



Бигус Г.А., Быстрова Н.А., Котельников В.В., Горелов А.М.,
Воронкова Л.В., Рябцев С.Л., Симоненко Е.В.,
Каледин И.Б., Большаков Д.С.

ВИЗУАЛЬНЫЙ И ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ

Учебное пособие по неразрушающему контролю

Бигус Г. А., Быстрова Н. А., Котельников В. В., Горелов А. М.,
Воронкова Л. В., Рябцев С. Л., Симоненко Е. В.,
Каледин И. Б., Большаков Д. С.

ВИЗУАЛЬНЫЙ И ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ

Учебное пособие по неразрушающему контролю



МОСКВА
2008

Рецензент: А.Д. Покровский.

РЕЦЕНЗИЯ

Представлена краткая теория метода неразрушающего контроля, изложены основы технологии проведения контроля, описано оборудование и приведен список регламентирующей и нормативной технической литературы. Предназначено для кандидатов на сдачу сертификационных экзаменов на квалификационный уровень по визуальному и измерительному методу неразрушающего контроля, самостоятельного образования специалиста и как справочное пособие.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
Вступление	9
Глава 1. Физические основы метода визуального контроля	10
1.1. Источники света	10
1.2. Глаз человека	14
1.3. Элементы колориметрии	17
1.4. Система световых фотометрических величин	21
Глава 2. Оптические системы для визуального и измерительного контроля.	
Основные понятия	23
2.1. Оптическая система, оптическая среда, показатель преломления	23
2.2. Основные положения и законы геометрической оптики	24
2.3. Кардинальные элементы идеальной оптической системы	25
Глава 3. Метрологическое обеспечение визуального контроля	35
1. Измерение и контроль. Основные задачи	35
Характеристика объекта контроля	38
Параметры, характеризующие шероховатости поверхности	45
Основы измерений с многократными наблюдениями	49
Основные требования к методикам выполнения измерений	52
Единство измерений	54
Принципы и методы измерений. Характеристики средств измерений	56
Глава 4. Технология проведения визуального и измерительного контроля	59
V. Требования к средствам визуального и измерительного контроля*	60
Примерный перечень средств визуального и измерительного контроля	61
VI. Требования к выполнению визуального и измерительного контроля	63
6.1. Подготовка мест производства работ	63
6.2. Подготовка к контролю	64
6.5. Порядок выполнения визуального и измерительного контроля	
сварных соединений (наплавки)	72
Требования к содержанию "Технологической карты визуального	
и измерительного контроля"	96
Размерные показатели для норм оценки качества по результатам	
визуального и измерительного контроля	97
Глава 5. Оборудование для ВИК (пособие)	99
Современное оборудование визуально-оптического контроля	102
Приложение	109

ВВЕДЕНИЕ

Проблема начальной профессиональной подготовки специалистов по неразрушающему контролю как никогда остро стоит в нашей стране. Система профессионального образования разрушена, предприятиям невыгодно готовить кадры на рабочих местах, и кандидаты на сертификацию получают знания самостоятельно, используя любые возможные источники.

Учебное пособие по визуальному и измерительному методу контроля написано с целью обеспечения специалистов по неразрушающему контролю, готовившихся к сертификации, необходимой информацией о теории технологии метода, сведениями о технической литературе.

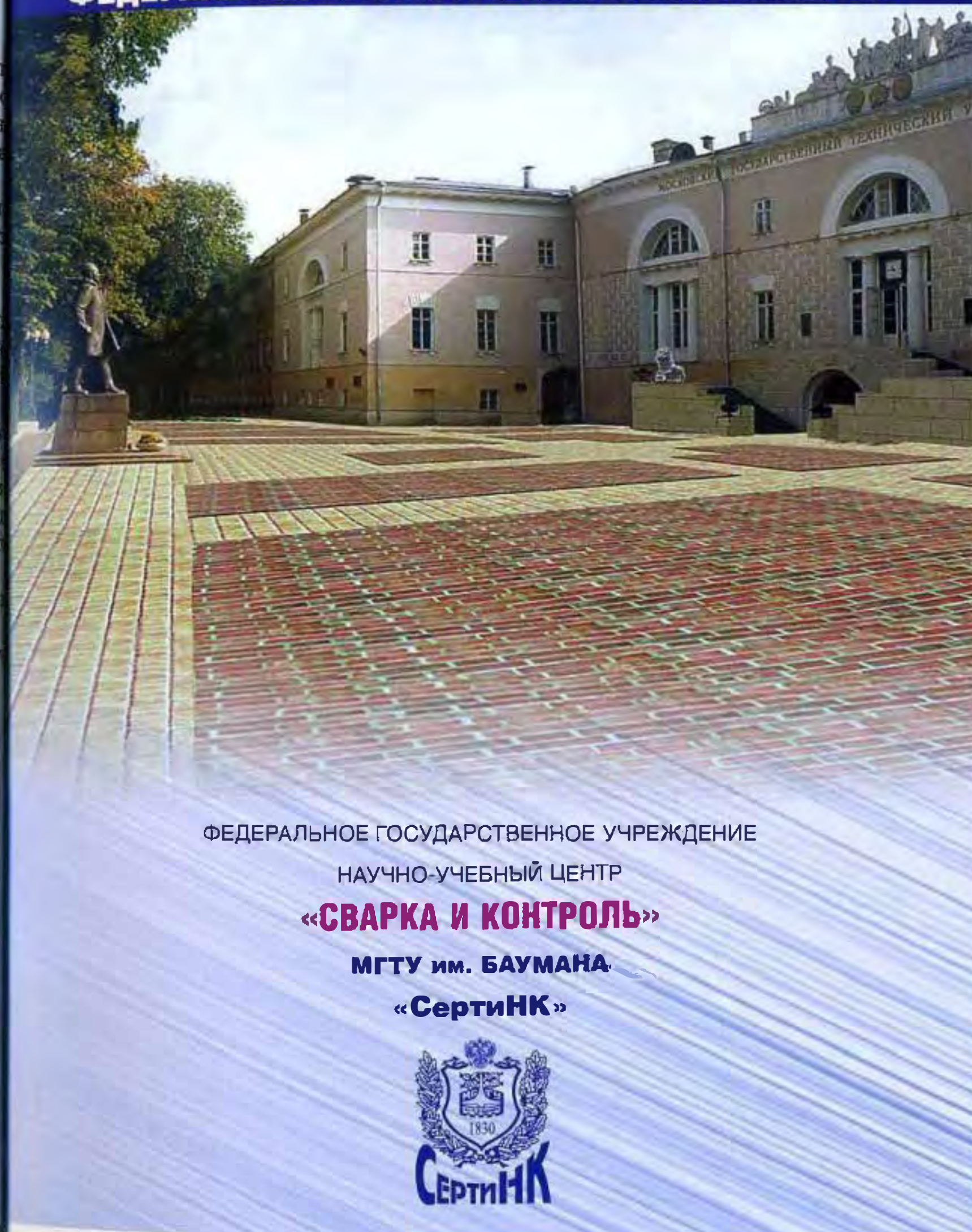
Пособие предназначено для повторения лекционного материала, самостоятельной подготовки к сертификационным экзаменам, быстрого нахождения справочного материала, восстановления профессиональных знаний после перерывов в работе по специальности.

Разработка пособия производилась коллективом авторов, являющихся преподавателями, экзаменаторами, сотрудниками НОАП «СertiНК» и его экзаменационных центров. Была проведена большая работа по приведению в соответствие программы консультаций, содержания пособия и экзаменационных вопросов таким образом, чтобы эти три составляющие образовали единую систему.

Рецензенты были выбраны из наиболее авторитетных и заслуженных специалистов, известных и действующих в области метода.

Авторские права создателей пособия защищены статьей 146 Уголовного кодекса Российской Федерации.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ РФ



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ

НАУЧНО-УЧЕБНЫЙ ЦЕНТР

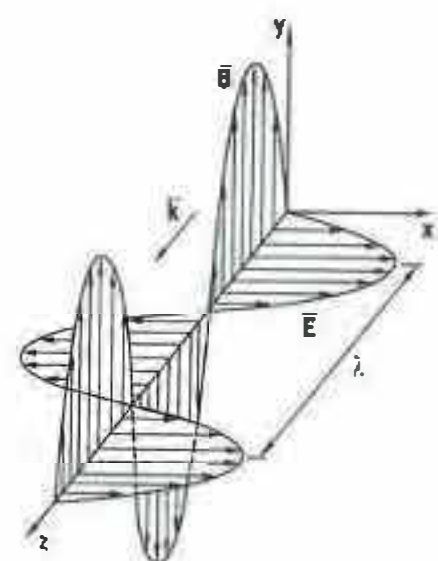
«СВАРКА И КОНТРОЛЬ»

МГТУ им. БАУМАНА

«СertiНК»



Глава 1. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТОДА ВИЗУАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ



1.1. Источники света

Электромагнитная волна

$\vec{H} = \vec{H}(x, y, z, t)$ — напряженность магнитного поля волны.
 $\vec{E} = \vec{E}(x, y, z, t)$ — напряженность электрического поля волны.
 $\vec{k}$ — волновой вектор (определяет направление распространения волны).
 λ — длина волны (пространственный период колебаний электрического и магнитного полей)

Рис. 1. Структура волны

Табл. 1. Шкала электромагнитных волн

Граница диапазона λ , нм	Название диапазона	Механизм генерации. Источники излучения	Приемники излучения
$> 10^6$	Медленные колебания и радиоволны	Ускоренное движение электронов в проводящих средах. Атмосферное электричество, передающие радиоприемники	Приемные радиоприемники
$760 - 10^6$	Инфракрасное излучение (тепловое излучение)	Колебательные и вращательные движения атомов и молекул. Тепловые и лазерные	Фотоэлектрические, фотохимические, тепловые
$380 - 760$	Видимое излучение (свет)	Колебания внешних электронов в атомах. Тепловые, электроразрядные, фотолюминесцентные	Фотохимические, фотоэлектрические
$12 - 380$	Ультрафиолетовое излучение	Колебания электронов в атомах. Фотолюминесцентные, катодолуминесцентные	Фотоэлектрические, фотолюминесцентные

Продолжение Табл. 1. Шкала электромагнитных волн

Граница диапазона λ , нм	Название диапазона	Механизм генерации. Источники излучения	Приемники излучения
$2 \cdot 10^{-4} - 12$	Рентгеновское излучение	Резкое торможение зарядов на атомах мишени. Катодолуминесцентные	Фотохимические, фотолюминесцентные
$< 12 \cdot 10^{-4}$	Гамма излучение	Внутриядерные превращения. Радиоактивные вещества	Ионизационные

Свет — электромагнитное излучение в диапазоне длин волн от 380 нм до 760 нм (0.4 — 0.8 мкм). Середина светового диапазона (570 нм) определяется максимумом излучения в спектре солнца, длинноволновая граница определяется мешающим собственным тепловым излучением человека, коротковолновая граница — практически полным поглощением ультрафиолетового излучения солнца земной ионосферой.

Спектры источников света

Спектр источника света — зависимость, какой либо энергетической характеристики источника света, от длины волны излучения.

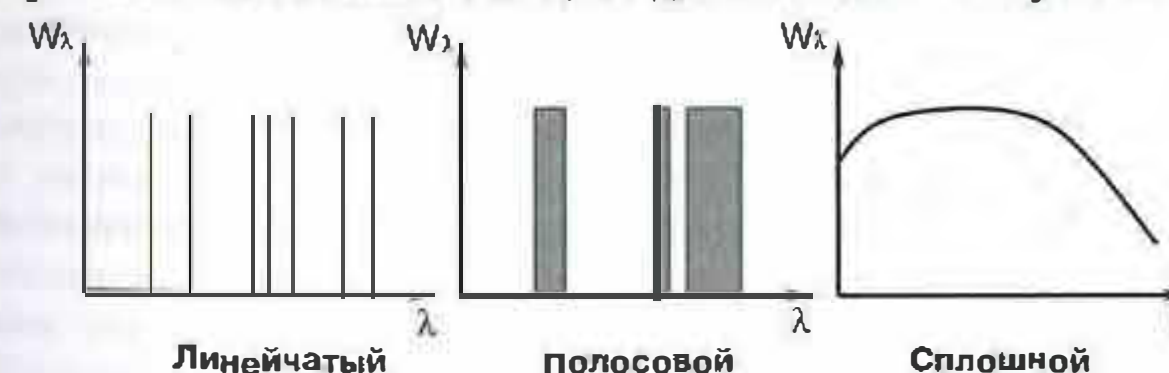


Рис. 2. Основные типы спектров источников света

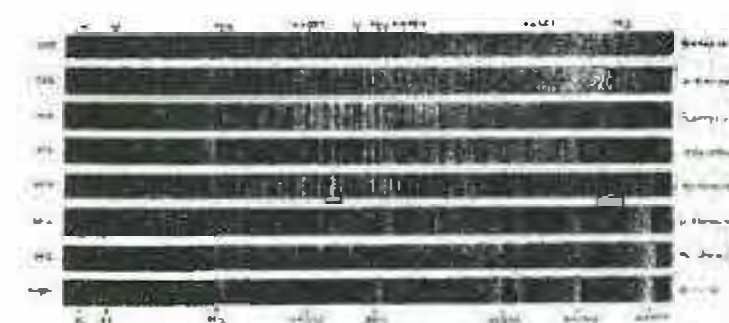


Рис. 3. Спектры реальных источников света

Основные характеристики источников света

Энергетический коэффициент полезного действия излучения — отношение светового потока, испускаемого лампой, ко всему потоку электромагнитного излучения.

Световая отдача — отношение светового потока в люменах к мощности потребляемой источником в ваттах.

Тепловые источники света

Тепловой источник света — физический объект, преобразующий тепловую энергию теплового (кинетическую энергию хаотического движения атомов и молекул) в электромагнитное излучение видимого диапазона (свет).

Спектр излучения теплового источника зависит от температуры этого

$$w_{\lambda}(T) = \varepsilon(\lambda) w_{\lambda}^0(T)$$

источника и определяется формулой:

где $\varepsilon(\lambda)$ — безразмерный коэффициент излучения ($0 \leq \varepsilon(\lambda) \leq 1$),

$\varepsilon(\lambda) = 1$ — черный излучатель,

$\varepsilon(\lambda) = \text{const} < 1$ — серый излучатель,

$\varepsilon(\lambda) \text{ const}$ — селективный излучатель.

$w_{\lambda}^0(T)$ — спектральная плотность излучения абсолютно черного тела (АЧТ),

$w_{\lambda}(T)$ — спектральная плотность излучения источника света.

Абсолютно черное тело — физический объект, одинаково хорошо поглощающий и соответственно переизлучающий, все падающее на него электромагнитное излучение ($\varepsilon(\lambda) = 1$).

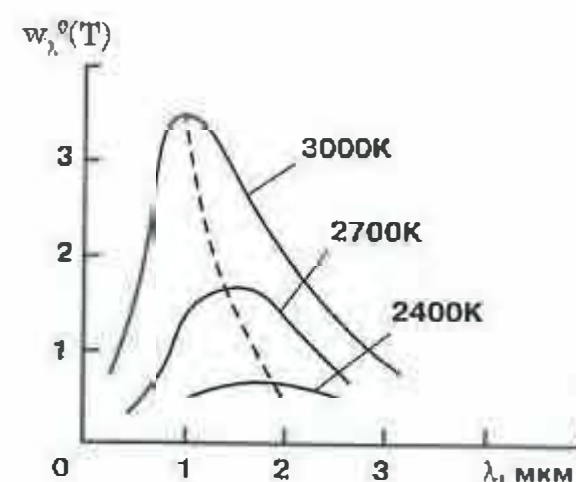


Рис. 4. Спектр излучения черного излучателя

$$w_{\lambda}^0(T) = \frac{c_1 / \lambda^5}{e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1}, \quad (2)$$

где c_1, c_2 — константы,

λ — длина волны излучения,

T — температура излучающего источника.

Особенности спектра излучения тепловых источников:

- Спектр излучения сплошной,
- Спектр излучения имеет максимум, причем длина волны этого максимума определяется соотношением ($\lambda_{\text{max}} \approx 2900/T$),
- Интегральная мощность излучения значительно зависит от температуры источника ($w^0 = \sigma T^4$).

Стандартные источники света:

- А ($T=2854\text{K}$) — стандартная лампа накаливания,
- В ($T=4800\text{K}$) — стандартный источник дневного света,
- С ($T=6500\text{K}$) — стандартный источник света, приближающегося к солнечному свету.

Солнце является тепловым источником света, приближающимся к черному излучателю с температурой примерно 6000 K . и является наиболее благоприятным источником света для человеческого глаза, поэтому наиболее естественными для человеческого глаза являются тепловые источники света.

Наиболее распространенными искусственными тепловыми источниками света являются электрические лампы накаливания, которые в простейшем случае представляют собой вольфрамовую спираль, нагреваемую электрическим током до температуры $2400 - 3000\text{ K}$, при которой нить визуально ярко светится. К существенным недостаткам ламп накаливания относится их низкий энергетический КПД и маленькая световая отдача, однако по особенностям спектра эти источники наиболее благоприятны для проведения визуального контроля.

Люминесцентные источники света

Люминесцентный источник света — физический объект, преобразующий какой либо вид внутренней энергии (кроме тепловой) в электромагнитное излучение видимого диапазона (свет).

Катодолюминесценция (свечение при бомбардировке мишени заряженными частицами) — для источников света в настоящее время не используется.

Фотолюминесценция (свечение под воздействием электромагнитного поля) — для источников света практически не используется.

Хемилюминесценция (свечение при протекании химических реакций) — используется в химических источниках света (высокая светоотдача, однако, низкая мощность излучения и полосовой спектр излучения).

Электролюминесценция (свечение под воздействием электрического разряда) — широко используется для источников света (высокая светоотдача, для смешанных источников спектр в той или иной степени приближающийся к дневному свету, однако значительного соответствия к настоящему моменту еще не достигнуто).

Из электролюминесцентных источников следует выделить:

- Газоразрядные лампы низкого давления — основной источник света жилых и офисных помещений;
- Газоразрядные лампы высокого и сверхвысокого давления — получение мощных световых потоков при линейчатом или полосовом спектре излучения;
- Полупроводниковые излучающие светодиоды — экономичные низковольтные источники света с полосовым спектром излучения.

