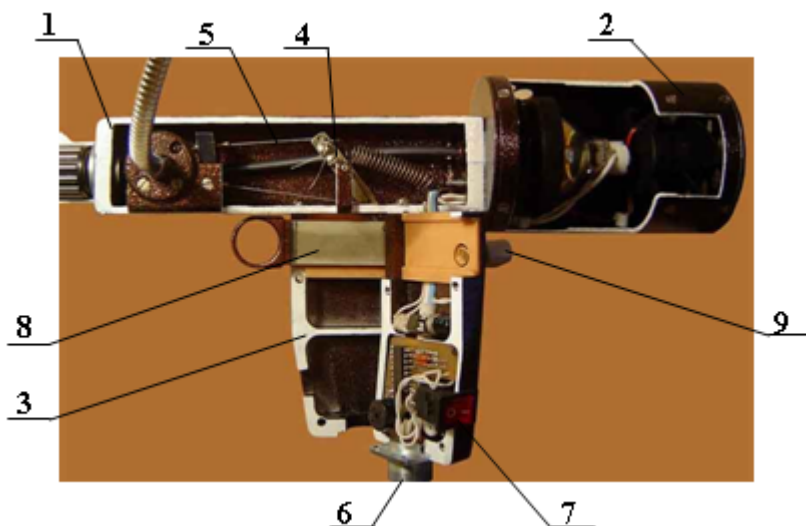


Рис. 11.4. Корпус эндоскопа в разрезе. 1 – корпус; 2 – осветительный блок; 3 – рукоятка эндоскопа; 4 – рычаг; 5 – стальные тросы; 6 – разъём; 7 – выключатель; 8 – курок; 9 – фиксатор

Корпус 1 с осветительным блоком 2 и рукоятка эндоскопа 3 выполнены из дюралюминия и окрашены полиэфирной порошковой краской.

Механизм управления изгибаемым концом, размещённый в корпусе 1 и рукоятке 3, представляет собой систему из подпружиненного рычага 4 и стальных тросов 5.

На рукоятке размещены: разъём 6 для подключения кабеля аккумуляторного блока, выключатель 7, сигнальная лампа 8 (см. рис. 11.2) индикатора разряда аккумуляторной батареи, линейный светоиндикатор 10 (см. рис. 11.2) разряда аккумуляторной батареи, а также курок 8 управления изгибом конца рабочей части эндоскопа с фиксатором 9.

Оболочка рабочей части эндоскопа выполнена композиционной и состоит из внутренней витой пружины стальной ленты, бронированной металлической оболочки и резинового покрытия.

Конструкция оболочки рабочей части эндоскопа позволяет исключить её деформацию при многократных изгибах, внешних механических, химических и температурных (до 1 000 °С) воздействиях, а также противостоять проникновению внутрь оболочки влаги и масел.

Соединение рабочей части 1 и корпуса 2 эндоскопа выполнено в виде узла 12 (см. рис. 11.2) на основе игольчатого подшипника 3 и винта-фиксатора 4. Конструкция узла поворота рабочей части показана на рис. 11.5. Ослабив винт-фиксатор 4, рабочую часть 1 поворачивают с помощью рычага 5 вокруг оси рабочей части в диапазоне углов $\pm 90^\circ$.

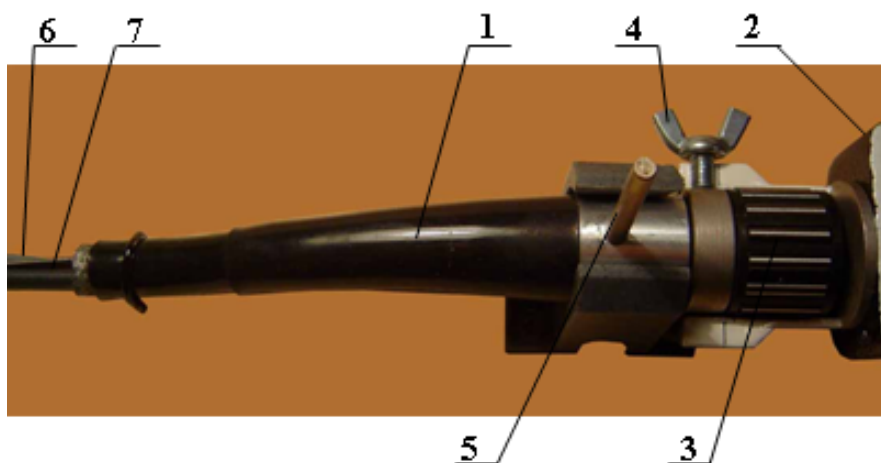


Рис. 11.5. Узел поворота рабочей части вокруг её оси: 1 – рабочая часть; 2 – корпус эндоскопа; 3 – игольчатый подшипник; 4 – винт-фиксатор; 5 – рычаг поворота рабочей части, 6 – жгут изображения, 7 – жгут подсветки

Внутри оболочки рабочей части проходят волоконно-оптические жгуты изображения 6 и подсветки 7, а также размещённые в стальных

спиральных оболочках тросы механизма управления изгибаемым концом. Материалы элементов и узлов корпуса, рукоятки и рабочей части не подвержены воздействию влаги.

На изгибаемом конце, показанном на рис. 11.6, размещены концы жгутов подсветки 1 и изображения 2, на торце жгута изображения размещён микрообъектив 3. Микрообъектив 3 и концы жгутов 1 и 2 защищены от воздействий внешних факторов металлической оболочкой 4 с защитными стеклами 5.

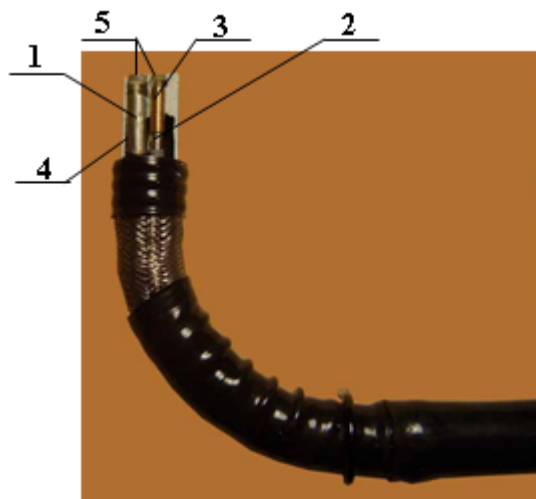


Рис. 11.6. Изгибаемый конец рабочей части: 1 – конец жгута подсветки, 2 – конец жгута изображения, 3 – микрообъектив, 4 – металлическая оболочка объективной головки, 5 – защитные стёкла