Источники когерентного света (лазеры)

Лазеры являются источниками мощного когерентного и монохроматического излучения (спектр излучения является в первом приближении одиночной линией излучения), поэтому их излучение является наиболее неестественным для глаза человека. Тем не менее, в случае необходимости (например, контроль фазовых неоднородностей), они могут быть использованы в качестве источников света. Для этих целей могут быть использованы осветители из группы газовых и полупроводниковых лазеров.

1.2. Глаз человека

Строение глаза человека

- 1 — Роговица (передняя прозрачная часть наружной белковой оболочки глаза);
- 2 — Хрусталик (оптическая линза глаза);
- 3 — Передняя камера глаза (заполнена постоянно циркулирующей камерной влагой);

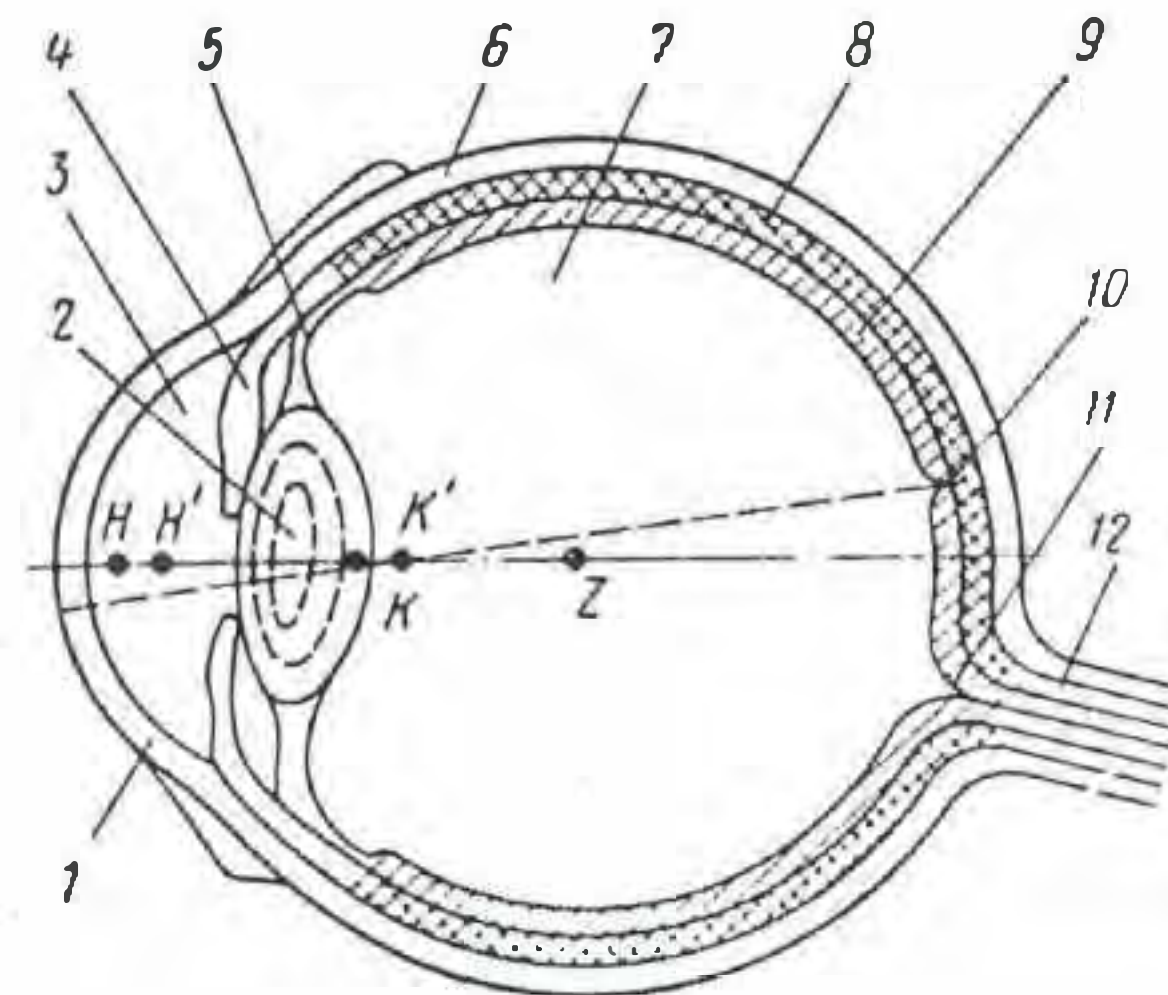


Рис. 5. Строение глаза

- 4 — Радужная оболочка (передняя часть сосудистой оболочки);
- 5 — Кольцевая мышца хрусталика;
- 6 — Склера (наружная белковая оболочка глаза);
- 7 — Задняя камера глаза со стекловидным телом;
- 8 — Сосудистая оболочка глаза (сеть мелких сосудов и капилляров);
- 9 — Сетчатка или сетчатая оболочка глаза (светочувствительная оболочка глаза):

Светочувствительные элементы:

Палочки ($1 \times 60 \text{ мкм}^2$) — 130 000 000 палочек;

Колбочки ($6 \times 35 \text{ мкм}^2$) — 7 000 000 колбочек;

Светочувствительный пигмент — родопсин или зрительный пурпур;

10 — Желтое пятно ($1 \times 0.8 \text{ мм}^2$, область наиболее чувствительная к свету);

Центральная ямка ($0.3 \times 0.2 \text{ мм}^2$, область концентрации колбочек);

11 — Слепое пятно (область нечувствительная к свету, место входа зрительного нерва в глаз);

12 — Зрительный нерв;

Табл. 2. Модель стандартного глаза

Линейные параметры	Угловые параметры
Заднее фокусное расстояние — $f' = 22.8$ мм	Поле зрения глаза — 150° (гор.) $\times$ 125° (верт.)
Переднее фок. расстояние — $f = -17.1$ мм	Поле резкого видения — 2°
Относительное отверстие — 1:15 — 1:2.8	Поле опознавания — 30° (гор.) $\times$ 22° (верт.)
Межзрачковое расстояние — 65 мм	Поле ориентации — 170° (гор.) $\times$ 130° (верт.)

Основные свойства глаза

Аккомодация — способность глаза резко видеть предметы, находящиеся от него на различных расстояниях, за счет изменения кривизны поверхности хрусталика и соответствующего изменения его фокусного расстояния

$$A_k = 1000/a \text{ [дптр]}, \quad (3)$$

Где a — расстояние в мм от вершины роговицы до рассматриваемого объекта

Дальняя точка глаза (D) — наиболее удаленная точка глаза, рассматриваемая без аккомодации (a_d — расстояние до дальней точки).

Ближняя точка глаза (B) — наиболее близкая точка, рассматриваемая глазом при максимальной аккомодации (a_b — расстояние до ближней точки).

Точка наилучшего видения (Вп, $a_{bp} = 250$ мм).

Дефекты аккомодации: $a_d < \infty$, $a_{bp} < 200$ мм — близорукость;
 $a_d < \infty$, $a_{bp} > 250$ мм — дальнозоркость;

Адаптация — свойство глаза приспосабливаться к различным яркостям ($2 \cdot 10^{-6} — 2 \cdot 10^5$ кд/м²)

Основные механизмы адаптации:

- Режим работы сетчатки;
- Яркость объектов меньше 1 кд/м² — ночное зрение (работают только палочки);
- Яркость объектов меньше 10 кд/м² — сумеречное зрение (работают и палочки и колбочки);
- Яркость объектов больше 10 кд/м² — дневное зрение (работают только колбочки);
- Зрачковый рефлекс — рефлекторное изменение диаметра зрачка глаза при изменении яркости рассматриваемых объектов (1.5 — 8 мм);
- Уменьшение концентрации зрительного пигмента при увеличении яркости рассматриваемых объектов.

Пороговый контраст — наименьший контраст, воспринимаемый глазом (зависит от яркости объекта):

Контрастная чувствительность — величина обратная пороговому контрасту.

Разрешающая способность глаза — свойство глаза разделять два близко расположенных предмета. Наименьший угол, под которым глаз различает два объекта называется предельным углом разрешения ($\psi_{gl} = 1'$ — нормальные условия наблюдения, $\psi_{gl} = 10''$ — нониусное сопряжение, $\psi_{gl} = 6''$ — биштриховое сопряжение).

Острота зрения — величина обратная предельному углу разрешения.

Предельный угол разрешения зависит от яркости и контраста наблюдаемых объектов

$$\psi_{gl} [\text{угл. мин.}] = \frac{0.44 + 0.63L^{-0.42}}{(k - 0.02)^{2/3}}, \quad (4)$$

где L [кд/м²] — яркость объекта,

k — контраст объекта.

Конвергенция — схождение оптических осей правого и левого глаза к рассматриваемому объекту. Максимальный угол конвергенции примерно 32° .

Бинокулярное зрение — способность человека создавать единый зрительный образ при наблюдении одновременно обоими глазами.

Стереоскопический эффект — способность человека формировать трехмерный объемный образ объектной картины по двум плоским изображениям на сетчатках правого и левого глаза.

1.3. Элементы колориметрии

Спектрально чистые цвета — цвета, определяемые длиной волны воспринимаемого монохроматического излучения.

Табл. 3.

390 нм	430 нм	470 нм	500 нм	530 нм	560 нм	590 нм	620 нм	760 нм
Фиолетовый	Синий	Сине-зеленый	Зеленый	Желто-зеленый	Желтый	Оранжевый	Красный	

Колориметрические системы

Система основных (единичных) цветов RGB.

Длины волн трех единичных цветов RGB соответствуют длинам волн максимума чувствительности трех типов колбочек на сетчатке глаза человека.

ФГУ НУЦ «Сварка и контроль» НОАП НК и Д «СертинК»

Яркость единичных цветов выбирается из условия, что при аддитивном смешении они дают белый цвет

$$R + G + B = E$$

Табл. 4.

Название	Красный	Зеленый	Синий
Обозначение	R	G	B
Длина волны, нм	700	540	435
Яркость, кд/м ²	1.00	4.60	0.06

Система основных цветов XYZ.

Система принята Международной осветительной комиссией для упрощения цветовых расчетов. Основные цвета XYZ физической интерпретации не имеют.

Система физических координат L_aP (HLS).

Система построена на том факте, что любой цвет может быть получен аддитивным смешением белого цвета и спектрально чистого цвета определенной длины волны.

Табл. 5.

Название	Яркость	Цветовой тон	Насыщенность
Обозначение	L	λ	P
Описание	Мощность электромагнитного поля, вызывающего данный цвет	Длина волны монохроматического излучения, смешиваемого с белым	Доля монохроматического излучения в смеси с белым
Размерность	кд/м ²	мкм	—

Смешение цветов

Аддитивное смешение — суммирование волн различной длины (например, освещение одного экрана цветными прожекторами).

Субтрактивное смешение — вычитание излучения одного спектрального состава из излучения другого спектрального состава (например, наложение цветных светофильтров друг на друга).

Ахроматические цвета — белый (E) и все оттенки серого (e), все остальные цвета — **хроматические**.

Дополнительные цвета — цвета, которые при аддитивном смешивании дают белый цвет (например, желтый и синий). При субтрактивном смешении дополнительные цвета используются для контрастирования изображения.

Треугольники смешения цветов.

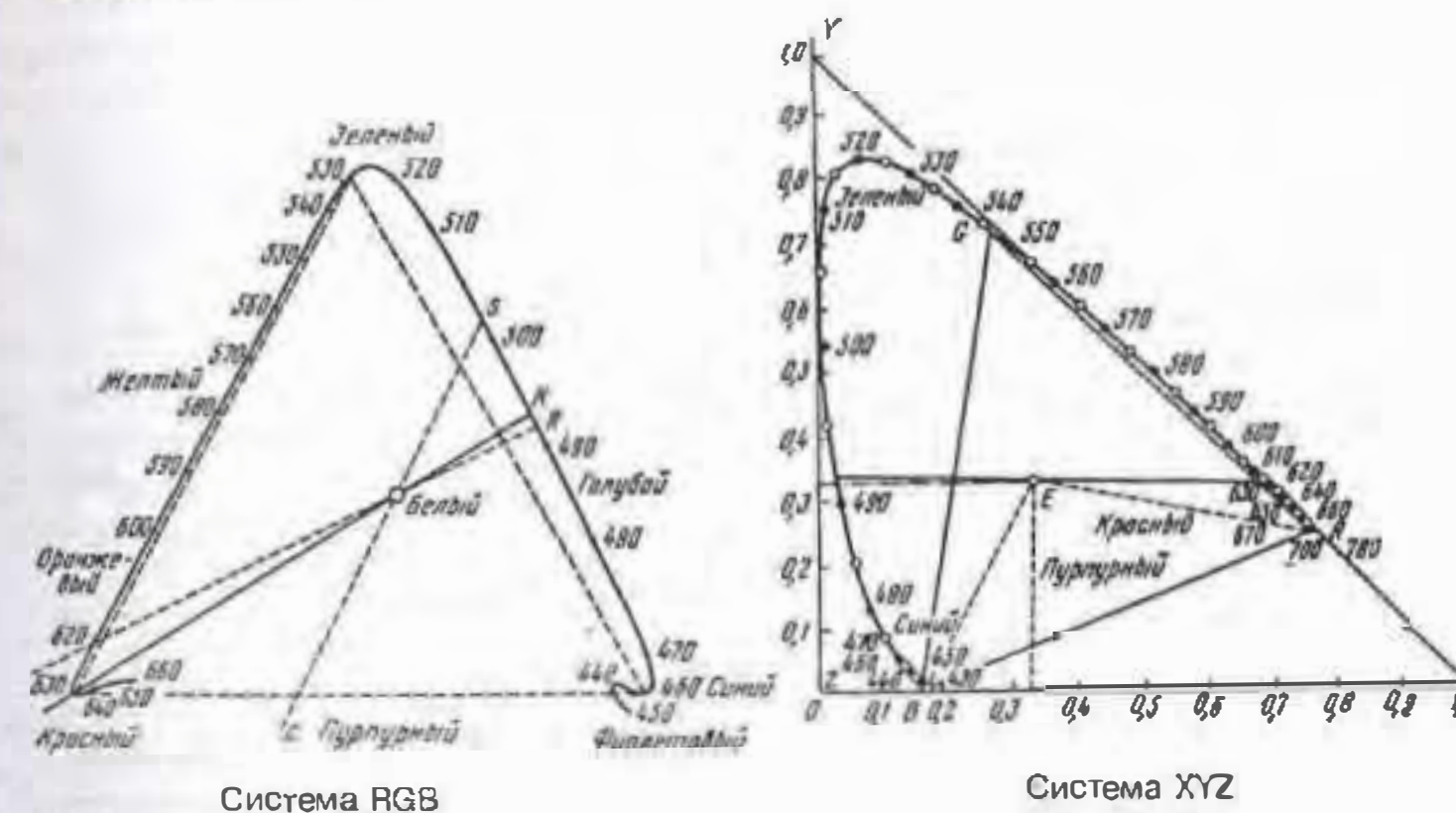


Рис. 6. Треугольники смешения цветов

Цветные светофильтры — в простейшем случае цветные светофильтры представляют собой пластинки из цветного стекла.

Номенклатура стеклянных цветных светофильтров:

<буквы цвета>С<марка конкретного фильтра>

<буквы цвета> — цвет излучения, вырезаемого фильтром из белого, С — стеклянный фильтр,

<марка конкретного фильтра> — спектральная характеристика пропускания.

Табл. 6.

Марка	Название стекла	Марка	Название стекла
УФС	ультрафиолетовые	ФС	фиолетовые
СС	сияние	СЗС	сине-зеленые
ЗС	зеленые	ЖС	желтые

ФГУ НУЦ «Сварка и контроль» НОАП НК и Д «СертиНК»

Продолжение Табл. 6.

Марка	Название стекол	Марка	Название стекол
ОС	оранжевые	КС	красные
ИКС	инфракрасные	ПС	пурпурные
НС	нейтральные	ТС	темные
БС	белые		

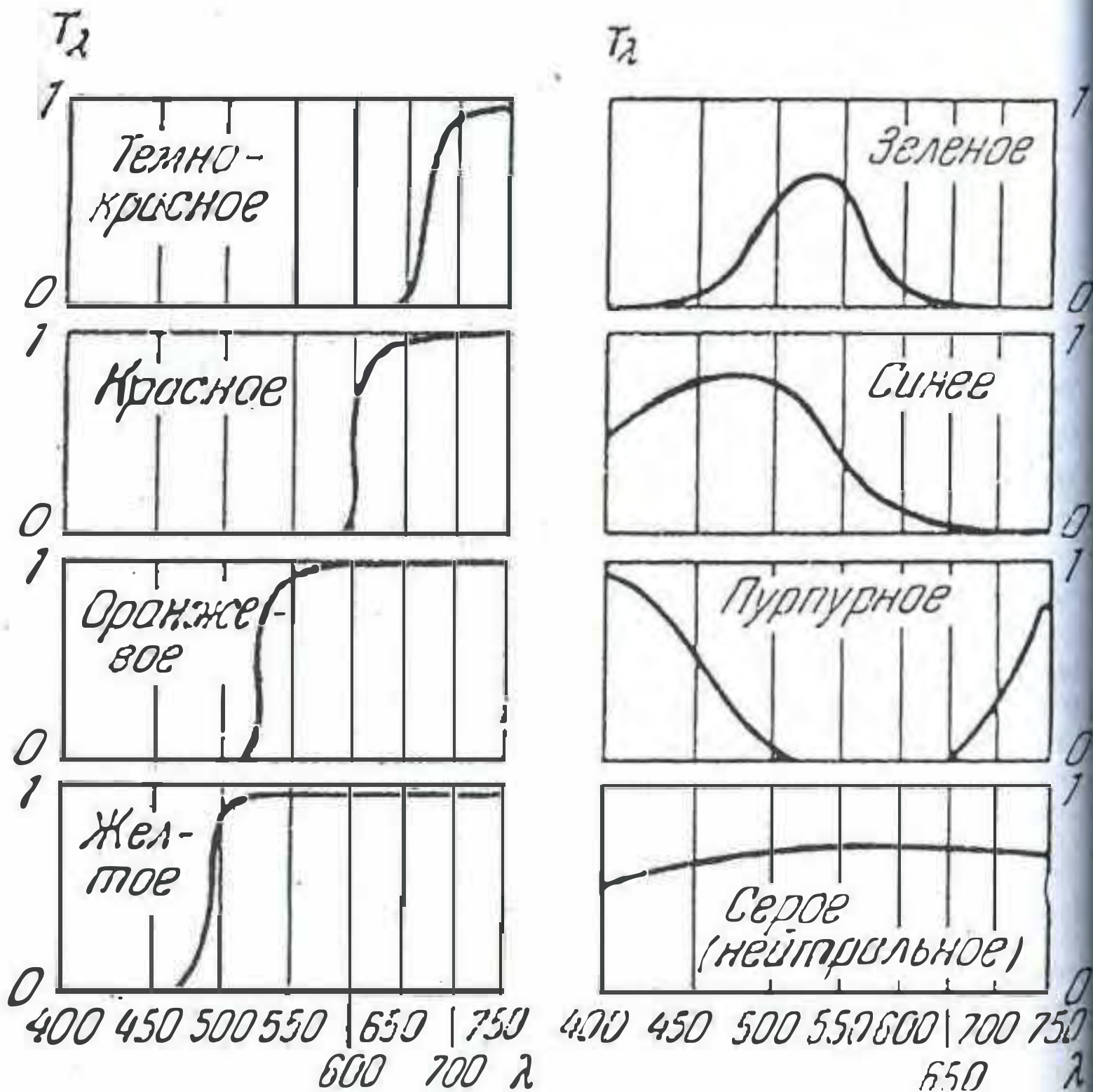


Рис. 7. Графики спектрального пропускания цветных стекол

1.4. Система световых фотометрических величин

Система световых фотометрических величин основана на свойствах глаза, имеет смысл только для видимого диапазона электромагнитных излучений (света) и является основной фотометрической системой, поскольку основная единица этой системы является одной из основных единиц системы СИ и подобных ей систем.

Основная единица световой фотометрической системы — сила света характеризует угловое распределение плотности мощности излучения источника света и определяется с помощью излучения эталонного источника — АЧТ специального типа.

По определению единица силы света кандела (кд) — это сила света, излучаемого перпендикулярно поверхности черного излучателя с площади $1/6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$ при температуре затвердевания платины (2045 К), находящейся под давлением 101 325 Па (1 атм.).

Табл. 7.

Группа	Название	Обозначение	Формула	Размерность
Источники излучения	сила света	I_v	—	кандела, [кд]
	световой поток	Φ_v	$\Phi_v = I_v \Omega$	люмен, [лм]
	яркость	L_v	$L_v = I_v / [\sigma \cos(\theta)]$	[кд/м²]
	светимость	M_v	$M_v = \Phi_v / \sigma_{ист}$	[лм/м²]
Приемники излучения	освещенность	E_v	$E_v = \Phi_v / \sigma_{пр}$	люкс, [лк]
Среда распространения	коэфф. пропускания	τ	$\tau = \Phi_{vт} / \Phi_v$	—
	коэфф. поглощения	κ	$\kappa = \Phi_{v\kappa} / \Phi_v$	—
	коэфф. отражения	ρ	$\rho = \Phi_{v\rho} / \Phi_v$	—

- Ω — телесный угол, в котором распространяется световой пучок,
- σ — площадь поверхности, через которую проходит световой пучок,
- θ — угол между осью светового пучка и нормалью к поверхности, через которую он проходит,
- $\sigma_{ист}$ — площадь поверхности источника излучения,
- $\sigma_{пр}$ — площадь поверхности приемника излучения,
- $\Phi_{vт}$ — световой поток, прошедший через среду,
- $\Phi_{v\kappa}$ — световой поток, поглощенный средой,
- $\Phi_{v\rho}$ — световой поток, отраженный от среды.

Контраст изображения

$w_\lambda(T) = \varepsilon(\lambda) w_\lambda^0(T)$

Контраст изображения

$$K = \frac{L_{\phi} - L_{\lambda}}{L_{\phi}}$$

L_{ϕ} — яркость фона, окружающего дефект,

L_{λ} — яркость изображения дефекта.

При $K > 0,5$ — контраст большой, $0,2 < K < 0,5$ — средний, $K < 0,2$ — малый, по ГОСТ 23479-79.

Глава 2. ОПТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ВИЗУАЛЬНОГО И ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОНТРОЛЯ. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

2.1. Оптическая система, оптическая среда, показатель преломления

Для расширения возможностей зрительной системы оператора используют различные оптические приборы, содержащие оптическую систему.

Оптической системой называют совокупность оптических деталей (линз, призм, зеркал, плоскопараллельных пластин и т. д.), предназначенную для решения задач наблюдения и измерения. При визуальном и измерительном контроле применяют разнообразные оптические приборы: микроскоп, телескоп, фотоаппарат, телевизионные камеры и т. д.

По положению предмета и его изображения оптические системы делят на следующие типы:

- 1) микроскоп (предмет находится на конечном расстоянии, а изображение — в бесконечности);
- 2) телескопическая система (предмет и его изображение находятся в бесконечности);
- 3) объектив (предмет расположен в бесконечности, а изображение — на конечном расстоянии);
- 4) проекционная система (предмет и его изображение расположены на конечном расстоянии от оптической системы).

Часть пространства перед оптической системой, где располагается объект наблюдения (предмет) называют **пространством предметов**, пространство за оптической системой называется **пространством изображений**.

Оптическое излучение на пути от предмета (объекта) до оптической системы и далее до изображения проходит сквозь различные оптические среды.

Оптической средой называется вещество, занимающее определенный объем и пропускающее оптическое излучение. К оптическим средам относятся воздух, стекло, кристаллы, жидкости и специальные среды.

Для изготовления оптических деталей применяют: 1) оптическое бесцветное стекло; 2) цветное оптическое стекло; 3) кварцевое оптическое стекло; 4) пластические массы и другие материалы.

Основным материалом для изготовления оптических деталей служит оптическое бесцветное стекло, которое в зависимости от химического состава имеет определенную совокупность оптических параметров.

Важным параметром, определяющим свойства оптической среды, является показатель преломления.

Показателем преломления называют отношение скорости распространения монохроматического светового луча (луча, характеризующегося определенной длиной волны) в одной среде к скорости распространения этого луча в другой среде, его обозначают через n .

Скорость распространения света в вакууме не зависит от длины волны и равна $299\,792\,458,7 \pm 1,1$ м/с. Скорость света в газах, жидкостях и твердых телах меньше, чем в вакууме, и зависит как от длины волны, так от состояния среды.

Показатель преломления воздуха при температуре 15°C и давлении $101\,325$ Па равен $1,00029$, что позволяет в подавляющем большинстве случаев считать, что для воздуха при нормальных условиях $n \sim 1$ и не зависит от длины волны λ .

2.2. Основные положения и законы геометрической оптики

Светом, или оптическим излучением, является электромагнитное излучение с длинами волн от 1 нм до 1 мм (эти границы условны), имеющее волновой характер распространения. В рамках геометрической оптики оперируют понятием — световой луч. Световым лучом называют перпендикуляр (нормаль) к волновому фронту.

При рассмотрении вопросов построения и работы оптических систем следует опираться на основные положения (законы) геометрической оптики.

1. Закон прямолинейного распространения света.

В однородной и изотропной оптической среде луч света распространяется по прямой. Изотропной называют такую оптическую среду, которая обладает постоянным коэффициентом преломления не зависимо от направления распространения излучения.

2. Закон отражения света.

В точке отражения света угол падения равен углу отражения луча. Углы падения и отражения в оптике отсчитываются от перпендикуляра (нормали) к отражающей поверхности. Для криволинейной отражающей поверхности нормаль строится к касательной в точке отражения.

3. Закон преломления света.

При переходе луча света из одной среды в другую он претерпевает преломление. Ход луча подчиняется следующей зависимости.

$$n \sin \phi = n_1 \sin \phi',$$

где n , n_1 — показатели преломления сред, ϕ , ϕ' — углы падения и преломления луча.

4. Принцип суперпозиции света.

Освещенность поверхности объекта определяется суперпозицией потоков излучения от всех освещающих источников.

5. Закон обратимости хода световых лучей.

Прямой и обратный ход лучей через оптическую систему совпадают. Прямым считают направление хода лучей слева — направо.

6. Закон сохранения энергии.

В нелюминесцирующей оптической среде падающий поток делится на три части: отраженную, поглощенную и прошедшую. Сумма коэффициентов отражения (ρ), поглощения (α) и пропускания (τ) равна 1 .

$$\rho + \alpha + \tau = 1$$

В качестве параметра, характеризующего прозрачность оптической среды (материала), кроме коэффициента пропускания (τ) используют оптическую плотность — D .

$$D = \lg \frac{1}{\tau}$$

2.3. Кардинальные элементы идеальной оптической системы

Пучок параллельных оптической оси лучей, падающих на преломляющую поверхность осесимметричной оптической системы фокусируется в точке F . Полученная точка F' (Рис. 8) лежит на оптической оси и ее называют задним фокусом оптической системы.

Плоскость, проходящую через задний фокус и перпендикулярную к оптической оси, называют **задней фокальной плоскостью** оптической системы.

Действие всех преломляющих, а также отражающих поверхностей оптической системы можно представить действием некоторой пары условных сопряженных плоскостей, перпендикулярных оптической оси, линейное увеличение в которых $\beta = 1$. Одну из этих плоскостей называют **задней главной плоскостью** оптической системы, а точку H' пересечения ее оптической осью — **задней главной точкой** оптической системы.

Положение задней главной плоскости определяется точкой пересечения продолжения луча или самого луча, идущего параллельно оптической оси в пространстве предметов, с продолжением этого же луча или самого луча, прошедшего оптическую систему и образующего в пересечении с оптической осью задний фокус F' (См. Рис. 8).

Приведенные определения можно отнести и к случаю обратного хода лучей, проходящих через оптическую систему, т. е. лучей, идущих справа налево (См. Рис. 8).

В этом случае другую плоскость, сопряженную с задней главной плоскостью (в обратном ходе лучей), называют *передней главной плоскостью*, а точку Н пересечения ее оптической осью — *передней главной точкой*.

Аналогичными построениями можно получить передний фокус F' . Расстояние от главной плоскости до фокуса называют *фокусным расстоянием* (*передним* — f или *задним* — f').

Фокусы, фокальные плоскости, главные плоскости, главные точки и фокусные расстояния называют *кардинальными элементами* оптической системы.

Расстояние от поверхности оптической системы до фокуса называют *вершинным фокусным расстоянием* (S_f').

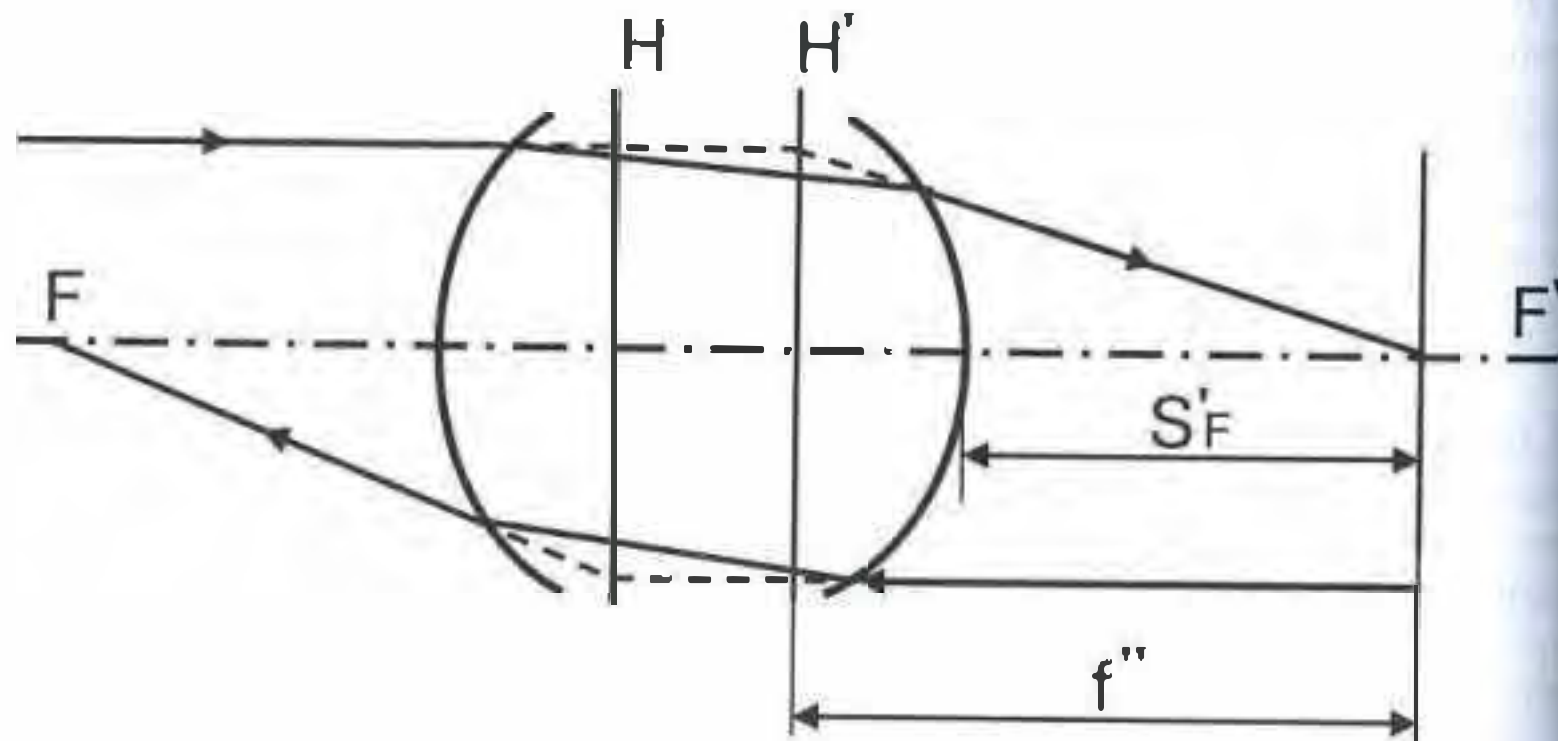


Рис. 8. Кардинальные элементы оптической системы

В тех случаях, когда оптическая система находится в однородной среде, например, в воздухе, заднее и переднее фокусные расстояния равны по абсолютной величине.

Зависимости между положениями и размерами предмета изображения

В рамках геометрической оптики доказано следующее соотношение

$$\frac{1}{a'} - \frac{1}{a} = \frac{1}{f'}$$

где a , a' — расстояния до предмета и его изображения соответственно (Рис. 9).

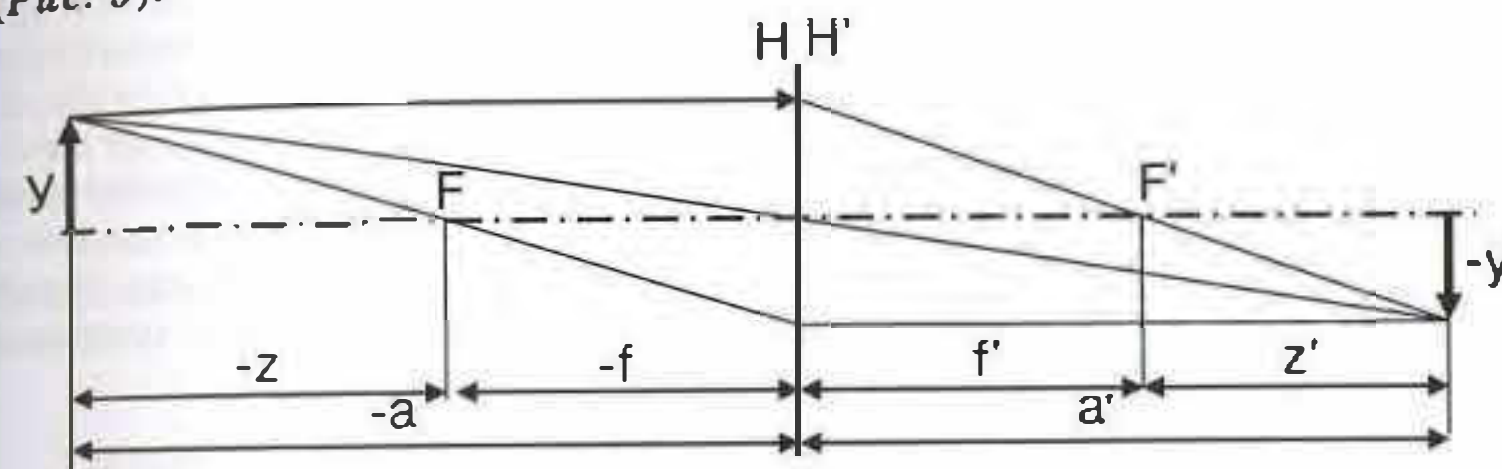


Рис. 9. Связь между положением предмета и его изображением

Линейным увеличением β оптической системы называют отношение линейного размера изображения в направлении, перпендикулярном оптической оси, к соответствующему размеру предмета также в направлении, перпендикулярном оптической оси:

$$\beta = \frac{y'}{y}$$

Диафрагмы оптической системы

Линзы, зеркала, пластины и призмы, входящие в состав оптических систем, имеют конечные размеры и заключены в оправы. Кроме того, во многих оптических системах используют специальные диафрагмы обычно с круглым отверстием, центрированным относительно оптической оси, которые так же, как и оправы ограничивают пучки лучей, проходящих через системы. В результате в оптическую систему поступает лишь часть потока излучения, выходящего из каждой точки объекта, и, в которых, изображается лишь часть пространства предметов.

От действия оправ оптических деталей, являющихся *диафрагмами*, и специальных диафрагм, которые могут иметь изменяемые отверстия (рисовые диафрагмы), зависят: 1) интегральная освещенность изображения; 2) распределение освещенности по полку изображения; 3) угловое или ли-

ФГУ НУЦ «Сварка и контроль» НОАП НК и Д «СертинК»

нейное поле в границах удовлетворительного качества изображения; 4) разрешающая способность изображения; 5) контраст изображения и другие характеристики, относящиеся к качеству изображения.

Диафрагма, ограничивающая пучок лучей, выходящих из осевой точки предмета, и тем самым определяющая освещенность изображения, называется *апертурной*, а диафрагма, расположенная в плоскости предмета или в одной из плоскостей, с ней сопряженных, и ограничивающая размер линейного поля в пространстве изображений — *полевой*.

Входной и выходной зрачки

Если известны положение и диаметр апертурной диафрагмы, то ее изображение в обратном ходе лучей через предшествующие части оптической системы (ход лучей справа налево) называется *входным зрачком* оптической системы. Изображение апертурной диафрагмы в прямом ходе лучей через последующие части оптической системы (ход лучей слева направо) называется *выходным зрачком* оптической системы.