11.6. Схема электрического питания эндоскопа

Питание эндоскопа осуществляется от аккумуляторной батареи GB1 (поз. 11, на рис. 11.2). Эндоскоп подключается к аккумуляторной батарее посредством соединения кабельной розетки XS1 в составе аккумуляторной батареи к блочной вилке XP1, установленной на рукоятке эндоскопа. Замыканием выключателя SA1 (поз. 6, рис. 11.2) питающее напряжение подается на галогенную лампу осветителя LE1 и через диодный мост VD1...VD4 на двигатель M1 вентилятора охлаждения осветительной лампы. Кроме того, питание подается на схему индикации разряда аккумуляторной батареи A1. Схема индикации разряда аккумуляторной батареи, выполнена на основе микросхемы линейного индикатора напряжения LM3914. Внешние цепи R1...R6 выбраны такими, что при напряжении питания более 11,8 В все светодиоды HL1...HL10 светятся. (HL1...HL3 имеют красный цвет свечения, HL4...HL7 – желтый, HL8...HL10 – зеленый.) По мере уменьшения питающего напряжения

светодиоды последовательно, начиная с HL10, гаснут. Когда напряжение на аккумуляторе достигнет значения около 9,4 В, гаснут все светодиоды линейки HL1...HL10, в результате запирается транзистор VT1 и через открывшийся транзистор VT2 замыкается цепь питания зуммера HA1 и включенного последовательно с ним мигающего светодиода HL11. Прерывистый писк зуммера, сопровождаемый вспышками светодиода HL11, предупреждает оператора, что аккумуляторная батарея полностью разряжена и дальнейший ее разряд приведет к неприемлемому ухудшению её характеристик. Во избежание переразряда аккумуляторной батареи, необходимо выключить осветитель, отсоединить аккумуляторную батарею от эндоскопа и зарядить ее.

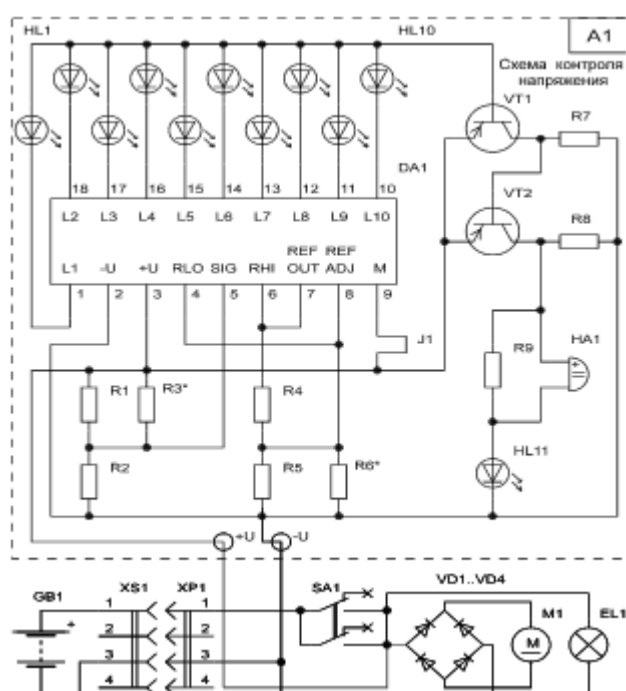


Рис. 11.7. Электрическая схема источника питания

Особо следует оговорить недопустимость питания эндоскопа от источников, имеющих импульсный характер выходного напряжения. К таким устройствам относятся некоторые зарядные устройства и источники питания. В этом случае под выходным напряжением понимается эффективное или среднее значение импульсного напряжения, тогда как выходные импульсы могут иметь очень большую величину, способную разрушить схему индикации и микросхему, встроенную в двигатель вентилятора M1.

Аккумуляторная батарея «Кедр-7» показана на рис. 11.8.

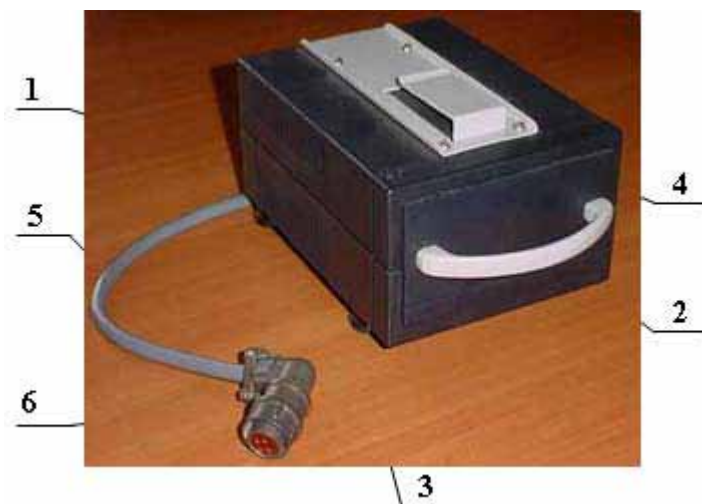


Рис. 11.8. Аккумуляторная батарея «Кедр-7»: 1 – корпус, 2 – ручка, 3 – ножки, 4 – крючок, 5 – кабель, 6 – кабельная розетка

Аккумуляторная батарея «Кедр-7» представляет собой герметичную кислотную аккумуляторную батарею 7,2 А·ч, заключенную в пластмассовый корпус 1. Батареи этой серии имеют герметичную конструкцию, а используемый в них электролит имеет желеобразную консистенцию. Газ, образующийся в результате электролиза воды полностью рекомбинируется. Такая конструкция обеспечивает безопасное использование батарей в любом положении, исключая утечки электролита и снижение электрической емкости. Выходное напряжение – под нагрузкой около 12 В. В процессе заряда и хранения батарея устанавливается на ножках 3. При работе батарея закрепляется на пояском ремне оператора при помощи крючка 4. Для переноски батареи служит ручка 2, закрепленная на передней панели корпуса.

Для подключения к зарядному устройству или к эндоскопу из аккумуляторной батареи выведен кабель 5, на конце которого установлена кабельная розетка 6.

Время разряда батареи и действительная емкость сильно зависят от разрядного тока. Кроме того, действительная емкость батареи сильно зависит от окружающей температуры. Так, при $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ и среднем разрядном токе 8,4 А действительная емкость составляет менее 35 % от номинальной.