Линейное и угловые поля

Линейным полем оптической системы в пространстве предметов называют наибольший размер изображаемой части плоскости предмета, расположенной на конечном расстоянии, а *линейным полем оптической системы в пространстве изображений* — наибольший размер изображения, расположенного на конечном расстоянии.

Угловым полем оптической системы в пространстве предметов называют удвоенное абсолютное значение угла между оптической осью и лучом в пространстве предметов, проходящим через центр апертурной диафрагмы и край полевой диафрагмы, а *угловым полем оптической системы в пространстве изображений* — удвоенное абсолютное значение угла между оптической осью и лучом в пространстве изображений, проходящим через центр апертурной диафрагмы и край полевой диафрагмы.

Понятие об идеальной оптической системе и ее свойства.

Линейное увеличение

Идеальной оптической системой называют оптическую систему, отображающую каждую точку предмета точкой и сохраняющую заданный масштаб изображения.

В действительности реальные оптические системы не обеспечивают образования абсолютно резкого изображения и его полного соответствия предмету. Это вызвано наличием aberrаций оптической системы.

Аберрации оптической системы

Входящие в оптическую систему гомоцентрические пучки лучей по выходе из системы теряют свою гомоцентричность. Эти нарушения гомоцентричности вышедших из системы пучков лучей, приводящие к снижению качества изображения, являются *абберациями* оптических систем.

В практике расчета оптических систем их aberrации делят на две группы: 1) монохроматические aberrации, возникающие в системе при прохождении через нее монохроматического излучения; 2) хроматические aberrации, возникающие в системе при прохождении через нее излучения сложного спектрального состава.

В подавляющем большинстве случаев aberrации обеих групп проявляются в оптических системах одновременно.

Следует иметь в виду, что aberrации оптической системы принципиально неустранимы. Среди основных составляющих aberrаций рассмотрим две, наиболее значимые.

Сферическая aberrация

Лучи, образующие изображение точки предмета и идущие вблизи оптической оси и на некоторой высоте, пересекаются на разном расстоянии за оптической системой. Эта разность расстояний до изображений точки называется *продольной сферической aberrацией*.

Наличие сферической aberrации в системе приводит к тому, что вместо резкого изображения точки в плоскости идеального изображения получается кружок рассеяния.

Хроматизм положения

Хроматические aberrации появляются в оптических системах в результате разложения на монохроматические составляющие излучения сложного спектрального состава при прохождении лучей через преломляющие поверхности.

Аберрация оптической системы, при наличии которой изображения предметной точки, образуемые в лучах различных длин волн, получаются в разных местах вдоль оптической оси, называется хроматической aberrацией положения, или хроматизмом положения.

Для исправления хроматических aberrаций оптическую систему собирают из нескольких линз, изготовленных из разных марок стекол (крон и флинт).

ОСНОВНЫЕ ТИПЫ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ВИК

Фотографический объектив. Основные характеристики фотообъектива

Фотографическим объективом называется оптическая система, образующая действительное изображение удаленных предметов в плоскости удаленной от него на конечное расстояние (на светочувствительном слое фото и киноплёнки, поверхности фотокатода телевизионной передающей трубки и т.д.).

Объектив — это наиболее важная часть любого оптического прибора, и от его свойств главным образом зависит качество изображения.

Основными оптическими характеристиками объектива являются фокусное расстояние $f_{об'}$, относительное отверстие $D/f_{об'}$ и угловое поле $2W$, разрешающая способность N , распределение освещенности по полю изображения, спектральная характеристика пропускания света, интегральный коэффициент пропускания света, светорассеяние и др.

Фокусное расстояние фотообъектива определяет масштаб изображения, длину системы и ее светосилу.

В основу разделения объективов по фокусному расстоянию принимается отношение этого расстояния к диагонали кадра, которое для нормальных фотообъективов большей частью находится в пределах 0,9–1,5. Объективы, для которых это отношение меньше 0,9 называют короткофокусными, и больше 1,5 — длиннофокусными.

Кроме объективов с постоянным фокусным расстоянием имеются объективы с переменным непрерывно изменяющимся фокусным расстоянием. Такие объективы, называемые панкратическими, позволяют в определенном диапазоне непрерывно изменять масштаб изображения.

Относительное отверстие объектива $D/f_{об'}$ (отношение диаметра входного зрачка к фокусному расстоянию) определяет освещенность изображения и следовательно, светосилу. В зависимости от диафрагменного числа $K = f_{об'}/D$ различают объективы сверхсветосильные ($K < 1,4$); светосильные ($1,4 < K < 2,8$); нормальные ($2,8 < K < 5,6$); несветосильные ($5,6 < K$).

Для относительных отверстий приняты числа: 1 : 0,7; 1 : 1; 1 : 1,4; 1 : 2; 1 : 2,8; 1 : 4; 1 : 5,6; 1 : 8; 1 : 11; 1 : 16; 1 : 22; 1 : 32; 1 : 64.

Разрешающая способность N — показывает сколько линий или предметных точек может изобразить отдельно фотографическая система на отрезке длиной 1 мм. Разрешающая способность обратно пропорциональна диаметру абберрационного пятна объектива.

Для оценки этого параметра используют миры абсолютного контраста.

Виды и особенности проекционных систем

Оптические приборы, предназначенные для получения на экране изображений (проекций) предмета, называют *проекционными*.

Оптические системы проекционных приборов состоят из двух частей — *осветительной* и *проекционной*.

Проекционной оптической системой обычно является *проекционный объектив*. Проекционная и осветительная оптические системы должны быть согласованы между собой с целью получения требуемой освещенности экрана и ее распределения при заданном масштабе изображения (проекции).

В зависимости от характера проецируемых предметов оптические системы проекционных приборов и получаемые проекции разделяют на два вида: эпископические и диаскопические.

Эпископической проекцией называется проекция непрозрачного предмета, образованная лучами света, отраженными от предмета (в отраженном свете).

Диаскопической проекцией называется проекция, образованная лучами света, проходящими сквозь предмет.

Оптические системы, обеспечивающие получение проекций обоих видов, называются эпидиаскопическими.

Основными характеристиками оптических систем проекционных приборов являются масштаб проекции или линейное увеличение, освещенность изображения и размер проецируемого предмета, а иногда экрана. Эти характеристики определяются: 1) проекционным расстоянием; 2) фокусным расстоянием проекционного объектива; 3) его относительным отверстием; 4) яркостью источника света; 5) коэффициентом пропускания всей системы; 6) схемой и конструкцией осветительной системы и др.

Проекционным расстоянием называют расстояние от объектива до экрана. Оно может быть постоянным в процессе эксплуатации системы и переменным.

Лупа и её характеристики

Лупой называется оптическая система, состоящая из линзы или системы из нескольких линз, предназначенная для наблюдения предметов, расположенных на конечном расстоянии.

Основными характеристиками лупы являются видимое увеличение Γ , линейное поле $2u$ в пространстве предметов и диаметр выходного зрачка D' .

Если рассматриваемый предмет расположен в передней фокальной плоскости лупы, то от любой точки предмета в глаз наблюдателя поступают пучки параллельных лучей. В этом случае наблюдатель рассматривает предмет без аккомодации.

Видимым увеличением лупы называется отношение тангенса угла, под которым виден предмет через лупу, к тангенсу угла, под которым наблюдается предмет невооруженным глазом.

$$\Gamma_{\text{л}} = \frac{\operatorname{tg} \varphi_{\text{л}}}{\operatorname{tg} \varphi_0}$$

Видимое увеличение лупы при отсутствии аккомодации глаза

$$\Gamma_{\text{л}} = \frac{250}{f_{\text{л}}'}$$

Известно, что при данном фокусном расстоянии и диаметре лупы для увеличения линейного поля лупы глаз следует располагать как можно ближе к лупе.

Характеристики лупы зависят от ее оптической схемы. При видимых увеличениях до $5-7\times$ лупа выполняется в виде одиночной линзы. Диаметр линейного поля $2u$ с удовлетворительным качеством изображения для одиночной линзы не превышает $0,2f_{\text{л}}'$.

Повышение характеристик лупы возможно за счет усложнения ее оптической схемы, что создает более широкие возможности для исправления aberrаций. Наиболее совершенными лупами с большими увеличениями ($10-40\times$) являются четырехлинзовые системы.

Оптическая схема микроскопа и его основные характеристики

Микроскоп, как и лупа, предназначен для наблюдения близко расположенных предметов. Оптическая схема микроскопа состоит из двух частей: объектива и окуляра. Основными характеристиками микроскопа являются видимое увеличение $\Gamma_{\text{м}}$, линейное поле в пространстве предметов $2u$, диаметр выходного зрачка D' .

Объектив микроскопа создает действительное увеличенное изображение в передней фокальной плоскости окуляра. Действие микрообъектива характеризуют его линейным увеличением $\beta_{\text{об}}$.

Это изображение рассматривается через окуляр, который действует как лупа с видимым увеличением $\Gamma_{\text{ок}}$.

Таким образом, видимое увеличение всего микроскопа

$$\Gamma_{\text{м}} = \beta_{\text{об}} \Gamma_{\text{ок}} = \frac{250}{f_{\text{ок}}'}$$

Оптические системы для визуального и измерительного контроля. Основные понятия

Известно, что при данном угловом поле окуляра линейное поле микроскопа в пространстве предметов тем меньше, чем больше его видимое увеличение.

При наблюдении в микроскоп зрачок глаза нужно совмещать с выходным зрачком микроскопа. Следует также иметь в виду, что выходной зрачок микроскопа в большинстве случаев меньше диаметра зрачка глаза.

Разрешающая способность микроскопа характеризуется величиной, обратной линейному пределу разрешения. Линейный предел разрешения микроскопа, т. е. минимальное расстояние между точками предмета, которые изображаются как отдельные:

где λ — длина волны света, в котором проводится наблюдение;

$$\delta_{\text{м}} = \frac{\lambda}{2A},$$

A — числовая апертура апертура микрообъектива микроскопа.

Для микроскопа вводят понятие — полезное увеличение $\Gamma_{\text{п}}$, которое определяется соотношением, $500A < \Gamma_{\text{п}} < 1000A$, где $A = n \sin \sigma$ — числовая апертура микрообъектива микроскопа, σ — передний апертурный угол микрообъектива.

Микроскоп с видимым увеличением меньше $500A$ не позволяет различать глазом все тонкости структуры предмета, которые изображаются как отдельные микрообъективом данной апертуры A . Однако использование видимого увеличения больше $1000A$ нецелесообразно, так как нельзя выявить более мелкую структуру предмета по сравнению с той, которая различается при полезном увеличении.

Схема телескопической системы и ее основные характеристики

Существует большая группа оптических приборов, позволяющих человеку рассматривать глазом удаленные предметы. К числу таких приборов относятся бинокли, зрительные трубы, стереотрубы и т. д. Оптические системы таких приборов называют телескопическими системами. В этих системах пучок параллельных лучей, поступающий во входной зрачок системы, выходит через выходной зрачок пучком параллельных лучей. Это необходимо, чтобы глаз наблюдателя мог рассматривать изображение, образованное телескопической системой, без напряжения.

Схема телескопической системы состоит как минимум из двух компонентов. Первый компонент, обращенный к рассматриваемым объектам, называется объективом, а второй, обращенный к глазу наблюдателя — окуляром.

Объектив и окуляр телескопической системы соединяют таким образом, чтобы задний фокус объектива совпадал с передним фокусом окуляра.

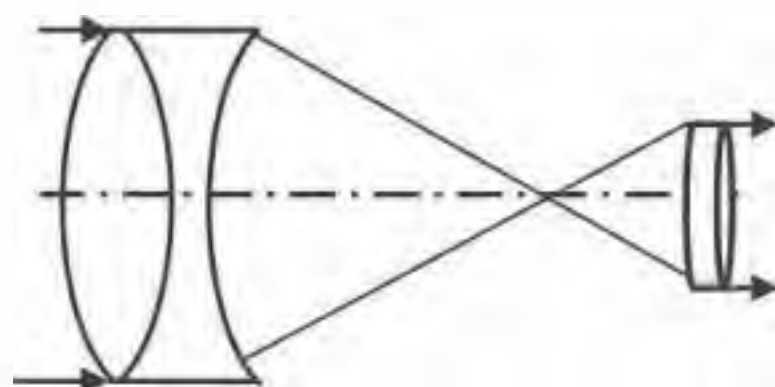
ФГУ НУЦ «Сварка и контроль» НОАП НК и Д «СерТИНК»

Объектив телескопической системы образует действительное перевернутое изображение предмета в своей задней фокальной плоскости и поэтому является положительным компонентом, а окуляр, подобно лупе, позволяет рассматривать это изображение в увеличенном виде. Окуляр может быть как положительным, так и отрицательным. Телескопическую систему, состоящую из положительных объектива и окуляра, называют зрительной трубой Кеплера, а состоящую из положительного объектива и отрицательного окуляра — зрительной трубой Галилея.

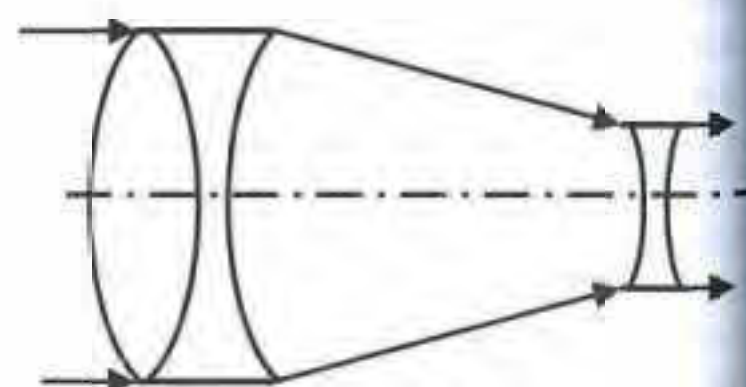
Важнейшими оптическими характеристиками телескопической системы являются: видимое увеличение Γ , угловое поле $2W$ и диаметр выходного зрачка D' . Видимое увеличение Γ телескопической системы равно:

$$\Gamma = \frac{f'_{об}}{f'_{ок}}$$

Знак видимого увеличения говорит об образовании телескопической системой прямого ($\Gamma > 0$) или перевернутого ($\Gamma < 0$) изображения.



а — Кеплера;



б — Галилея.

Рис. 10. Схема зрительной трубы:

Глава 3. МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВИЗУАЛЬНОГО И ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОНТРОЛЯ

1. Измерение и контроль. Основные задачи

В стандарте ИСО/ОПМС 9000: 2000 (системы менеджмента качества). «Основные положения и словарь», «контроль» определяется как «процедура оценивания соответствия путем наблюдения и суждения, сопровождаемых соответствующими измерениями, испытаниями или калибровкой» [Руководство ИСО/МЭК2]. При этом следует иметь в виду, что качество это степень соответствия присущих характеристик требованиям.

Очевидно, что задача контроля определена только тогда, когда понятие «соответствие» определено через конкретные требования к объекту контроля. Причем требования заданы так, что в результате операции контроля может быть принято только одно из двух решений: соответствует или не соответствует. Т.е. не допускается установление таких требований, которые могут привести к неоднозначному решению о соответствии. При визуальном контроле можно выделить два типа несоответствий и соответственно два типа требований: отклонение определенной характеристики и соответствующее требование, ограничивающее диапазон её значений; дефект, который не допускается, или ограничиваются его размеры. В этом контексте к дефектам относят раковины, трещины и т. п. (по ГОСТ Р ИСО 90002001 **дефект**: невыполнение *требования*, связанного с предполагаемым или установленным использованием, т.е. в международной практике используется более широкое толкование дефекта).

В случаях предъявления требования второго типа задача контроля состоит в том, чтобы обнаружить дефекты. В тех случаях, когда дефект допускается, но ограничиваются его размеры, методики контроля совпадают с контролем выполнения требований первого типа. Очевидно, что измерения связаны с контролем требований первого типа. В этом случае из определения контроля следует, что для заключения о «годности» необходимо: 1) дать определение контролируемой характеристики (величины); 2) установить нормативные (или другим способом регламентированные) предельные значения для контролируемой характеристики (величины); 3) выбрать допускаемую процедуру (методику или технологию) сравнения; 4) составить заключение о «годности».

Для визуального контроля можно определить контроль как проверку (путем измерения или сравнения) следующих соотношений:

$$L'r \geq L_{\min} \text{ и } L''r \leq L_{\max},$$

где $L_{\min}$ и $L_{\max}$ — предельные допустимые значения контролируемых характеристик; $L'r$ и $L''r$ — действительные значения контролируемых характеристик.

Деталь (или другой объект) признается годной по данной характеристике (величине), если в результате сравнения с прототипом или измерения принимается решение, что эти соотношения выполняются, и «браком», если хотя бы одно из них не выполняется. Естественно, что из-за погрешности измерения (или сравнения) это решение может быть и ошибочным.

В зависимости от типа реализуемых моделей $D_{\max}$ или $D_{\min}$ различают два вида контроля: сравнением объекта контроля с физическими моделями предельных значений (допускаемых пределов) контролируемой величины («допусковый» контроль): сравнением измеренного значения контролируемой величины с заданными для неё предельными значениями («измерительный» контроль). То есть во втором случае контроль обязательно включает процедуру измерения.

Процесс измерения — это (по ГОСТ Р ИСО 9000–2001) совокупность операций для установления значения величины. **Измерение физической величины** (измерение величины; измерение) (РМГ 29–99) — совокупность операций по применению технического средства, хранящего единицу физической величины, обеспечивающих нахождение соотношения (в явном или неявном виде) измеряемой величины с ее единицей и получение значения этой величины. По ГОСТ Р ИСО 5725 **результат измерений** (test result) — значение характеристики, полученное выполнением регламентированного метода измерений, а **наблюдаемое значение** (observed value): значение характеристики, полученное в результате единичного наблюдения (ИСО 3534–1). В тех случаях, когда невозможно выполнить измерение (не выделена величина как физическая и не определена единица измерений этой величины) практикуется оценивание таких величин по условным шкалам.

Точность измерений — качество измерений, отражающее близость их результатов к истинному значению измеряемой величины. Точность может быть выражена через *правильность* и *прецизионность*. **Правильность измерений** — качество измерений, отражающее близость к нулю систематических погрешностей в их результатах. **Прецизионность** — степень близости друг к другу независимых результатов измерений, полученных в конкретных регламентированных условиях.