К основным факторам, влияющим на сокращение срока эксплуатации батарей и снижение их реальной емкости, относятся:

- 1) глубокий разряд. Так, 10 полных глубоких (до нуля) циклов разряда батареи уменьшают ее действительную емкость до 80 % от номинальной. В то же время использование батареи в режиме частичного разряда, по сравнению с нормальным полным разрядом (до 10 В), способно значительно увеличить количество возможных циклов использования;

- 2) высокий зарядный ток и напряжение. Несмотря на то, что начальный зарядный ток допускается на уровне 1,5 С (10,8 А), заряд таким током сопряжён с риском повреждения батареи. Слишком высокий зарядный ток (напряжение), действующий на протяжении длительного времени (более 15 минут), способствует не только сокращению службы батареи, но и её разрушению за счет выделяемого тепла. Поэтому при заряде важно обеспечить хорошие условия вентиляции батареи;
- 3) высокая температура окружающей среды. Очень важный фактор, влияющий на срок службы батареи. К примеру, увеличение температуры, при которой эксплуатируется батарея, с 20 °С до 40 °С, сокращает срок ее службы в 2,5 раза;
- 4) высокое значение перезаряда батарей. Батареи после заряда до номинальной ёмкости способны выдерживать перезаряд малым (0,05 С и менее) током в течение 6...10 часов. При этом достигнутая ёмкость может составлять до 120 % от номинальной. Однако такой режим способствует снижению их срока службы. При этом снижение срока службы тем больше, чем больше значение зарядного тока и время перезаряда. При перезаряде большими токами возможно даже разрушение батареи. Поэтому важно вовремя прекратить заряд батареи по достижении заданной степени заряда.

Зарядное устройство «КЕДР-АВТО» представлено на рис. 11.9.



Рис. 11.9. Зарядное устройство «КЕДР-АВТО»: 1 – корпус; 2 – ножки; 3 – кабельная вилка; 4 – вилка сетевого шнура сети 220 В, 50 Гц; 5 – стрелочный индикатор тока (амперметр); 6 – кнопка режима «АВТОМАТ»; 7 – кнопка режима «ЦИКЛ»; 8 – световой индикатор

Использование зарядного устройства для заряда аккумуляторных батарей эндоскопа имеет ряд особенностей, которые изложены ниже.

Зарядное устройство «КЕДР-АВТО» реализует режим заряда с постоянным зарядным напряжением. При этом напряжение, прикладываемое к бата-

рее, является пульсирующим, с периодом, равным половине периода сетевого напряжения. Значение напряжения установлено таким, что заряд осуществляется только в части указанного периода, в течение которого это напряжение превышает напряжение на батарее. Таким образом обеспечивается режим, при котором происходит плавное автоматическое уменьшение зарядного тока в процессе заряда батареи. Следует отметить, что это напряжение не стабилизируется. Поэтому наблюдается некоторая зависимость зарядного тока, а следовательно, и времени заряда от напряжения в сети.

Зарядное устройство автоматически прекращает заряд при достижении заданного напряжения на батарее.

Зарядное устройство «КЕДР-АВТО» обеспечивает ускоренный режим заряда полностью разряженной (до 10 В) батареи при компромиссном значении начального тока, равном 3–4 А. При этом через 1–2 часа (в зависимости от степени разряда батареи и напряжения в сети) значение зарядного тока уменьшается до величины около 2 А и продолжает уменьшаться к концу заряда до 1 А и менее. Такой режим исключает сколь угодно значительный нагрев батареи при заряде и сокращает время заряда полностью разряженной батареи до 3–6 часов. При этом следует учесть, что при повышенном напряжении в сети заряд выполняется быстрее, но зарядное устройство прекращает заряд при меньшем значении накопленного заряда. В любом случае при автоматическом отключении обеспечивается степень заряда не менее 85 % от номинальной емкости.

Преобразователь «КЕДР» 220 В – 12 В (сетевой адаптер), показанный на рис. 11.9, представляет собой конструкцию, выполненную на основе электронного трансформатора (фирмы *Taschibra®*), заключенного в пластмассовый корпус 1.

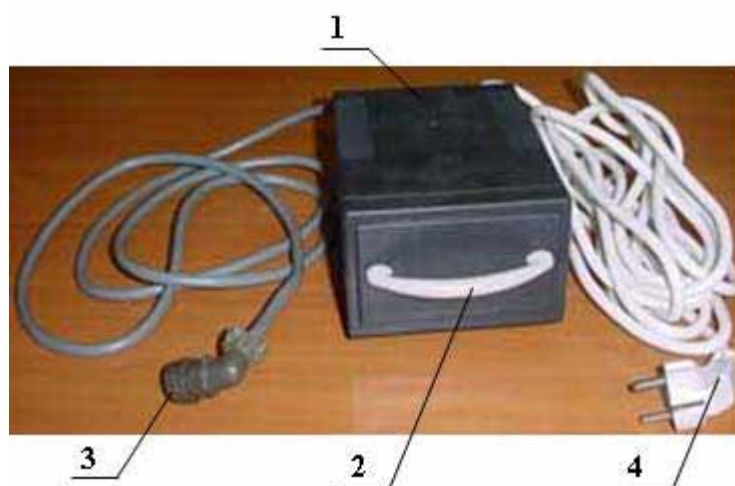


Рис. 11.9. Преобразователь «КЕДР» 220 В – 12 В: 1 – корпус; 2 – ручка; 3 – кабельная вилка; 4 – вилка сетевого шнура сети 220 В, 50 Гц

Эффективное выходное напряжение электронного трансформатора равно 12 В и подается на эндоскоп посредством кабеля 3, на конце которого установлена кабельная розетка 3.

Подключение преобразователя в сеть 220 В, 50 Гц производится с помощью вилки сетевого шнура 4.

Максимально допустимая выходная мощность – 105 В·А. Форма выходного напряжения – напряжение повышенной (несколько кГц) частоты, модулированное с частотой сети.

Схема адаптера приведена на рис. 11.10.