Примечания: 1) Прецизионность зависит только от случайных погрешностей и не имеет отношения к истинному или установленному значению измеряемой величины. 2) Мету прецизионности обычно выражают в терминах неточности и вычисляют как стандартное отклонение результатов измерений. 3) «Независимые результаты измерений» — результаты, полученные способом, на который не оказывает влияния никакой предшествующий результат, полученный при испытаниях того же самого или подобного объекта.

Сходимость измерений — качество измерений, отражающее близость друг к другу результатов измерений, выполненных в одинаковых условиях. **Воспроизводимость измерений** — качество измерений, отражающее близость друг к другу результатов измерений, выполняемых в различных условиях.

Качество контроля оценивается вероятностью ошибок 1-го и 2-го рода. Применительно к контролю ошибка 1-го рода — это признание годного изделия браком. Ошибка 2-го рода — это признание бракованного изделия (детали) годным. При контроле сравнением с физическими моделями ошибки обусловлены погрешностями реализации моделей и погрешностями процесса сравнения, а при измерительном контроле — погрешностью измерения.

Погрешность измерения — отклонение результата измерения от истинного (действительного) значения. При этом за *действительное значение физической величины* (действительное значение величины; действительное значение) принимают значение физической величины, полученное экспериментальным путем и настолько близкое к истинному значению, что в поставленной измерительной задаче может быть использовано вместо него. Очевидно, что понятие «истинное» имеет практический смысл в том случае, если под ним понимается значение, которое для поставленной задачи идеально отражает соответствующую характеристику объекта измерения.

(В ГОСТ Р ИСО 5725 вводится понятие «принятое опорное значение»: значение, которое служит, в качестве согласованного для сравнения и получено как:

- теоретическое или установленное значение, базирующееся на научных принципах;
- приписанное или аттестованное значение, базирующееся на экспериментальных работах какой-либо Национальной или международной организации;
- согласованное или аттестованное значение, базирующееся на совместных экспериментальных работах под руководством научной или инженерной группы;
- математическое ожидание измеряемой характеристики, то есть среднее значение заданной совокупности результатов измерений — лишь в случае, когда а), б) и с) недоступны (ИСО 35341).

В 1993 году рядом международных организаций, включая Международную Организацию по Законодательной Метрологии (МОЗМ), разработано «Руководство по выражению неопределенности измерений» (далее «Руководство»). Целями «Руководства» являются: обеспечение полной информации о том, как составлять отчеты о неопределенностях измерений; предоставление основы для международного сопоставления результатов измерений; предоставление универсального метода для выражения и оценивания неопределенности измерений, применимого ко всем видам измерений и всем типам данных, используемых при измерениях. В этом Руководстве и в VIM (Международный словарь основных терминов в метрологии) предлагается следующее определение неопределенности (измерения): параметр, связанный с результатом измерения и характеризующий разброс значений, которые могли бы быть обоснованно приписаны измеряемой величине.

Характеристика объекта контроля

Целью введения и определения характеристик объектов контроля является обеспечение возможности определять отличие реального объекта контроля от его идеальной модели. **Реальная поверхность** — поверхность, ограничивающая деталь и отделяющая её от окружающей среды. **Действительный размер** — размер элементов детали, установленный измерением с допускаемой погрешностью. При определении погрешности использовался термин «действительная величина». Заметим, что принципиальных различий в определениях этих терминов нет. Но их различное целевое назначение приводит к различным требованиям к точности определения действительной величины и действительного размера.

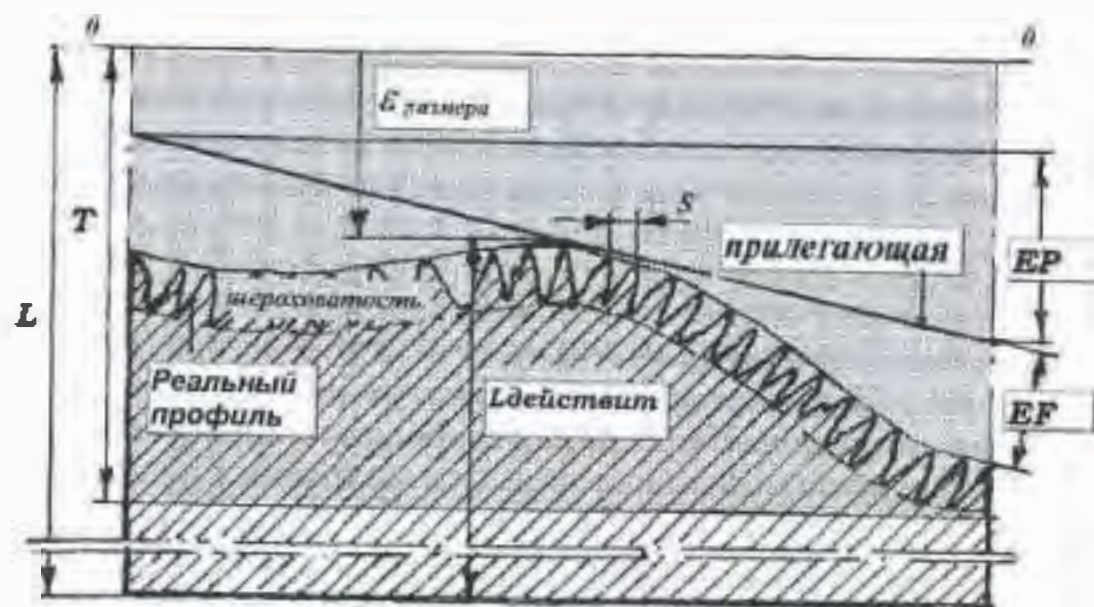


Рис. 11. Составляющие погрешности обработки

Нормирование и оценка точности реальных деталей основана на разделении погрешности изготовления на: погрешность размера; погрешность формы (включая волнистость или выделяя ее как отдельную составляющую погрешности изготовления в необходимых случаях); погрешность расположения; шероховатость поверхности (Рис. 11). При этом поверхности, профили, оси и их взаимные расположения представленные чертежом или другой технической документацией называют **номинальными**. **Профиль** — линия пересечения поверхности плоскостью или заданной поверхностью. **Реальная ось** — геометрическое место центров сечений поверхности вращения, перпендикулярных оси прилегающей поверхности. За центр сечения принимается центр прилегающей окружности. Под **отклонением** понимается алгебраическая разность между любым значением величины (размера или другого параметра) и значением этой величины, принятым за начало отсчета. За начало отсчёта отклонений размера принимается номинальный размер (на Рис. 11—L).

Для контроля в первую очередь сопрягаемых размеров деталей ГОСТ 25346–89 устанавливает понятия **предел максимума материала** и **предел минимума материала**. Предел максимума материала (проходной предел) — термин, относящийся к тому из предельных размеров, которому соответствует наибольший объем материала, т.е. наибольшему предельному размеру вала и наименьшему предельному размеру отверстия. **Предел минимума материала** (непроходной предел) — термин, относящийся к тому из предельных размеров, которому соответствует наименьший объем материала. За **предельный размер**, соответствующий **пределу максимума материала** (наибольший предельный размер вала и наименьший предельный размер отверстия), должен приниматься размер правильного воображаемого цилиндра, который должен быть наибольшим прилегающим для отверстия и наименьшим прилегающим для вала. **Предельные размеры**, соответствующие **пределу минимума материала** (наибольший размер отверстия и наименьший размер вала) должны соответствовать размерам, определяемым при двухточечной схеме измерения, т.е. по результатам измерения расстояний между двумя точками. ГОСТ 25346–89 для элементов детали, не образующих посадки, допускает толкование обоих предельных размеров, как размеров, соответствующих результатам измерения по двухточечной схеме в любом месте. **Действительное отклонение** — алгебраическая разность между действительным и соответствующим номинальным размером. **Верхнее отклонение** (es) — алгебраическая разность между наибольшим предельным и соответствующим номинальным размером. **Нижнее отклонение** (ei) — алгебраическая разность между наименьшим предельным и соответствующим номинальным размером. **Допуск** (T) — разность между наибольшим и наименьшим предельными размерами или алгебраическая разность между верхним и нижним отклонениями. Допуск является нормативным

ограничением диапазона рассеивания отклонений. Он устанавливает требования к точности процесса изготовления. Поле допуска — поле, ограниченное наибольшим и наименьшим предельными размерами и определяемое величиной допуска и его положением относительно номинального размера. Положение поля допуска относительно номинального размера регламентируется наименьшим по абсолютной величине предельным отклонением, которое названо *основным отклонением*.

Для гладких элементов деталей действующая система допусков и посадок регламентирована ГОСТ 25346–89 «Единая система допусков и посадок. Общие положения, ряды допусков и основных отклонений» и ГОСТ 25347–82 «Единая система допусков и посадок. Поля допусков и рекомендуемые посадки». Эти стандарты распространяются на размеры до 3150 мм. ГОСТ 25348–82 распространяется на размеры от 3150 мм до 10000 мм. Значения допусков по ГОСТ 25346–89 нормированы 20 квалитетами (рядами допусков): 01; 0; 1; 2; ...; 18. В основе построения рядов положены зависимости погрешности от значения величины. Поэтому квалитет, отражая одинаковые требования к точности, является возрастающим рядом (чем больше значение величины, тем больше допуск). Квалитеты перечислены в порядке убывания точности, и, следовательно, в порядке возрастания зависимости погрешности от значения размера. Их обозначают соответственно: IT01; IT0; IT1; IT2; ...; IT17; IT18.

ГОСТ 25346–82 предусматривает три варианта обозначения полей допусков и посадок на чертежах и в другой технической документации:

1-ый — 40H7, 40g6; 2-ой — $40^{+0,025}_{-0,009}$, $40^{-0,009}_{-0,025}$; 3-ий — 40H7^(+0,025), 40g6^(-0,009).

Отклонение 0 не указывается. Основным отклонением JS и js являются среднее и равное 0 (это исключение из общего правила). В этих случаях предельные отклонения по модулю равны половине допуска и обозначения имеют вид: 40js6; 40±0,008; 40js6 (± 0,008). При обозначении посадок рядом с номинальным размером вначале указывают поле допуска отверстия, а затем поле допуска вала: 40H7/g6.

Предельные отклонения размеров с неуказанными допусками. Поле допуска может не указываться непосредственно у размера. В этом случае предельное отклонение регламентируется ГОСТ 30893.1–2002. В соответствии с этим стандартом точность размеров нормируется следующими классами точности: точный класс f (допускается обозначение t_1 или IT12); средний класс m (соответственно t_2 или IT13, IT14); грубый класс c (соответственно t_3 или IT15, IT16); очень грубый класс v (соответственно t_4 или IT17).

Не указанные индивидуально допуски формы и расположения поверхностей регламентируются ГОСТ 30893.2 — 2002. Он устанавливает три класса точности: Н, К и L. Пример записи на чертеже: «Общие допуски ГОСТ 30893.2 — mH».

При измерительном контроле *допускаемая погрешность измерения* (δ) выбирается в зависимости от величины допуска. Поэтому ряды допусков образовали ряды допускаемых погрешностей измерения. Для каждого квалитета установлен свой ряд допускаемых погрешностей измерения и, следовательно, чем больше допуск, тем больше допускаемая погрешность измерения. Для линейных размеров до 500 мм её значения регламентированы ГОСТ 8.051. В стандарте для контроля размеров высоких квалитетов точности допускаемая погрешность может составлять около 0,35T, а низких — около 0,22T. Введение допускаемой погрешности означает, что допускается признавать годными детали, размеры которых выходят за установленные пределы на некоторую величину. В частности, указанный стандарт разрешает выход за пределы поля допуска на 0,6 δ . Если выход за пределы поля допуска недопустим, то конструктор обязан указать другие контрольные границы для указанного на чертеже поля допуска. Но при этом следует учитывать, что такое смещение приведет к увеличению ошибки 1-го рода (признание браком деталей, размеры которых находятся в пределах заданного конструктором поля допуска). Поясним на схеме (Рис. 2). На ней верхняя контрольная граница совпадает с наибольшим предельным размером L_{max} , а нижняя контрольная граница выше наименьшего предельного размера, то есть размер L_{kmin} , принятый в качестве нижней контрольной границы, больше наименьшего размера L_{min} . Предположим, что действительное значение контролируемого размера L_r , а допускаемая погрешность измерения δ . Тогда результат измерения (при однократном наблюдении) может быть любым в интервале $[L_r - \delta; L_r + \delta]$. Очевидно, любой результат из этого (и даже большего) интервала не приведет к ошибке контроля. Но если действительное значение будет близко к предельному (например L_{max}), то возникает вероятность (не нулевая) ошибки контроля. При появлении L_r в интервале $[L_{max} - \delta; L_{max}]$ может иметь место ошибка 1-го рода, а интервале $[L_{max}; L_{max} + \delta]$ — ошибка 2-го рода (признание размера детали «соответствующим требованию», в то время как его значение не входит в поле допуска). Указанная на схеме нижняя контрольная граница L_{kmin} расширяет область значений действительных размеров, в которой они из-за погрешности измерения (или сравнения) могут быть признаны меньше допустимого значения. Эта область равна $[L_{min}; L_{kmin} + \delta]$. Её расширение и смещение приведёт к существенному увеличению вероятности появления ошибки 1-го рода, но одновременно к исключению появления ошибки 2-го рода (при обеспечении погрешности измерения в пределах δ). Если издержки от ошибок 2-го рода оказываются велики, то проводят перепроверку брака, используя при этом измерения, в том числе и с многократными наблюдениями и (или) с меньшей погрешностью измерения в сравнении с погрешностью при первоначальном контроле.

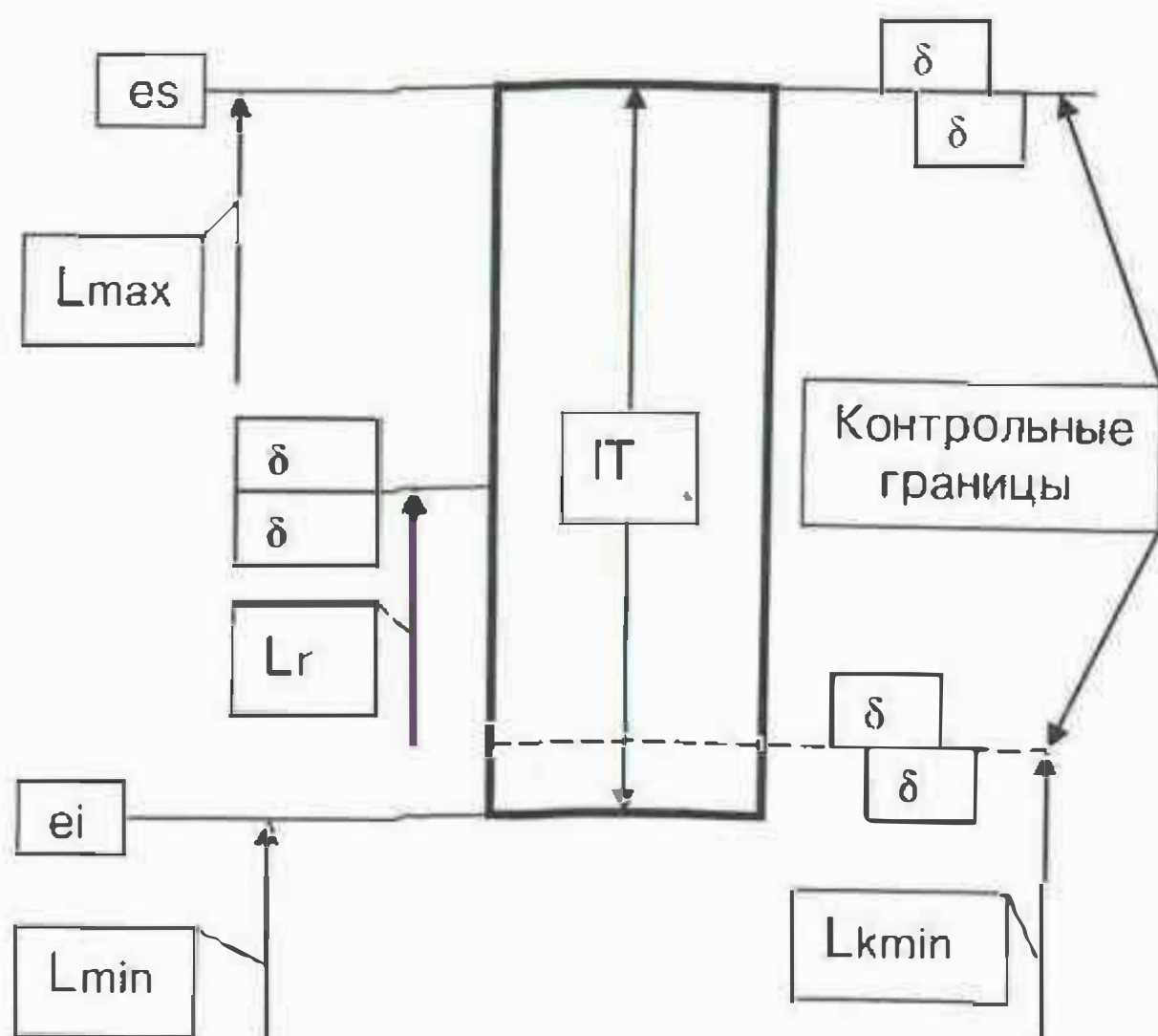


Рис. 12. Схема взаимного расположения контрольных границ и допускаемых догрешностей измерений

Допуск и допускаемая погрешность измерения вместе определяют лишь планируемые ошибки контроля, основанные на предположении, что значимые диапазоны рассеивания погрешностей изготовления и измерения совпадают соответственно с Допуском и допускаемой погрешностью измерения. В действительности такое совпадение является частным случаем. Вероятности ошибок 1-го и 2-го рода определяются законами распределения погрешностей изготовления и измерения. Например, используя рис.2, можно утверждать, что при совпадении центра рассеивания погрешностей изготовления со серединой поля допуска, диапазоне рассеивания меньше допуска на 2δ и нормальном законе распределения, вероятность ошибки контроля будет пренебрежимо мала (практически равна нулю). Невысокие требования к точности обработки, как правило, назначают тогда, когда они определяются только технологическими ограничениями. Но в этом случае допуск назначают существенно больше значимого диапазона рассеивания (значимый диапазон обычно принимают равным 6σ). Поэтому при контро-

де в этих случаях допускается измерять размер в произвольном сечении, не связывая методику измерения с понятиями «предел максимума материала» и «предел минимума материала». Например, при контроле вала можно использовать двух точечную схему измерения. В частности, такая схема реализуется при измерении вала штангенциркулем и микрометром.