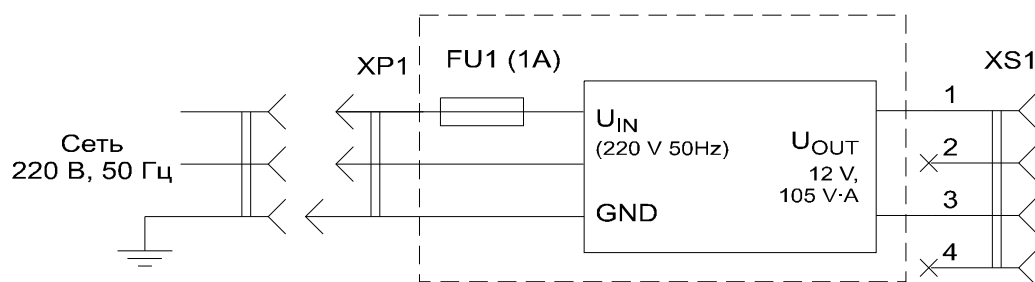


Рис. 11.10. Схема адаптера

11.5. Принцип работы с волоконно-оптическим эндоскопом

11.5.1. Проверка работоспособности эндоскопа и его настройка

Отрегулируйте положение видеотрубки для удобного наблюдения изображения путём изгиба в соответствующую сторону патрубка (поз. 2, рис. 11.2), на котором она закреплена. Для изменения направления изгиба патрубка, последний следует согнуть в нужном направлении.

Наводка наглазника окуляра на резкость (поз. 2, рис. 11.3) осуществляется путём его поворота вокруг своей оси. Процесс наводки окуляра на резкость показан на рис. 11.11.



Рис. 11.11. Наводка окуляра на резкость

Эта настройка на резкость индивидуальна для глаза оператора и обеспечивает регулировку резкости в пределах ± 5 диоптрий.

Максимальная резкость достигается, когда чётко видна мозаичная структура торца волоконно-оптического жгута.

Управление изгибом конца рабочей части эндоскопа. Проверку работы механизма управления изгибом конца рабочей части начинают с того, что ослабляют фиксатор положения курка, повернув флажок фиксатора (поз. 9, рис. 11.2) левой рукой на три четверти оборота против часовой стрелки.

После того как фиксатор курка ослаблен, нажимают на курок или отпускают его, слегка придерживая пальцем (рис. 11.12). В этих случаях изгибаемый конец рабочей части изогнётся влево или вправо на 90°. Если нужно оставить конец изогнутым, то производят фиксацию курка поворотом флажка по часовой стрелке до упора.

Оценка резкости изображения. Для проверки резкости расположите перед объективной головкой на расстоянии 5 см какой-либо предмет с мелкой структурой поверхности, текстом или рисунком, как показано на рис. 11.13. Данное расстояние соответствует максимальной резкости изображения.



Рис. 11.12. Управление изгибом конца рабочей части эндоскопа



Рис. 11.13. Расположение предмета перед объективной головкой

После этого возьмите эндоскоп и, глядя в окуляр, произведите удаление предмета до 15 см и его приближение до 2 см. Соответственно, масштаб изображения будет изменяться в большую или меньшую сторону.

Подключение эндоскопа к аккумуляторной батарее – как показано на рис. 11.14. При этом навинчивание накидной гайки (расположенной на кабельной розетке аккумуляторного блока питания) на вилку разъёма (расположенную на рукоятке эндоскопа) производите, слегка надавливая и направляя корпус розетки (для исключения закусывания резьбы).



Рис. 11.14. Подключение эндоскопа к аккумуляторной батарее

Включение питания эндоскопа осуществляется с помощью выключателя на рукоятке эндоскопа. Должна загореться галогенная лампа осветителя и заработать вентилятор охлаждения лампы. По линейному индикатору напряжения (поз. 10, рис. 11.2), расположенному на рукоятке эндоскопа, можно оценить состояние аккумуляторной батареи. Если горят все индикаторы, то батарея полностью заряжена. Если светятся только желтые и красные или только красные, то следует выполнить заряд аккумуляторной батареи.

Питание эндоскопа может осуществляться также от сети через прилагаемый преобразователь «КЕДР» (сетевой адаптер) 220 В – 12 В.

11.5.2. Работа с эндоскопом

Обеспечьте удобный доступ к осматриваемому объекту. Осторожно введите рабочую часть эндоскопа в осматриваемый объём. Продвигая её вперёд, осмотрите внутреннюю поверхность объёма. Если, кроме продвижения рабочей части вперёд и назад, требуется провести осмотр путём изгиба конца рабочей части, то, обеспечив свободный ход курка, произведите соответствующее управляющее воздействие на курок.

Крутизна изгиба рабочей части при работе не должна превышать 25 см.

Поэтому, при затруднении управления изгибом или при заведомо крутых перегибах рабочей части эндоскопа, следует заранее произвести изгиб конца рабочей части с помощью курка при выпрямленном положении рабочей части. Только после этого следует вводить рабочую часть в осматриваемый объём.

Перед выведением рабочей части эндоскопа из осматриваемого объёма установите изгибаемый конец в прямое положение.

Если поперечный размер осматриваемого пространства (например, диаметр трубы) не превышает 80 мм, произвести полный изгиб конца

рабочей части не удастся. В этом случае производят изгиб на небольшой угол в пределах подвижности изгибаемого конца.

Для осуществления радиального осмотра поверхности изгибают конец рабочей части соответствующим воздействием на курок, закрепляют курок поворотом флажка-фиксатора, после чего ослабляют винт-фиксатор (поз. 4, рис. 11.5) и с помощью рычага (поз. 5 на рис. 10.5) поворачивают рабочую часть вокруг её оси. Таким способом можно произвести радиальный осмотр одной из сторон исследуемого объекта.

Другую сторону объекта можно осмотреть, предварительно изогнув конец рабочей части в противоположную сторону.

После окончания осмотра изгибаемый конец выпрямляют, а рабочую часть приводят в исходное положение, когда рычаг поворота (поз. 5, рис. 11.5) находится напротив винта-фиксатора (поз. 4, рис. 11.5).

Время суммарной работы осветителя от новой, полностью заряженной аккумуляторной батареи составляет 25 минут. В процессе работы рекомендуется следить за уровнем разряда аккумуляторной батареи по линейному индикатору, расположенному на рукоятке эндоскопа.

При подключении полностью заряженной новой батареи светятся все 10 светодиодов линейного индикатора. По мере разряда батареи светодиоды последовательно гаснут, начиная с зеленых. Ориентировочно погасание зеленых светодиодов соответствует 30 % разряду батареи. Погасание дополнительно двух желтых светодиодов свидетельствует о 50%-м разряде батареи.

В целях обеспечения оптимального ресурса аккумуляторной батареи желательно прекратить её дальнейший разряд, переведя питание эндоскопа на резервную батарею.

При дальнейшем разряде батареи последовательно погаснут остальные светодиоды индикатора. При этом уровень разряда батареи оказывается критическим, и дальнейший разряд сопровождается неприемлемым ухудшением её характеристик. Переход в этот режим сигнализируется вспышками индикатора 8 (рис. 11.2), сопровождаемыми прерывистым писком зуммера. При достижении такого состояния следует обязательно выключить эндоскоп, отсоединить от него питающий кабель аккумуляторной батареи и выполнить её заряд, по возможности, в кратчайшие сроки после разряда.

Контрольные вопросы и задания

1. Из чего состоит оптическая схема эндоскопа «КОБРА»?
2. Какова разрешающая способность жгута передачи изображения?
3. Какие источники освещения используются в волоконной эндоскопии? Перечислите их достоинства и недостатки.
4. Что содержит изгибаемый конец эндоскопа?
5. Чему равен угол обзора эндоскопа?
6. Каким образом влияет высокая температура окружающей среды и высокое значение перезаряда батареи на срок эксплуатации аккумуляторной батареи?
7. Что произойдет, если напряжение аккумуляторной батареи достигнет значения около 9,4 В?
8. Каким образом производят оценку резкости изображения?

Содержание отчёта

1. Цель работы.
2. Применяемое оборудование.
3. Ответы на вопросы.
4. Выводы о проделанной работе.

Список литературы

1. Бычков О.Д. Контроль внутренних поверхностей. – М.: Энергия, 1975. – 120 с.
2. Вейнберг В.Б., Саттаров Д.К. Оптика световодов. – Л.: Машиностроение, 1977. – 320 с.
3. Кучикян Л.М., Световоды. – М.: Машиностроение, 1973. – 176 с.
4. Марков П.И., Кеткович А.А., Вейнберг В. Б. Волоконно-оптическая интроскопия. – Л.: Машиностроение, 1987. – 286 с.
5. Сирота Г.А. Технические эндоскопы – приборы для визуального контроля труднодоступных объектов / В мире НК. – 2000. – № 2(8). – С. 4–7.
6. Справочная книга по светотехнике / под ред. Ю.Б. Айзенберга. – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 472 с.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 12

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО ЭНДОСКОПА

Настоящая лабораторная работа подготовлена Учебно-научным центром Компании «СМТ», производящей технические эндоскопы, и внедрена в учебный процесс кафедры ФМПК ТПУ

Цель работы: исследовать разрешающую способность волоконно-оптического эндоскопа в зависимости от рабочего расстояния, от цвета наблюдаемого изображения и ориентации относительно структуры волоконно-оптического жгута.

12.1. Краткие теоретические сведения

12.1.1. Полное внутреннее отражение

Из элементарной оптики известно [1–8], что при прохождении луча света из прозрачной среды с показателем преломления n_1 в среду, имеющую показатель преломления n_2 ($n_2 < n_1$), большая часть энергии, переносимой лучом, передаётся во вторую среду. Это явление называется рефракцией, или преломлением (рис. 12.1, а). В то же время небольшая часть энергии отражается от границы обратно в первую среду (здесь мы полагаем, что обе среды не поглощают свет). Углы падения θ_1 и преломления θ_2 связаны соотношением, известным как закон Снеллиуса:

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2, \quad (12.1)$$

где θ_1 всегда меньше θ_2 , если $n_2 < n_1$, и наоборот.

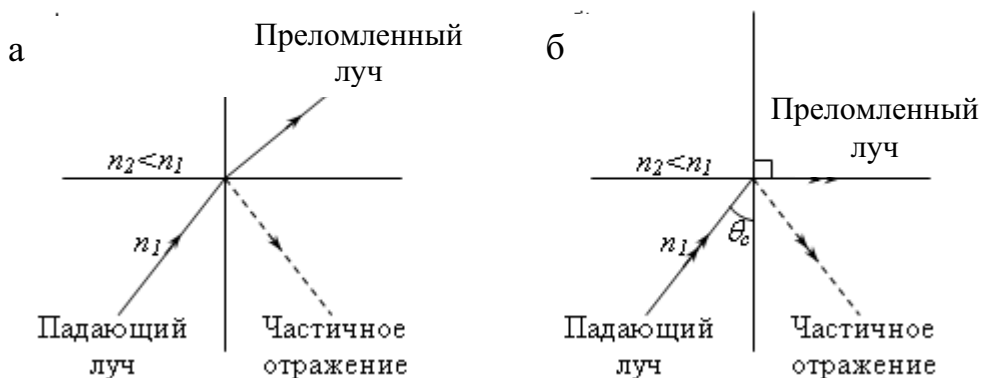


Рис. 12.1. Отражение и преломление на диэлектрической границе раздела: а – в докритическом режиме, б – при критическом угле падения

С увеличением θ_1 растёт и θ_2 , пока не наступит момент, когда $\theta_2 = 90^\circ$, т. е. преломленный луч скользит вдоль границы раздела (рис. 12.1, б). Угол падения, при котором $\theta_2 = 90^\circ$, называется критическим углом падения θ_c ($\theta_c = \arcsin n_2/n_1$).

Если θ_1 и далее продолжает расти и становится больше θ_c , то вся энергия, содержащаяся в падающем луче, отражается обратно в первую среду. Это явление, называемое полным внутренним отражением, и было использовано при создании оптических волокон с так называемым ступенчатым профилем показателя преломления. В таких волокнах происходит волноводное распределение света.

12.1.2. Оптическое волокно

Если луч света, преломившись на границе раздела воздух–сердцевина на торце волокна, затем попадает на границу сердцевина–оболочка под углом, большим критического (рис. 12.2), происходит полное внутреннее отражение [10–11]. В связи с цилиндрической симметрией волокна полное внутреннее отражение этого луча имеет место и на нижней границе сердцевины, то есть луч оказывается захваченным сердцевинной. Траектория луча, каналируемого вдоль сердцевины, имеет зигзагообразный характер. Полное внутреннее отражение луча происходит в каждой точке излома.