При контроле предельными калибрами для каждого предельного размера проектируется соответствующий предельный калибр — рабочий проходной и рабочий непроходной. Проходной калибр предназначен для контроля соответствия действительных размеров пределу максимума материала, а непроходной — пределу минимума материала. Например, идеальный проходной калибр для контроля отверстия должен быть цилиндром без погрешностей формы длиной, равной длине контролируемой поверхности, диаметром, равным пределу максимума материала, и не изнашиваться. Естественно, что для реального калибра диаметр может иметь погрешность, рассеивание которой ограничено допуском на изготовление. Это рассеивание при контроле проявляется аналогично погрешности измерения. При этом можно принять, что допуск калибра $H \approx 2\delta$. Для изготовления проходных калибров поле допуска смещено от контролируемого предела внутрь поля допуска контролируемой детали. Это позволяет продлить срок службы проходного калибра, но одновременно увеличивает вероятность ошибки 1го рода при контроле новыми калибрами. Его действительный размер при эксплуатации ограничивается предельным отклонением износа. Поэтому приемочные калибры выбирают из рабочих изношенных. Поле допуска непроходного калибра располагается симметрично относительно контролируемого предела.

Нормальные калибры должны быть прототипом контролируемой детали, но с размерами соответствующими пределам минимума материала. Соответствие второму предельному размеру определяется «на глаз» или с помощью щупов.

Разделение погрешностей изготовления на составляющие проведено так, что шероховатость выделена в отдельный класс погрешностей. Это выделение согласуется с определениями пределов максимума и минимума материала. Из этого следует требование к методикам контроля: при измерении размеров отклонений формы и расположения шероховатость поверхности должна быть исключена из результатов измерения.

Отклонение формы количественно оценивается наибольшим расстоянием от точек реальной поверхности (профиля) до прилегающей поверхности (профиля) по нормали к прилегающей поверхности (профилю) (на Рис. 11 — EF). Так как шероховатость поверхности не должна включаться в отклонение формы, то отклонение формы по существу относится к отклонению огибающей (шероховатость) поверхности от прилегающей. В обоснованных случаях допускается нормировать отклонение формы, включая шерохова-

тость поверхности. Допускается за начало отклонений формы принимать среднюю поверхность или средний профиль. При определении отклонения формы от среднего за оценку ее величины принимают сумму двух абсолютных значений наибольших отклонений точек реальной поверхности (профиля), лежащих по обе стороны от среднего профиля.

Отклонение расположения — это отклонение реального расположения рассматриваемого элемента от его номинального расположения. При этом реальные поверхности (профили) заменяются прилегающими, а за оси, плоскости симметрии и центры реальных поверхностей или профилей принимаются оси, плоскости симметрии и центры прилегающих элементов. При нормировании и оценке отклонений расположения за базу принимают элемент детали (или выполняющее ту же функцию сочетание элементов), определяющий одну из плоскостей или осей системы координат. За оценку отклонения расположения принимают максимальное линейное значение на длине контролируемой поверхности (на Рис. 11 — EP), если нет иных указаний в технической документации.

Выделение в отдельный класс погрешностей, обосновано с эксплуатационной, технологической и метрологической точек зрения. Для решения задач контроля необходимо, чтобы критерии оценки шероховатости отвечающие следующим требованиям: однозначность понимания; возможность количественного нормирования; метрологическая обеспеченность измерений.

При определении характеристик шероховатости принимают, что та часть реального профиля, которую определяют как шероховатость, содержит существенную периодическую составляющую, достаточную для того, чтобы ограничиться некоторым представительным участком для оценки шероховатости всей поверхности. Длину этого участка называют базовой длиной.

То есть:

1. Шероховатость рассматривают в сечении, естественно, таком, которое выявляет наибольшие по высоте отклонения.
2. В сечении выделяют длину, которую можно считать достаточно хорошим представителем шероховатости всей поверхности. При этом принимается, что базовая длина должна включать не менее пяти характерных для поверхности неровностей.

При разделении погрешности обработки поверхностей на составляющие, к шероховатости отнесли совокупность неровностей профилей поверхности с относительно малыми шагами а именно те неровности, для которых выполнено условие:

$$S_j/R_j \leq 50, \text{ для данной поверхности, где:}$$

R_j — высота неровности данной поверхности,

S_j — шаг любой неровности профиля.

Из принятого определения шероховатости следует, что отдельные и другие мелкие дефекты поверхности не относятся к шероховатости. А это значит, что при контроле шероховатости необходимо исключить их влияние на результат контроля, а при контроле дефектов должны быть исключена шероховатость.

Параметры, характеризующие шероховатости поверхности

Для количественной характеристики шероховатости поверхности ГОСТом 2789-73 устанавливаются параметры, которые можно разделить на три группы, характеризующие соответственно: высоту неровностей профиля; шаг неровностей профиля; площадь предполагаемого контакта. Все параметры, характеризующие шероховатость поверхности, определяются в пределах базовой длины l (Рис. 13).

К параметрам, характеризующим высоту неровностей профиля, относятся:

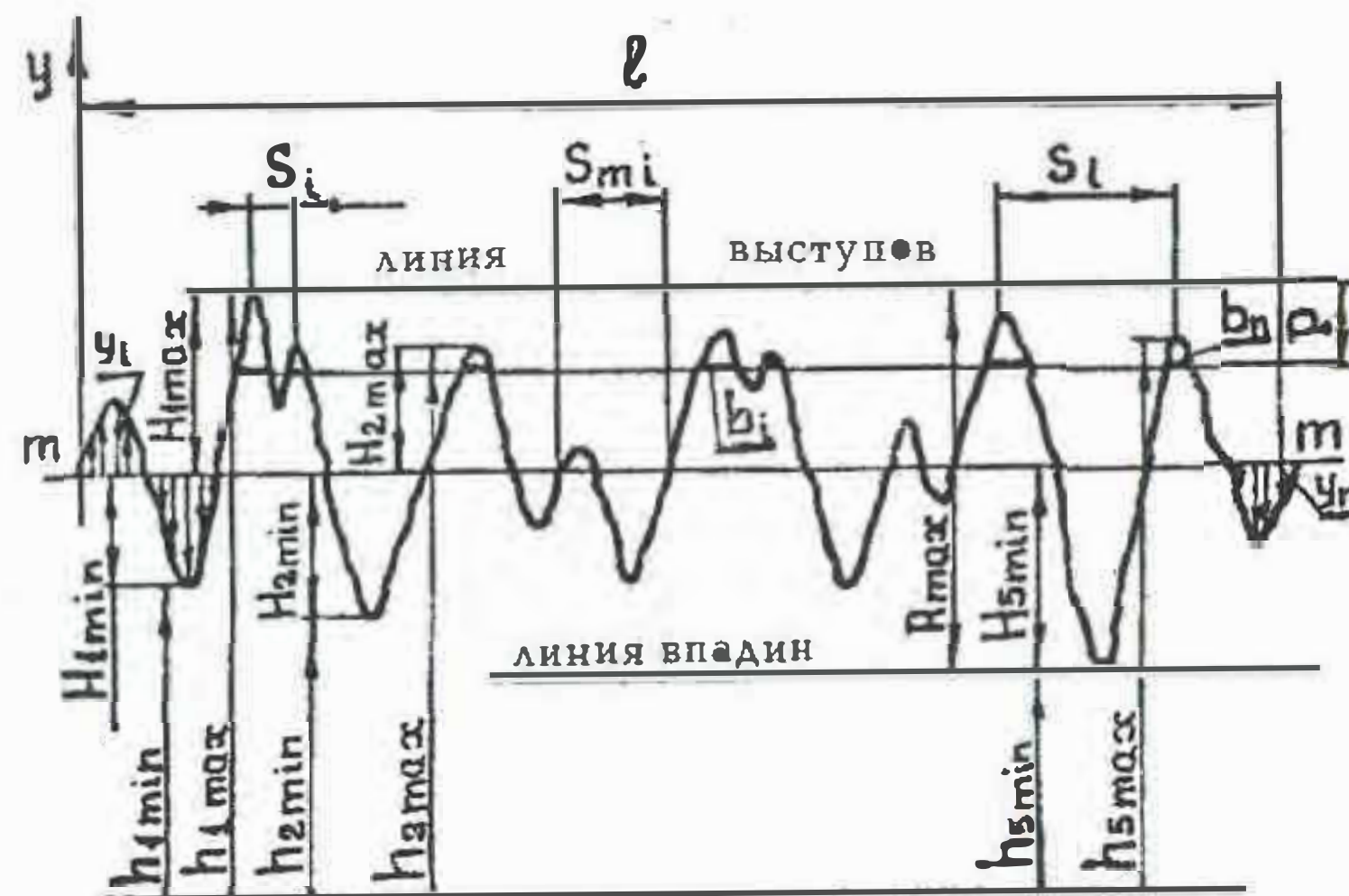


Рис. 13. Исходные величины для определения критериев оценки шероховатости поверхности

R_s — среднее арифметическое отклонение профиля; R_z — высота неровностей профиля по десяти точкам.

Среднее арифметическое отклонение профиля R_a — среднее арифметическое из абсолютных значений отклонений профиля в пределах базовой длины, т.е. (См. Рис. 13)

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx ,$$

Или приближенно

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

где n — число измеренных ординат y_i в пределах базовой длины.

Высота неровностей профиля по десяти точкам R_z — среднее значение суммы абсолютных высот пяти наибольших выступов профиля $H_{i \max}$ и глубин пяти наибольших впадин профиля $H_{i \min}$, т.е.

$$R_z = \frac{\sum_{i=1}^5 H_{i \max} + \left| \sum_{i=1}^5 H_{i \min} \right|}{5} ,$$

На некоторых измерительных приборах удобнее за начало отсчета принимать линию, параллельную средней и не пересекающую профиль. В этом случае, как видно из Рис. 13

$$R_z = \frac{\sum_{i=1}^5 h_{i \max} + \left| \sum_{i=1}^5 h_{i \min} \right|}{5} ,$$

К параметрам, характеризующим шаг неровностей, относятся: — средний шаг неровностей профиля; S_m — средний шаг неровностей по вершинам.

Средний шаг неровностей профиля. S_m — среднее значение шага неровностей S_{mi} (См. Рис. 13) профиля в пределах базовой длины,

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

где n — число шагов в пределах базовой длины.

Средний шаг неровностей профиля по вершинам. S — среднее значение шага неровностей профиля по вершинам S_i (См. Рис. 13) в пределах базовой длины,

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

где n — число шагов в пределах базовой длины.

Площадь предполагаемого контакта характеризуется параметром t_p — относительной опорной длиной профиля.

Относительная опорная длина профиля t_p — это отношение опорной длины профиля к базовой длине l :

$$t_p = \frac{r_p}{l} 100\% .$$

Опорная длина профиля r_p — это сумма длин отрезков, отсекаемых на заданном уровне в материале выступов профиля линией, эквидистантной средней линии, в пределах базовой длины (См. Рис. 13).

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

где n — число отрезков, образовавшихся на линии, эквидистантной средней в пределах базовой длины, в результате ее пересечения с профилем.

Уровень p , на котором определяется опорная длина профиля, выбирается в процентах от наибольшей высоты профиля $R_{\max}$

$$p = \frac{R}{R_{\max}} 100\% .$$

При этом $R_{\max}$ определяется как разность между линией выступов и линией впадин, которые проводятся эквидистантно (для плоскостей — параллельно) средней линии, и проходят, соответственно, через высшую и низшую точки профиля в пределах базовой длины (См. Рис. 13).

Нормирование шероховатости поверхностей осуществляется назначением предельного (или предельных) числового значения одного или нескольких параметров, рассмотренных выше. Такие значения должны выбираться из стандартных рядов чисел, установленных ГОСТом 2789-73. Установленные требования указываются на чертежах деталей. Параметры R_z и R_a применяются чаще других при установлении требований к шероховатости. При выборе допустимых значений или при замене одного параметра на другой следует иметь в виду, что при введении стандартных рядов допускаемых значений принималось допускаемое значение параметра R_z больше R_a примерно в 4 раза в интервале значений R_a от 2.5 до 12.5 мкм и в пять раз при его значениях от 0.1 до 2.5 мкм.

Для контроля шероховатости используют специальные методы и средства. Один из самых простых методов — это сравнение контролируемой поверхности с аттестованными образцами. Но область применения его ограничена: $R_z \geq 10$ мкм. Кроме того образцы должны быть выполнены из того же материала, что и контролируемая деталь, а поверхность образца должна быть обработана тем же методом, каким обрабатывалась контролируемая поверхность. Не соблюдение этих требований существенно увеличивает вероятность ошибки контроля. Для уменьшения ошибки контроля по образцам применяют специальные лупы и микроскопы сравнения.

Применяемые для контроля средства измерения шероховатости основаны на использовании одного из двух методов: метод светового (или теневое) сечения; метод ощупывания. Первый основан на том, что на контролируемую поверхность под углом 45° направляют узкую световую щель (или узкую полосу тени) и одну из границ света и тени наблюдают через специальный измерительный микроскоп. При этом микроскоп располагают под 90° к плоскости светового сечения. При установке контролируемой детали на столике микроскопа следует иметь в виду, что для определения шероховатости поверхности введено следующее определение реального профиля: **реальный профиль** — сечение реальной поверхности плоскостью, ориентированной в заданном направлении по отношению к геометрической поверхности. Заданное направление должно обеспечивать выявление максимальных высот неровностей.

Метод ощупывания основан на том, что реальный профиль ощупывается движущейся иглой связанной с индуктивным (или другим) преобразователем. Колебание положения иглы записываются и определяются действительные значения параметров шероховатости. На этом принципе разработаны как стационарные лабораторные приборы, так и ручные приборы, которые применяются для контроля шероховатости непосредственно на месте обработки поверхностей.

Для контроля шероховатости трудно доступных поверхностей или поверхностей сложной формы применяют метод слепков. На поверхность на-

кладывают специальный материал, который при затвердевании повторяет реальный профиль поверхности, и затем контролируют шероховатость поверхности слепка.

Основы измерений с многократными наблюдениями

Необходимость использования многократных наблюдений при измерениях возникает тогда, когда абсолютное значение величины случайной составляющей погрешности измерения оказывается близкой к допускаемой погрешности измерения с недопустимо большой вероятностью. Тогда выдвигается гипотеза о том, что среднее значение большого числа ($n \rightarrow \infty$) наблюдений и есть действительное значение измеряемой величины. Естественно, при этом предполагается, что наблюдения содержат в себе случайные отклонения от среднего, вся совокупность которых симметрично распределена относительно среднего. То есть в этой совокупности одинаково часто встречаются отклонения равные по абсолютной величине (считая от среднего) и противоположные по знаку. Необходимым условием применения измерений с многократными наблюдениями является использование шкал с ценой деления меньшей, чем любое значимое значение случайной составляющей погрешности измерения. При этом не является обязательным такое же требование и к допускаемой погрешности средства измерения. Поэтому не случайно некоторые средства измерения имеют цену деления шкалы меньше, чем допускаемая погрешность этого средства. Например, цена деления универсальных измерительных микроскопов (1 мкм) меньше, чем допускаемая для них погрешность (например, $1,2 + L/120$). Результат измерения с многократными наблюдениями должен быть представлен в установленной стандартом форме и получают его, используя статистические методы обработки данных. Рассмотрим эти методы.

Предположим, что при измерении величины производится не одно, а серия из n наблюдений, то есть многократно (n раз) повторяется вся последовательность операций при измерении одной и той же величины. В результате получим n значений измеряемой величины $X (x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_n)$. Если бы действительное значение (x_r) измеряемой величины было известно, то получили бы следующие значения погрешностей измерения:

$$\varepsilon_j = x_j - x_r, j = 1 \dots n$$

Среднее значение погрешности

$$\bar{\varepsilon}_n = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \varepsilon_j$$

Если при достаточно большом n вычисленное среднее значение погрешности не равно нулю, то можно утверждать, что имеет место систематическая погрешность измерения.

По ГОСТ Р ИСО 5725 систематическая погрешность — разность между математическим ожиданием результатов измерений и истинным (или в его отсутствие — принятым опорным) значением.

В общем случае к систематическому значению величины относят любое её закономерное изменение (или изменение её отклонения). Поэтому постоянное значение систематической погрешности является частным случаем. Систематическая погрешность может иметь место и при изготовлении деталей. Например, при обработке партии деталей одного размера можно обнаружить тенденцию к изменению размеров обработанных деталей при неизменной настройке станка. Выделить эту тенденцию (аналитически или графически) — значит определить систематическую погрешность. Тогда все отклонения от выделенной систематической составляющей будут рассматриваться как значения случайных составляющих. Случайные погрешности являются функциями случайных факторов. Случайная погрешность измерения (случайная погрешность) — составляющая погрешности результата измерения, изменяющаяся случайным образом (по знаку и значению) при повторных измерениях, проведенных с одинаковой тщательностью, одной и той же физической величины.

Для характеристики случайных погрешностей используют различные оценки рассеивания. При нормальном распределении для оценки рассеивания может использоваться размах выборки

$$R = x_{j \max} - x_{j \min},$$

где $x_{j \max}$ и $x_{j \min}$ — соответственно наибольшее и наименьшее значения из n наблюдений.

При небольших n ($n < 10$) эта оценка имеет неплохую эффективность, если исключены промахи (грубые погрешности). Но при больших n такая оценка мало эффективна по сравнению с диапазоном рассеивания, определяемым через среднеквадратическое отклонение.

Для сравнительной оценки случайной составляющей погрешности измерения двух и более методик измерения можно использовать среднее квадратическое отклонение σ . При ограниченном n представительную и несмещенную оценку σ определяют в виде

$$S_n = \sqrt{[1/(n-1)] / \sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x})^2}$$

Эту оценку называют эмпирическим среднеквадратическим отклонением (в отличие от теоретического σ).

Для определения диапазона рассеивания необходимо задать вероятность появления погрешности в определяемом диапазоне. Например, при нормальном законе распределения, вероятности $\sim 0,997$ соответствует диапазон $[+3\sigma; -3\sigma]$, а вероятности $0,956$ — $[+2\sigma; -2\sigma]$.