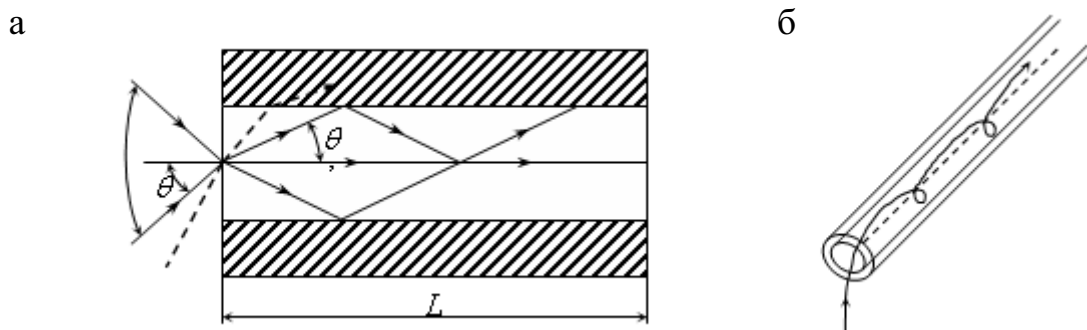


Рис. 12.2. Траектории меридиональных (а) и косых (б) лучей в оптическом волокне

Лучи, изображенные на рис. 12.2, а, всегда пересекают ось волокна. Такие лучи называют меридиональными.

Легко показать с помощью рис. 12.2, а, что закон Снеллиуса (см. формулу 12.1) для торца волокна выполняется в случае

$$\sin \theta_a = n_1 \sin \theta' . \quad (12.2)$$

Поскольку на границе между сердцевинной и оболочкой имеет место полное внутреннее отражение, должно выполняться неравенство

$$\theta' < \pi/2 - \theta_c. \quad (12.3)$$

Следовательно, необходимым условием для того, чтобы луч распространялся внутри сердцевины волокна и не попал в оболочку, является следующее:

$$n_{\text{возд}} \sin \theta_a = \sin \theta_a = n_1 \sin(\pi/2 - \arcsin n_1/n_2) = \sqrt{n_2^2 - n_1^2}. \quad (12.4)$$

На основании рис. 12.2, а можно также утверждать, что все лучи, которые попадают на торец сердцевины волокна внутри конуса, образующая которого составляет угол θ_a с осью волокна, будут распространяться вдоль волокна и выйдут из его выходного торца практически без потерь (полагаем, что волокно сделано из абсолютно прозрачного материала). Угол θ_a называется приёмным (апертурным) углом волокна для меридиональных лучей. Уравнение (12.4) определяет важный параметр волокна, называемый числовой апертурой NA, по аналогии с числовой апертурой линзы или объектива, и является очень полезной величиной, так как позволяет оценить количество световой энергии, которую можно ввести от источника света в волокно. Эта величина безразмерная и зависит только от показателей преломления n_1 и n_2 .

Все сказанное выше относилось только к меридиональным лучам, т. е. таким, которые лежат в одной плоскости с осью волокна. Кроме меридиональных, существуют лучи, которые распространяются внутри сердцевины, не пересекая ось волокна. Такие лучи, называемые косыми, распространяются таким образом, что их траектории не лежат в одной плоскости, в отличие от меридиональных лучей (рис. 12.2, б). Часть этих лучей постоянно теряет энергию по мере распространения вдоль волокна. На малых расстояниях, измеряемых метрами, косые лучи могут переносить (в зависимости от условий ввода излучения) достаточно большую часть общей мощности.

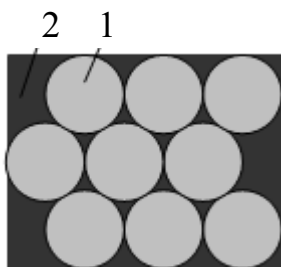
12.1.3. Передача изображения волоконно-оптическим жгутом

Применяемые в эндоскопах для передачи изображения волоконно-оптические жгуты представляют собой пучок гексагонально уложенных световедущих жил 1, разделенных светоизолирующими прослойками 2 (рис. 12.3).

Для передачи изображения с помощью волоконно-оптического жгута применяют элементы классической оптики (объектив, окуляр) [12].

Волоконно-оптическая схема эндоскопа представляет собой систему (рис. 12.4), состоящую из объектива 2, проецирующего изображение

предмета *1* на входной торец волоконно-оптического жгута *3*. Изображение с выходного торца жгута объективом *4* проецируется на экран *5* (плоскость изображения).



*Рис. 12.3. Гексагональная укладка световодов:
1 – световедущие жилы; 2 – светоизолирующие прослойки*

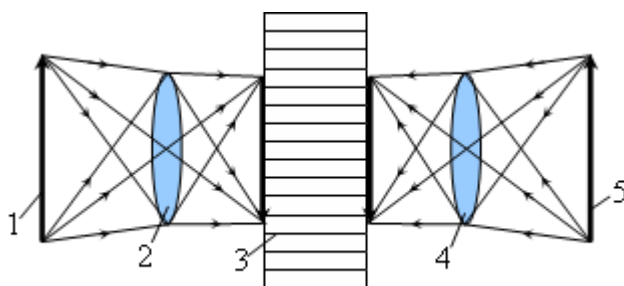


Рис. 12.4. Передача изображения через волоконно-оптический жгут

12.1.4. Разрешающая способность волоконно-оптического эндоскопа

Разрешающая способность оптических систем – это способность создавать отдельные изображения двух близко расположенных точек. Она оценивается по наименьшему расстоянию между двумя точками, при котором изображения точек ещё не сливаются (видны отдельно). Данное расстояние выражается в линейных (мм) или угловых единицах (угловых секундах) и называется, соответственно, линейным или угловым пределом разрешения. Обратная ему величина служит количественной мерой разрешающей способности оптических приборов (обычно выражается в количестве линий на миллиметр).

Разрешающая способность волоконно-оптического эндоскопа в основном зависит от разрешающей способности применяемого в нём волоконно-оптического жгута.

В общем случае разрешающая способность волоконно-оптического жгута

$$v_{\text{ж}} = 0,5D^{-1}, \quad (12.5)$$

где D – диаметр волокна.

Разрешающая способность волоконно-оптического эндоскопа зависит и от фокусного расстояния объектива эндоскопа. Для нахождения разрешающей способности волоконно-оптического эндоскопа проще воспользоваться следующей методикой.

Предмет, размеры которого известны с большой точностью, помещают на фокусном расстоянии от объектива эндоскопа (изображение предмета должно максимально чётко рассматриваться через волоконно-оптический эндоскоп). Измерения заключаются в подборе предмета, изображение которого находилось бы на грани разрешения.

В качестве меры разрешающей способности используется обратная величина минимально разрешимого отрезка d – число разрешаемых линий

$$v = 1/D. \quad (12.6)$$

Определение разрешающей способности волоконно-оптического эндоскопа производится при помощи специальных испытательных объектов, называемых мирами. Период штрихов мира (минимально разрешаемые отрезки) d включает в себя ширину черной полосы и ширину промежутка (рис. 12.5) [4].