Следует иметь в виду, что *промахи* при проведении измерений должны исключаться из данных, используемых при вычислении оценок статистических параметров. Промах (грубая погрешность измерений) — погрешность результата отдельного измерения, входящего в ряд измерений, которая для данных условий резко отличается от остальных результатов этого ряда.

Если на основании анализа процесса измерения не удастся исключить причины или увидеть и отбросить промахи, то для их выявления используют критерии, основанные на предположении незначимой вероятности их появления.

Предположим, что из всех результатов наблюдений подозрительным является значение $x_{\max}$, а распределение следует нормальному закону. Принимается уровень значимости, определяющий вероятность α перехода действительным отклонением некоторой границы. Значение $x_{\max}$ считают промахом, если

$$x_{\max} \geq \bar{x} + t_{\alpha} S_n$$

или

$$x_{\max} \leq \bar{x} - t_{\alpha} S_n$$

где t_{α} — квантиль распределения принятого закона распределения для назначенного значимого значения вероятности; и S_n определяются по выборке объема n .

Если принять значимую вероятность $0,025$ (т.е. считать любое случайное отклонение, появляющееся с вероятностью менее $0,025$, промахом), то для исключения промаха будем считать таковым любой результат измерения, если его отклонение от среднего по модулю больше $2 S_n$.

При ограниченном числе наблюдений в среднем значении частично остаются случайные составляющие. Поэтому в представляемых результатах измерений с многократными наблюдениями должен указываться и доверительный интервал. Доверительный интервал среднего (полученного при $n \rightarrow \infty$) — это интервал, который с заданной вероятностью накрывает это среднее. Доверительный интервал для $\bar{X}$, отвечающий доверительной вероятности ($P = 1 - \alpha$):

$$(\bar{x} - t_{\alpha, n-1} S_n / \sqrt{n}; \bar{x} + t_{\alpha, n-1} S_n / \sqrt{n})$$

где $t_{\alpha, n-1}$ — коэффициент Стьюдента.

✓ **Пример:** Определить доверительный интервал математического ожидания при доверительной вероятности $P = 1 - \alpha = 0,95$, если произведено $n = 10$ наблюдений и получены следующие значения измеряемой величины: $x_1 = -2$, $x_2 = +1$, $x_3 = -2$, $x_4 = +3$, $x_5 = +4$, $x_6 = +4$, $x_7 = -2$, $x_8 = +5$, $x_9 = +3$, $x_{10} = +4$.

Вычислим среднее и среднеквадратическое: $\bar{x} = +2$ и $S_{\bar{x}} = 2,4$. Известно, что $t_{\alpha, n-1} = t_{5,9} = 2,262$. Следовательно, значение $t_{\alpha, n-1} S_{\bar{x}}/\sqrt{n} = 1,72$. Тогда с вероятностью 0,95 доверительный интервал (0,18; 3,72) покрывает математическое ожидание. В соответствии с требованиями стандарта результат измерения должен быть представлен в виде: $X = 2,00 \pm 1,72$, $n = 10$, $P = 0,95$.

Основные требования к методикам выполнения измерений

МВИ разрабатывают и применяют с целью обеспечения выполнения измерений с погрешностью, не превышающей требуемой или приписанной характеристики. При составлении методик измерения (в соответствии с ГОСТ Р 8.563 «ГСИ. Методики выполнения измерений»), выборе методов и средств измерений погрешность измерения необходимо рассматривать как сложную величину:

$$\varepsilon \Rightarrow \{\varepsilon_m; \varepsilon_{ин}; \varepsilon_{суб}\},$$

где ε_m — методическая составляющая погрешности измерения — методическая погрешность; $\varepsilon_{ин}$ — инструментальная составляющая погрешности измерения — инструментальная погрешность; $\varepsilon_{суб}$ — погрешность, вносимая оператором, — субъективная погрешность.

Методическая погрешность — это разность между значением величины по определению и тем значением, которое могло бы быть получено по выбранной методике (технологии) измерения при отсутствии инструментальной и субъективной погрешностей измерения.

В большинстве случаев для линейных и угловых величин методическая погрешность — это результат несоответствия схемы и условий измерения содержанию определения измеряемой величины. Она обусловлена погрешностью базирования, погрешностью от измерительной силы, изменением размеров контролируемого изделия из-за отклонений от нормальной температуры, эффектом квантования, отличием алгоритма вычислений от функции, строго связывающей результаты наблюдений с измеряемой величиной, и др.

Инструментальная погрешность измерения (инструментальная погрешность) — составляющая погрешности измерения, обусловленная погрешностью применяемого средства измерений. Погрешность средства измерения, используемого в нормальных условиях, называют **основной погрешностью средства измерений** (основной погрешностью).

Нормальные условия измерений (нормальные условия) — условия измерения, характеризующие совокупностью значений или областей значений влияющих величин, при которых изменением результата измерений пренебрегают вследствие малости.

✓ **Примечание:** Нормальные условия измерений устанавливаются в нормативных документах на средства измерений конкретного типа или по их поверке (калибровке).

Составляющая погрешности средства измерений, возникающая дополнительно к основной погрешности вследствие отклонения какой-либо из влияющих величин от нормального ее значения или вследствие ее выхода за пределы нормальной области значений называется **дополнительной погрешностью средства измерений** (дополнительная погрешность). В связи с этим устанавливают рабочую область значений влияющей величины и рабочие условия измерений.

Рабочая область значений влияющей величины (рабочая область) — область значений влияющей величины, в пределах которой нормируют дополнительную погрешность или изменение показаний средства измерений.

Рабочие условия измерений — условия измерений, при которых значения влияющих величин находятся в пределах рабочих областей.

✓ **Пример:** Для измерительного конденсатора нормируют дополнительную погрешность на отклонение температуры окружающего воздуха от нормальной.)

В паспорте средства измерения указывают значение допускаемой погрешности средства измерения для ограничения основной погрешности средства, если не указаны условия эксплуатации.

Субъективная погрешность включает погрешность считывания значений измеряемой величины со шкал и диаграмм и некоторые погрешности обработки диаграмм.

Результаты измерения признаются достоверными, если погрешность измерения не превышает установленной допускаемой погрешности измерения. Следовательно, допускаемая погрешность средства измерения не должна превышать разности между допускаемой погрешностью измерения и суммой методической и субъективной. Следует иметь в виду, что измерения могут быть как **прямыми**, так и **косвенными**. Измерения, при которых искомую величину находят непосредственно из опытных данных, называют прямыми. Если искомую величину находят на основании известной зависимости между этой величиной и величинами, полученными прямыми измерениями, то измерения называют косвенными. Погрешность косвенного измерения включает погрешность прямого измерения и погрешность, обусловленную неточностью используемой зависимости между величиной получаемой прямыми измерениями и искомой величиной.

В документах (разделах, частях документов), регламентирующих МВИ, в общем случае указывают: назначение МВИ; условия измерений; требования к погрешности измерений или (и) приписанные характеристики погрешности измерений; метод (методы) измерений; требования к средствам измерений (в т.ч. к стандартным образцам, аттестованным смесям), вспомогательным устройствам, материалам, растворам или указывают типы средств измерений, их характеристики и обозначения документов, где приведены требования к средствам измерений (ГОСТ, ТУ и другие документы); операции при подготовке к выполнению измерений; операции при выполнении измерений; операции обработки и вычисления результатов измерений; нормы, процедуры и периодичность контроля погрешности результатов выполняемых измерений; требования к оформлению результатов измерений; требования к квалификации операторов; требования к обеспечению безопасности выполняемых работ; требования к обеспечению экологической безопасности; другие требования и операции (при необходимости).

В документах на МВИ излагают требования и операции из числа перечисленных, обеспечивающие выполнение требований к погрешности измерений или приписанной характеристики погрешности измерений. В документах на МВИ, в которых предусмотрено использование конкретных экземпляров средств измерений и других технических средств, дополнительно указывают заводские (инвентарные и т.п.) номера экземпляров средств измерений и других технических средств.

Единство измерений

Под *единством измерений* понимается состояние измерений, характеризующееся тем, что их результаты выражаются в узаконенных единицах, размеры которых в установленных пределах равны размерам единиц, воспроизводимых первичными эталонами, а погрешности результатов измерений известны и с заданной вероятностью не выходят за установленные пределы. Важнейшим элементом системы обеспечения единства измерений является система передачи единицы величины. Метрологической основой системы являются поверка средств измерений, осуществляемая в соответствии с поверочными схемами.

Поверка средств измерений (поверка) — установление органом государственной метрологической службы (или другим официально уполномоченным органом, организацией) пригодности средства измерений к применению на основании экспериментально определяемых метрологических характеристик и подтверждения их соответствия установленным обязательным требованиям. Поверке подвергают средства измерений, подлежащие государственному метрологическому контролю и надзору. При повер-

Метрологическое обеспечение визуального и измерительного контроля

ке используют эталон. Поверку приводят в соответствии с обязательными требованиями, установленными нормативными документами по поверке. Поверку проводят специально обученные специалисты, аттестованные в качестве поверителей органами Государственной метрологической службы. Результаты поверки средств измерений, признанных годными к применению, оформляют выдачей свидетельства о поверке, нанесением поверительного клейма или иными способами, установленными нормативными документами по поверке. Другими официально уполномоченными органами, которым может быть предоставлено право приведения поверки, являются аккредитованные метрологические службы юридических лиц. Аккредитации на право поверки средств измерений проводится уполномоченным на то государственным органом управления.

Поверочная схема для средств измерений (поверочная схема) — нормативный документ, устанавливающий соподчинение средств измерений, участвующих в передаче размера единицы от эталона рабочим средствам измерений (с указанием методов и погрешности при передаче). Укрупненно поверочная схема может быть представлена в виде:

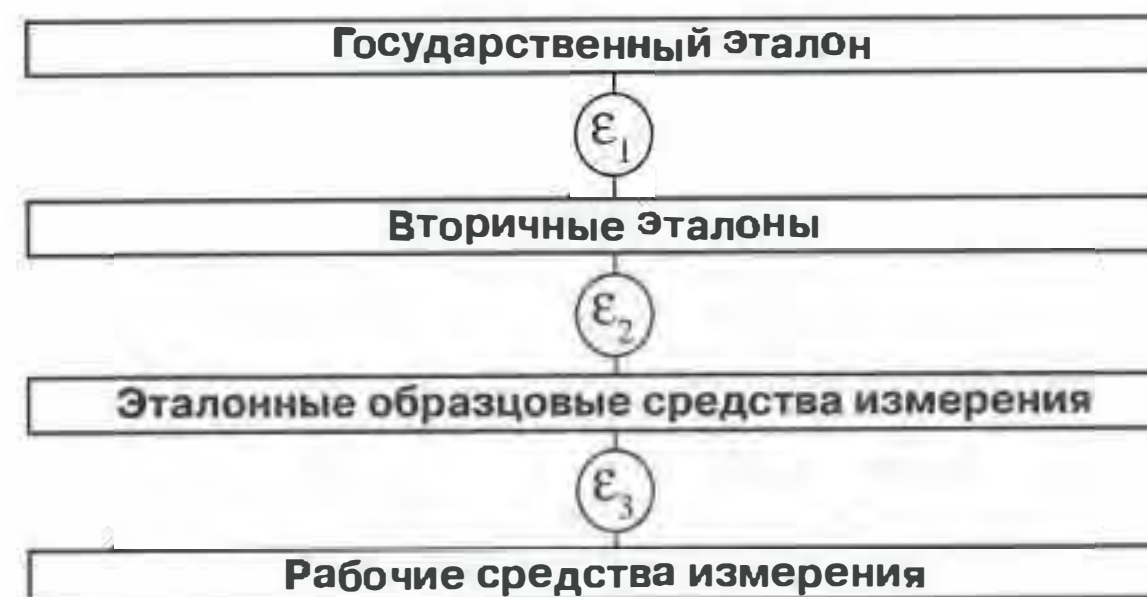


Рис. 14. Основные блоки поверочной схемы

Поверочные схемы для каждой физической величины также, как и эталоны, установлены ГОСТами. В действительности, схемы сложнее, чем схема представленная на рис. 14. ГОСТы на эталоны и поверочные схемы входят в комплекс стандартов ГСИ (государственная система измерений), которые регламентируют деятельность по обеспечению единства измерений в России. Из государственных поверочных схем могут выделяться (или создаваться на их основе) локальные поверочные схемы. **Локальная поверочная схема** — поверочная схема, распространяющаяся на средства измерений данной физической величины, применяемые в регионе, отрасли, ведомстве или на отдельном предприятии (в организации).

Средства измерений, не подлежащие государственному метрологическому контролю и надзору могут подвергаться калибровке. **Калибровка средств измерений** (калибровка) — совокупность операций, устанавливающих соотношение между значением величины, полученным с помощью данного средства измерений и соответствующим значением величины, определенным с помощью эталона с целью определения действительных метрологических характеристик этого средства измерений. Результаты калибровки позволяют определить действительное значение измеряемой величины, показываемые средством измерений, или поправки к его показаниям, или оценить погрешность этих средств. При калибровке могут быть определены и другие метрологические характеристики. Результаты калибровки средств измерений удостоверяются **калибровочным знаком**, наносимым на средства измерений, или **сертификатом о калибровке**, а также записью в эксплуатационных документах. Сертификат о калибровке представляет собой документ, удостоверяющий факт и результаты калибровки средства измерений, который выдается организацией, осуществляющей калибровку.

Организационная структура обеспечения единства измерений включает систему региональных центров и поверочных лабораторий.

Принципы и методы измерений. Характеристики средств измерений

Принцип измерений — физическое явление или эффект, положенное в основу измерений. Принцип реализуется в конструкции средства измерения. Например, универсальный измерительный микроскоп основан на оптическом принципе, в штангенциркулях используется механический или электрический принцип. Для преобразования измеряемой величины могут использоваться последовательно несколько принципов. Например, в оптиметре использован оптикомеханический принцип.

Метод измерений — прием или совокупность приемов сравнения измеряемой физической величины с ее единицей в соответствии с реализованным принципом измерений. Метод измерений обычно обусловлен устройством средств измерений. В визуальном измерительном контроле получили распространение: **метод непосредственной оценки** — метод измерений, при котором значение величины определяют непосредственно по показывающему средству измерений, и **метод сравнения с мерой** (метод сравнения) — метод измерений, в котором измеряемую величину сравнивают с величиной, воспроизводимой мерой. При этом мера выступает не в виде неотъемлемой части конструкции измерительного прибора, а как самостоятельное средство измерения, предназначенное для воспроизведения физической величины заданного размера. **Мера физической величины** (мера величины; мера) — средство измерений, предназначенное для воспроиз-

Метрологическое обеспечение визуального и измерительного контроля

ведения и (или) хранений физической величины одного или нескольких заданных размеров, значения которых выражены в установленных единицах и известны с необходимой точностью.

☑ (Различают следующие разновидности мер: однозначная мера — мера, воспроизводящая физическую величину одного размера; многозначная мера — мера, воспроизводящая физическую величину разных размеров (например, штриховая мера длины); набор мер — комплект мер разного размера одной и той же физической величины, предназначенных для применения на практике как в отдельности, так и в различных сочетаниях (например, набор концевых мер длины); магазин мер — набор мер, конструктивно объединенных в единое устройство, в котором имеются приспособления для их соединения в различных комбинациях).

Особенности и ограничения области применения метода непосредственной оценки: измерение в широком диапазоне без перенастройки; измерения в условиях гибкого производства; использование средств измерений с относительно простыми элементами базирования; существенная зависимость погрешности средства измерения от значения измеряемой величины; ограниченная возможность измерения размеров и других параметров в сложных по конструкции деталях; высокая доля стоимости прибора в стоимости измерений. Особенности и ограничения области применения метода сравнения: малый диапазон показаний; возможность обеспечения высокой чувствительности средства измерения; эффективность в массовом и серийном производстве (в том числе и за счёт создания многомерных приспособлений); относительно небольшая инструментальная составляющая погрешности измерения; возможность компенсации ряда возмущающих факторов при настройке; возможность уменьшения методической составляющей погрешности измерения за счёт применения в качестве меры высокоточной аттестованной образцовой детали.

При измерении размеров (длин) выделяют контактные и бесконтактные методы. Приведённый выше метод измерения шероховатости на двойных микроскопах является бесконтактным, а щуповыми приборами — контактным. При этом в первом случае используется оптический принцип, а во втором — электрический.

К средствам измерительной техники относят средства измерения и их совокупности (измерительные системы, измерительные установки), измерительные принадлежности, измерительные устройства. Средство измерения — техническое средство, предназначенное для измерений, имеющее нормированные метрологические характеристики, воспроизводящее и (или) хранящее единицу физической величины, размер которой принимают неизменным (в пределах установленной погрешности) в течение известного интервала времени.

Метрологические характеристики средства измерений (метрологическая характеристика; МХ) — характеристика одного из свойств средства измерений, влияющая на результат измерений и на его погрешность. Для

каждого типа средств измерений устанавливают свои метрологические характеристики. Метрологические характеристики, устанавливаемые нормативнотехническими документами, называют *нормируемыми метрологическими характеристиками*; а определяемые экспериментально — *действительными метрологическими характеристиками*.

К характеристикам средств измерений относятся: диапазон показаний; цена деления; длина деления шкалы; диапазон измерений; чувствительность; порог чувствительности и др.

Диапазон показаний средства измерений (диапазон показаний) — область значений шкалы прибора, ограниченная начальным и конечным значениями шкалы.

Цена деления шкалы (цена деления) — разность значения величины, соответствующих двум соседним отметкам шкалы средства измерений.

Длина деления шкалы — расстояние между осями (или центрами) двух соседних отметок шкалы, измеренное вдоль воображаемой линии, проходящей через середины самых коротких отметок шкалы.

Диапазон измерений средства измерений (диапазон измерений) — область значений величины, в пределах которой нормированы допускаемые пределы погрешности средства измерений.

Чувствительность средства измерений (чувствительность) — свойство средства измерений, определяемое отношением изменения выходного сигнала этого средства к вызывающему его изменению измеряемой величины.

Порог чувствительности средства измерений (порог чувствительности) — характеристика средства измерений в виде наименьшего значения изменения физической величины, начиная с которого может осуществляться ее измерение данным средством.

Глава 4. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ВИЗУАЛЬНОГО И ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОНТРОЛЯ

Инструкция по визуальному и измерительному контролю РД 03-606-03 — основной документ по технологии проведения визуального и измерительного контроля. Ниже приводятся наиболее содержательные, по мнению авторов, выдержки из этого документа, что не исключает обязательное ознакомление с его полным объемом.