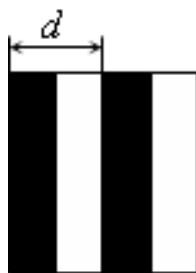


Рис. 12.5. Графическое изображение мира

Используемые в лабораторной работе штриховые миры представляют собой системы черных полос, нанесенных на белую бумагу.

Для исследования разрешающей способности прибора в зависимости от ориентации изображения в плоскости торца волоконно-оптического жгута относительно направления укладки оптических волокон (для жгута с гексагональной структурой) используются миры, в которых штрихи имеют одинаковый период, но ориентированы в различных направлениях.

Для измерения разрешающей способности в зависимости от цвета наблюдаемого изображения используются миры, на которые нанесены штрихи разных цветов.

12.2. Экспериментальная часть работы

Предлагаемая лабораторная работа включает в себя следующие экспериментальные задачи:

1. Определение разрешающей способности оптической системы волоконно-оптического эндоскопа в зависимости от рабочего расстояния R при фиксированном расстоянии l (расстояние от объектива до торца волоконно-оптического жгута).

2. Исследование разрешающей способности в зависимости от цвета наблюдаемого изображения.

3. Исследование разрешающей способности в зависимости от ориентации изображения в плоскости торца волоконно-оптического жгута относительно направления укладки оптических волокон (для жгута с гексагональной структурой).

12.2.1. Экспериментальная установка

Для выполнения поставленных задач используется волоконно-оптическая система эндоскопа в качестве экспериментальной установки (рис. 12.6).

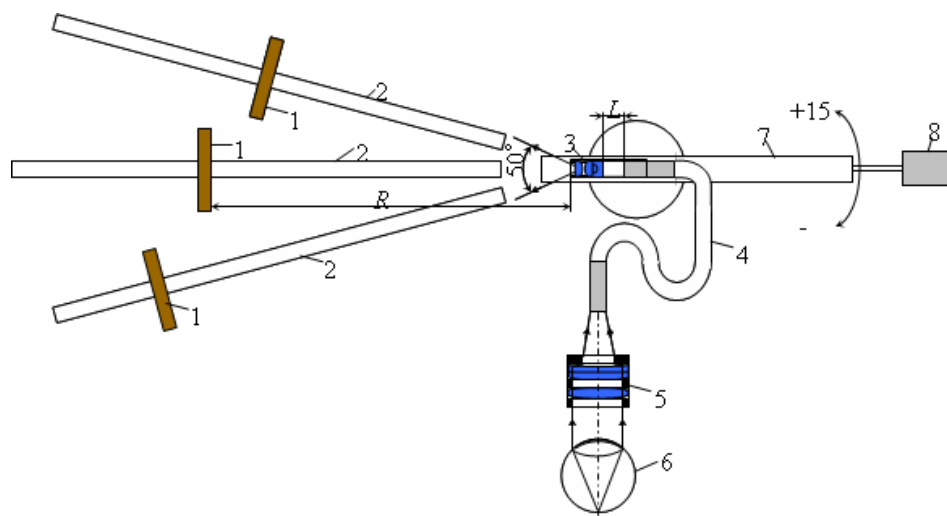


Рис. 12.6. Схема экспериментальной установки: 1 – стойки для штриховых мириков; 2 – рельсы; 3 – объектив; 4 – волоконно-оптический жгут; 5 – окуляр; 6 – глаз наблюдателя; 7 – поворотное устройство; 8 – регулировочный винт

Для проведения экспериментов на основании установлены три направляющих, на которых расположены стойки для закрепления штриховых мириков. Стойки могут перемещаться по направляющим, изменяя рабочее расстояние R . Кроме того, экспериментальная установка комплектуется десятью мирами (рис. 12.7):

- четыре мира со штрихами чёрного цвета на белом фоне с разным периодом d (мира № 1 $d=2$ мм, мира № 2 $d=4$ мм, мира № 3 $d=6$ мм и мира № 4 $d=8$ мм); три мира с одинаковым периодом $d=30$ мм, но разным цветом штрихов (мира № 5 со штрихами красного цвета, мира № 6 – жёлтого цвета и мира № 7 – синего цвета);
- три мира со штрихами чёрного цвета с одинаковым периодом $d=30$ мм, но разной ориентацией штрихов (мира № 8: штрихи сориентированы под углом 45° к горизонтальной поверхности, мира № 9: штрихи сориентированы под углом 135° , мира № 10: штрихи сориентированы параллельно горизонтальной поверхности, т. е. угол 0°).

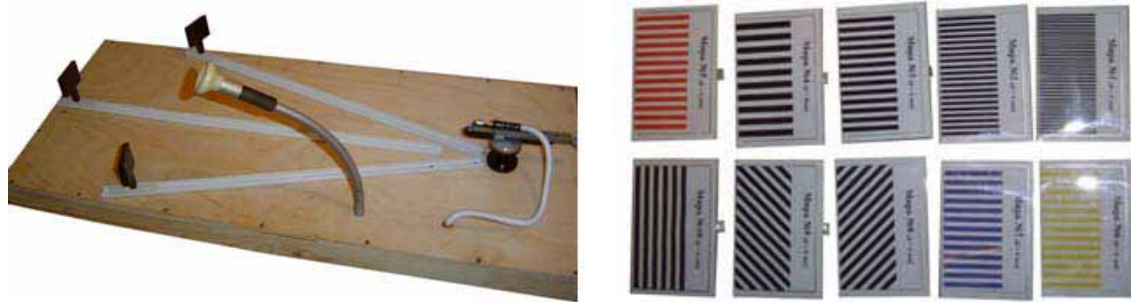


Рис. 12.7. Экспериментальная установка: основание; миры

Ход эксперимента по п. 1

Зафиксируйте расстояние l от наблюдаемого предмета (миры) до объектива, установленного на торце волоконно-оптического жгута.

Наведите на резкость окуляр, повернув его вокруг своей оси. Эта настройка на резкость индивидуальна для глаза наблюдателя и обеспечивает регулировку резкости в пределах ± 5 диоптрий. Максимальная резкость достигается, когда чётко видна мозаичная структура торца волоконно-оптического жгута.

На одну из стоек закрепите миру № 1.

Подведите миру на расстояние $R = 3$ см от объектива.

Необходимо добиться максимальной чёткости изображения штрихов путём вращения регулировочного винта 8 вокруг своей оси.

Миру № 1 переместите от объектива на максимальное расстояние R_1 (не вращать регулировочный винт!), при котором порог разрешения контраста миры ещё достаточно высок (30–60 %), но мозаичность изображения (зазубренность прямых линий, разрывность изображения) не позволяет различить штриховые линии.

На эту же стойку закрепите миру № 2.

Для миры №2 выполните операции п. 5 и определите расстояние R_2 .

Для мир № 3 и № 4 выполните операции п.5 и определите соответствующие расстояния R_3 и R_4 .

По четырём точкам постройте график зависимости разрешающей способности эндоскопа от расстояния до наблюдаемого предмета.

Аналогичные измерения проделать для $R = 5$ см и $R = 7$ см (см. порядок выполнения с п. 3 по п. 9).

Ход эксперимента по п. 2

Наведите на резкость окуляр, повернув его вокруг своей оси. Эта настройка на резкость индивидуальна для глаза и обеспечивает регулировку резкости в пределах ± 5 диоптрий. Максимальная резкость достигается, когда чётко видна мозаичная структура торца волоконно-оптического жгута.

На одну из подставок закрепите миру № 5.

Подведите миру с подставкой на $R = 4$ см от торца объектива.

Настройте максимальное изображение штрихов путём вращения регулировочного винта 8 вокруг своей оси.

Подставку с мирой № 5 переместите от торца объектива на максимальное расстояние R_5 (не вращать регулировочный винт!).

На эту же подставку закрепите миру № 6.

Для миры № 6 получите расстояние R_6 (см. п. 5).

Для миры № 7 получите расстояние R_7 .

По трём точкам постройте график зависимости разрешающей способности эндоскопа от цвета наблюдаемого изображения.

Ход эксперимента по п. 3

Наведите на резкость окуляр, повернув его вокруг своей оси. Эта настройка на резкость индивидуальна для глаза и обеспечивает регулировку резкости в пределах ± 5 диоптрий. Максимальная резкость достигается, когда чётко видна мозаичная структура торца волоконно-оптического жгута.

На одну из подставок закрепите миру № 3 (штрихи сориентированы под углом 90° к горизонтальной поверхности).

Подведите миру с подставкой на $R = 4$ см от торца объектива.

Настройте максимальное изображение штрихов путём вращения регулировочного винта 8 вокруг своей оси.

Подставку с мирой № 2 переместите от торца объектива на максимальное расстояние R_2 (не вращать регулировочный винт!).

На эту же подставку закрепите миру № 8.

Аналогично п. 5 для миры № 8 получить расстояние R_8 .

Для миры № 9 и № 10 получите соответствующие расстояния R_9 и R_{10} .

По четырём точкам постройте график зависимости разрешающей способности эндоскопа от ориентации изображения в плоскости торца

волоконно-оптического жгута относительно направления укладки оптических волокон (для жгута с гексагональной структурой).

Контрольные вопросы и задания

1. Какой угол называется критическим и чему он равен?
2. Что такое числовая апертура и в чём она измеряется?
3. Какие лучи распространяются в волокне?
4. Какова разрешающая способность жгута передачи изображения, если диаметр единичных волокон равен 6 мкм?
5. Что такое разрешающая способность оптических систем?
6. Что такое мери и чему равен период штрихов?
7. Каким образом производят оценку резкости изображения?

Содержание отчёта

1. Цель работы.
2. Применяемое оборудование.
3. Порядок выполнения работы.
4. Результаты выполнения работы (зависимости разрешающей способности и т. д.)
5. Ответы на вопросы.
6. Выводы о проделанной работе.

Список литературы

1. Фриш С.Э., Тиморева А.В. Курс общей физики. – М.: Физматгиз, 1961. – Т.3.
2. Урмахер Л.С. Оптика фотографических и аэрофотографических приборов. – М.: Геодезиздат, 1962.
3. Чуриловский В.Н. Теория оптических приборов. – М.; Л.: Машиностроение, 1966.
4. Мальцев М.Д., Каракулина Г.А. Прикладная оптика и оптические измерения. – М.: Машиностроение, 1968.
5. Волосов Д.С. Фотографическая оптика. – М.: Искусство, 1971.
6. Описание оптической скамьи ОСК-2.
7. Ландсберг Г.С. Оптика. – М.: Наука, 1976.
8. Пер А.Г. Производство оптико-механических приборов. – М.: Оборонгиз, 1962. Гл.3.
9. Вейнберг В.Б., Саттаров Д.К. Оптика световодов. – Л.: Машиностроение, 1977. – 320 с.
10. Кучикян Л.М. Световоды. – М.: Машиностроение, 1973.
11. Марков П.И., Кеткович А.А., Вейнберг В.Б. Волоконно-оптическая интроскопия. – Л.: Машиностроение, 1987.
12. Саттаров Д.К. Волоконная оптика. – Л.: Машиностроение, 1973.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1. Измерение освещенности и яркости люксметром	4
2. Методы и средства контроля шероховатости поверхности	19
3. Измерение размеров деталей штангенинструментами	78
4. Измерение размеров деталей угломером с нониусом типа УМ	94
5. Измерение размеров деталей микрометрическими инструментами	99
6. Измерение диаметра отверстия и отклонения его формы индикаторным нутромером	115
7. Визуальный контроль дефектов сварных соединений	121
8. Измерение размеров дефектов и параметров сварного шва	134
9. Визуальный контроль дефектов основного металла	147
10. Осмотр и выявление дефектов изделий с помощью смотрового прибора РВП-496	171
11. Устройство волоконно-оптического эндоскопа	175
12. Определение разрешающей способности волоконно-оптического эндоскопа	190

Учебное издание

КАЛИНИЧЕНКО Николай Петрович
КАЛИНИЧЕНКО Алексей Николаевич

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО ВИЗУАЛЬНОМУ И ИЗМЕРИТЕЛЬНОМУ МЕТОДУ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ

Учебное пособие

Научный редактор
доктор технических наук,
профессор

О.А. Сидуленко

Редактор

О.Н. Свинцова

Верстка

Д.В. Сотникова

Дизайн обложки

О.Ю. Аршинова

О.А. Дмитриев

Подписано к печати 09.02.2009. Формат 60x84/16. Бумага «Снегурочка».

Печать XEROX. Усл.печ.л. 11,69. Уч.-изд.л. 10,57.


Заказ 812. Тираж 200 экз.



Томский политехнический университет
Система менеджмента качества

Томского политехнического университета сертифицирована
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту ISO 9001:2000



ИЗДАТЕЛЬСТВО  ТПУ. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.