Нумерация глав и пунктов сохранена такой же, как в РД 03-606-03.

I. Область применения

Настоящая инструкция устанавливает порядок проведения визуального и измерительного контроля основного материала (далее материала) и сварных соединений (наплавки) при изготовлении, строительстве, монтаже, ремонте, реконструкции, эксплуатации, техническом диагностировании (освидетельствовании) технических устройств и сооружений, применяемых и эксплуатируемых на опасных производственных объектах, подконтрольных Госгортехнадзору России.

II. Общие положения

3.1. Визуальный и измерительный контроль материала (полуфабрикатов, заготовок, деталей) и сварных соединений проводят на следующих стадиях:

- входного контроля;
- изготовления деталей, сборочных единиц и изделий;
- подготовки деталей и сборочных единиц к сборке;
- подготовки деталей и сборочных единиц к сварке;
- сборки деталей и сборочных единиц под сварку;
- процесса сварки;
- контроля готовых сварных соединений и наплавки;
- исправления дефектных участков в материале и сварных соединениях (наплавках);
- оценки состояния материала и сварных соединений в процессе эксплуатации технических устройств и сооружений, в т.ч. по истечении установленного срока их эксплуатации.

3.1.4. Визуальный и измерительный контроль проводят невооруженным глазом и (или) с применением визуальнотехнических приборов до 20-кратного увеличения (луп, микроскопов, эндоскопов, зеркал и др.). При контроле материала и сварных соединений (наплавки) при изготовлении

(строительстве, монтаже, ремонте и реконструкции) технических устройств и сооружений используют лупы с 2–7 кратным увеличением, а при оценке состояния технических устройств и сооружений в процессе их эксплуатации — лупы до 20-кратного увеличения.

3.15. Визуальный и измерительный контроль выполняют до проведения контроля материалов и сварных соединений (наплавки) другими методами неразрушающего контроля, а также после устранения дефектов.

3.20. При визуальном и измерительном контроле сварных соединений контролируемая зона должна включать в себя поверхность металла шва, а так же примыкающие к нему участки материала в обе стороны от шва шириной: не менее 5 мм — для стыковых соединений, выполненных дуговой и электроннолучевой сваркой, электроконтактной сваркой оплавлением, сваркой встык нагретым элементом при номинальной толщине сваренных деталей до 5 мм включительно; не менее номинальной толщины стенки детали — для стыковых соединений, выполненных дуговой и электроннолучевой сваркой, электроконтактной сваркой оплавлением, сваркой встык нагретым элементом при номинальной толщине сваренных деталей свыше 5 до 20 мм; не менее 20 мм — для стыковых соединений, выполненных дуговой и электроннолучевой сваркой, электроконтактной сваркой оплавлением, сваркой встык нагретым элементом при номинальной толщине сваренных деталей свыше 20 мм, а также для стыковых и угловых соединений, выполненных газовой сваркой, независимо от номинальной толщины стенки сваренных деталей и при ремонте дефектных участков в сварных соединениях; не менее 5 мм (независимо от номинальной толщины сваренных деталей) — для угловых, тавровых, торцевых и нахлесточных сварных соединений и соединений вварки труб в трубные доски, выполненных дуговой и электроннолучевой сваркой; не менее 50 мм (независимо от номинальной толщины сваренных деталей) для сварных соединений, выполненных электрошлаковой сваркой.

V. Требования к средствам визуального и измерительного контроля*

5.1. При визуальном и измерительном контроле применяют:

- лупы, в т.ч. измерительные;
- линейки измерительные металлические;
- угольники поверочные 90° лекальные;
- штангенциркули, штангенрейсмасы и штангенглубиномеры;
- щупы;
- угломеры с нониусом;
- стенкомеры и толщиномеры индикаторные;
- микрометры;

Технология проведения визуального и измерительного контроля

- нутромеры микрометрические и индикаторные;
- калибры;
- эндоскопы;
- шаблоны, в том числе специальные и универсальные (например, типа УШС), радиусные, резьбовые и др.;
- поверочные плиты;
- плоскопараллельные концевые меры длины с набором специальных принадлежностей;
- штриховые меры длины (стальные измерительные линейки, рулетки).

Допускается применение других средств визуального и измерительного контроля, при условии наличия соответствующих инструкций методик их применения. Примерный перечень средств визуального и измерительного контроля приведен в *Примерном перечне средств визуального и измерительного контроля*.

Примерный перечень средств визуального и измерительного контроля

Табл. 1. Типы луп, применяемые при визуальном и измерительном контроле

Тип	Назначение	Конструктивное исполнение	Группа лупы	Оптическая система
Лупа просмотрная (ЛП)	Для просмотра деталей, мелких предметов и т.д.	Складные, с ручкой, штативные, с подсветкой	Малого, среднего, большого, увеличивающая	Простая однолинзовая, многолинзовая корригированная
Лупа измерительная (ЛИ)	Для линейных, угловых измерений	В оправе имеющей диоптрийную подвижку и измерительную шкалу	Среднего увеличения	Многолинзовая корригированная

Табл. 2. Приборы и инструменты для измерительного контроля

Тип прибора, инструмента	Марка (рекомендуемая)
Профилограф-профилометр	Модель 170311
Люксметр	Ю-116
Образцы шероховатости поверхности (сравнения)	
Угломер с нониусом	M127, УМ4, УМ5

Продолжение Табл. 2. Приборы и инструменты для измерительного контроля

Тип прибора, инструмента	Марка (рекомендуемая)
Стенкомер индикаторный	С-2, С-10А, С-10В, С-25, С-50
Стенкомер индикаторный	С-10А, С-10Б
Штангенциркуль двусторонний с глубиномером	ШЦ-1-125
Толщиномер индикаторный	ТР 10-60, ТР 25-60, ТР50-160, ТР 50-250
Щуп	N 1, N 2, N 3, N 4
Набор радиусных шаблонов	N 1, N 2, N 3
Набор специальных шаблонов	
Набор резьбовых шаблонов	M60, Д55
Универсальный шаблон сварщика	УШС-3
Линейка измерительная металлическая	150 мм, 300 мм, 500 мм, 1000 мм
Метр складной металлический	
Рулетка металлическая	
Угольник поверочный 90-лекальный плоский	УЛП-1-60, УЛП-1-160
Меры длины концевые плоскопараллельные	2-Н7 (2 класс, набор N 7)
Меры длины концевые плоскопараллельные	2-Н1

Табл. 3. Приборы и средства измерений отклонений от прямолинейности и плоскостности

Тип прибора, инструмента	Марка (рекомендуемая)	Длины измеряемых поверхностей, мм
Интерферометр	ИЗК-40	свыше 400 до 6300
Автоколлиматор	АК-1У АК-6У	свыше 400 до 10000
Оптические линейки	ИС-36, ИС-43, ИС-49	До 4000
Индуктивные линейки	ЛИП-3, УИП-5	до 1000
Уровни (рамные брусковые, индуктивные)		свыше 400 до 10000
Поверочные линейки (прямоугольного и двутаврового сечения мостик)	ШП, ШД, ШМ	свыше 400 до 4000
Оптические струны	ДП-477М	свыше 400 до 10000

Табл. 4. Допустимая погрешность измерения при измерительном контроле

Диапазон измеряемой величины, мм	Погрешность измерений, мм
До 0,5 мм включительно	0,1
Свыше 0,5 до 1,0 включительно	0,2
Свыше 1,0 до 1,5 включительно	0,3
Свыше 1,5 до 2,5 включительно	0,4
Свыше 2,5 до 4,0 включительно	0,5
Свыше 4,0 до 6,0 включительно	0,6
Свыше 6,0 до 10,0 включительно	0,8
Свыше 10,0	1,0

5.5. Измерительные приборы и инструменты должны периодически, а также после ремонта проходить поверку (калибровку) в метрологических службах, аккредитованных Госстандартом России. Срок проведения поверки (калибровки) устанавливается нормативной технической документацией (НД) на соответствующие приборы и инструменты.

VI. Требования к выполнению визуального и измерительного контроля

6.1. Подготовка мест производства работ

6.1.5. Для выполнения контроля должен быть обеспечен достаточный обзор для глаз специалиста. Подлежащая контролю поверхность должна рассматриваться под углом более 30° к плоскости объекта контроля и с расстояния до 600 мм (Рис. 1).

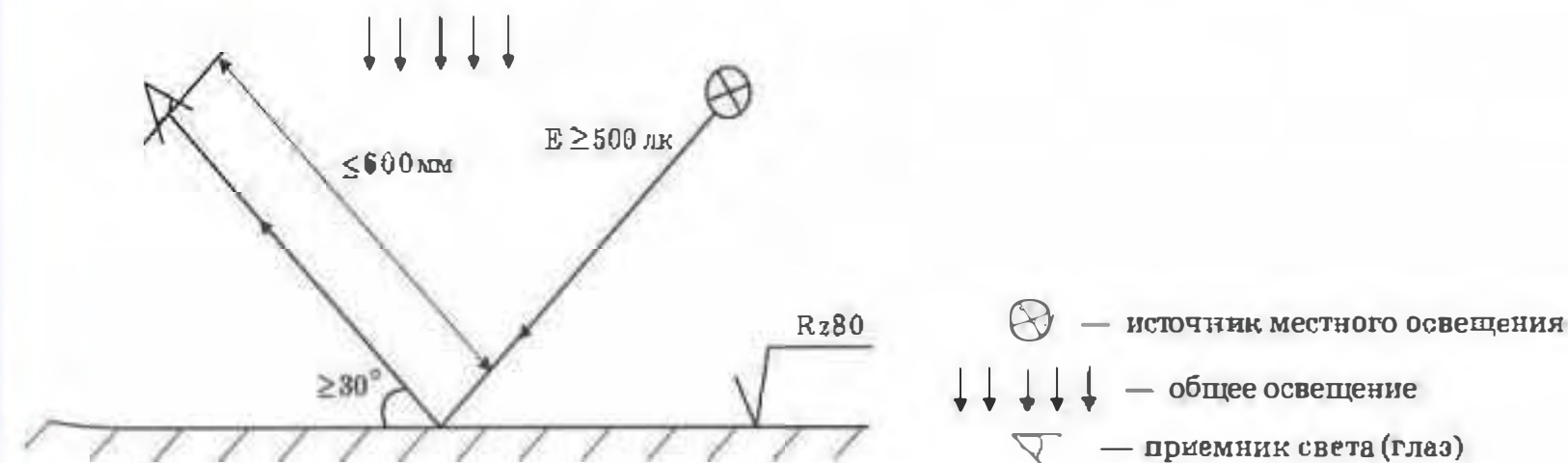


Рис. 1. Условия визуального контроля

6.2. Подготовка к контролю

6.2.3. Перед проведением визуального и измерительного контроля поверхность объекта в зоне контроля подлежит зачистке до чистого металла от ржавчины, окислы, грязи, краски, масла, влаги, плака, брызг расплавленного металла, продуктов коррозии и других загрязнений, препятствующих проведению контроля (на контролируемых поверхностях допускается наличие цветов побежалости, в случаях, когда это оговорено в производственной технической документации ПТД). Зона зачистки должна определяться НД на вид работ или на изготовление изделия. При отсутствии требований в НД зон зачистки деталей и **сварных швов** должна составлять:

- при зачистке кромок деталей под все виды дуговой, газовой и контактной сварки — не менее 20 мм с наружной стороны и не менее 10 мм с внутренней стороны от кромок разделки детали;
- при зачистке кромок деталей под электрошлаковую сварку не менее 50 мм с каждой стороны сварного соединения;
- при зачистке кромок деталей угловых соединений труб (например, вварка штуцера (патрубка) в коллектор, трубу или барабан), зачистке подлежат: поверхность вокруг отверстия в основной трубе (коллекторе, барабане) на расстоянии 1520 мм, поверхность отверстия под ввариваемую деталь — на всю глубину и поверхность привариваемого (патрубка) штуцера на расстоянии не менее 20 мм от кромки разделки;
- при зачистке стального подкладного остающегося кольца (пластины) или расплавляемой проволоочной вставки — вся наружная поверхность подкладного кольца (пластины) и все поверхности расплавляемой вставки.

☑ **Примечание:** При контроле окрашенных объектов краска с поверхности в зоне контроля не удаляется, если это специально не оговорено в НД и поверхность объекта не вызывает подозрение на наличие трещин по результатам визуального контроля.

6.2.5. Шероховатость зачищенных под контроль поверхностей деталей, сварных соединений, а также поверхность **разделки кромок** деталей (сборочных единиц, изделий), подготовленных под сварку, должна быть не более Ra 12,5 (Rz 80).

6.3. Порядок визуального и измерительного контроля на стадии входного контроля.

Табл. 5. Контролируемые параметры и требования к визуальному и измерительному контролю полуфабрикатов

Контролируемый параметр	Вид контроля	Требования к контролю
1	2	3
1. Наружный диаметр (Dн), внутренний диаметр (Dв)	Измерительный	Измерение Dн и Dв с обоих концов трубы. Измерение Dв производится при поставке труб по внутреннему диаметру.
2. Толщина листа, стенки трубы (Sn)	То же	Измерение Sn с обоих концов трубы не менее, чем в двух сечениях. Измерение Sn листа не менее, чем в двух сечениях (по длине, ширине) с каждой стороны листа.
3. Овальность трубы (а)	То же	Измерение размера «а» с обоих концов трубы.
4. Кривизна трубы (б)	То же	Измерение кривизны на участке 1 м в двух сечениях по длине.
5. Длина трубы листа (L)	То же	Измерение не менее 3 труб (листов) из партии.
6. Ширина листа (В)	То же	Измерение не менее 3 листов от партии.
7. Трещины, плеши, рванины, закаты, раковины, расслоения,	Визуальный	Осмотр наружной поверхности невооруженным глазом; осмотр внутренней поверхности труб невооруженным глазом (при наличии доступа) и с помощью перископа, эндоскопа и пр. Разрешается вырезка контрольных образцов длиной 200 мм в количестве не менее 2 шт. и их осмотр после разрезки.

☑ **Примечания:**

1. Контролю по п.1...4 подлежат не менее 50% труб (листов) от партии.
2. Контролю по п.7 подлежит не менее 10% длины каждой трубы (площади поверхности листа).

6.4. Порядок выполнения визуального и измерительного контроля подготовки и сборки деталей под сварку.

Табл. 6. Контролируемые параметры и средства измерений при подготовке деталей под сборку

Контролируемый параметр	Условное обозначение параметра	Номер рисунка	Средства измерений Требования к измерениям
1	2	3	4
1. Перпендикулярность кромки	фи	2а	Угломер или шаблон универсальный. Измерение в одном месте.
2. Угол скоса кромки	альфа, бета, альфа-1	2 б, в, ж, з, и, л, м, р	Угломер или шаблон универсальный. Измерение в одном месте.
3. Притупление кромки	р, Р, i,	2 б, в, ж, з, и	Штангенциркуль. Измерения в двух взаимно перпендикулярных сечениях (4 точки) труб; измерения не менее, чем в трех точках по длине в соединениях листов
4. Глубина скоса кромки	М	2 в, г, д	Размер справочный, измерению не подлежит
5. Ширина подкладки в замковом соединении	В_3	2 е, ж	Штангенциркуль, линейка Измерения не менее, чем в трех точках по длине
6. Толщина подкладки в замковом соединении	S_3	2 е, ж	То же
7. Угол скоса поверхности соединяемого элемента	Пси	2 г, д	Угломер или шаблон универсальный. Измерение в одном месте.
8. Отклонение торца разделки (трубы) от перпендикуляра к образующей трубы	f	2к	Угольник и щуп (отвес и линейка или щуп). Измерения не менее, чем в трех сечениях в зоне максимального смещения.
9. Высота присадочного выступа	h_B	2 м	Штангенциркуль. Измерения в двух взаимно перпендикулярных сечениях (4 точки).
10. Длина расточки (раздачи) труб по внутреннему диаметру	l_p	2н	То же
11. Угол выхода резца (калибра)	гамма	2 н, п	Шаблон универсальный или угломер, измерение в одном месте

Технология проведения визуального и измерительного контроля

Продолжение Табл. 6. Контролируемые параметры и средства измерений при подготовке деталей под сборку

12. Диаметр расточки	Д_р	2 н, п	Штангенциркуль. Измерения в двух взаимно перпендикулярных сечениях (4 точки)
13. Номинальная толщина стенки в месте расточки	S_P	2 н, п	Штангенциркуль. Измерения не менее, чем в трех точках равномерно по толщине
14. Ширина подкладной пластины	В_п	2 с	Штангенциркуль. Измерения не менее, чем в трех точках по длине
15. Толщина подкладной пластины	S_п	2 с	То же
16. Ширина подкладного кольца	В_к	2 т, у, ф	Штангенциркуль. Измерения не менее, чем в трех точках по длине (периметру)
17. Толщина подкладного кольца	S_к	2 т, у, ф	То же
18. Притупление подкладного кольца	P_к	2 т, у, ф	То же
19. Диаметр расплавляемого кольца (вставки)	D_к, D_вс	2 ф, х	Штангенциркуль. Измерения в двух взаимно перпендикулярных сечениях (4 точки)
20. Толщина расплавляемого кольца (вставки)	A	2 х	Штангенциркуль. Измерения не менее, чем в трех точках равномерно по периметру
21. Ширина расплавляемого кольца (вставки)	В_вс	2 х	То же
22. Длина сектора отвода	Н	2 ц	Линейка. Измерение детали в зоне максимального размера (сварного) по наружной образующей
23. Длина сектора отвода (сварного) по внутренней образующей	P	2 ц	Линейка. Измерение детали в зоне минимального размера
24. Угол наклона кромки сектора отвода (сварного)	альфа_2	2 ц	Линейка и угломер или шаблон универсальный
25. Диаметр отверстия в корпусе (трубе)	d	2 ч, ш, э	Штангенциркуль. Измерения в двух взаимно перпендикулярных сечениях (4 точки)
26. диаметр расточки в корпусе (трубе)	d_1	2 э	То же

Продолжение Табл. 6. Контролируемые параметры и средства измерений при подготовке деталей под сборку

27. Шероховатость зачищенных поверхностей	$R_a (R_z)$		Профилограф-профилометр, образцы шероховатости (сравнения), измерительные датчики ДШВ. Контролируют поверхности, указанные в п.6.2.7.
28. Расстояние до точки изменения углов разделки кромок	B_k	2 ю	Штангенциркуль

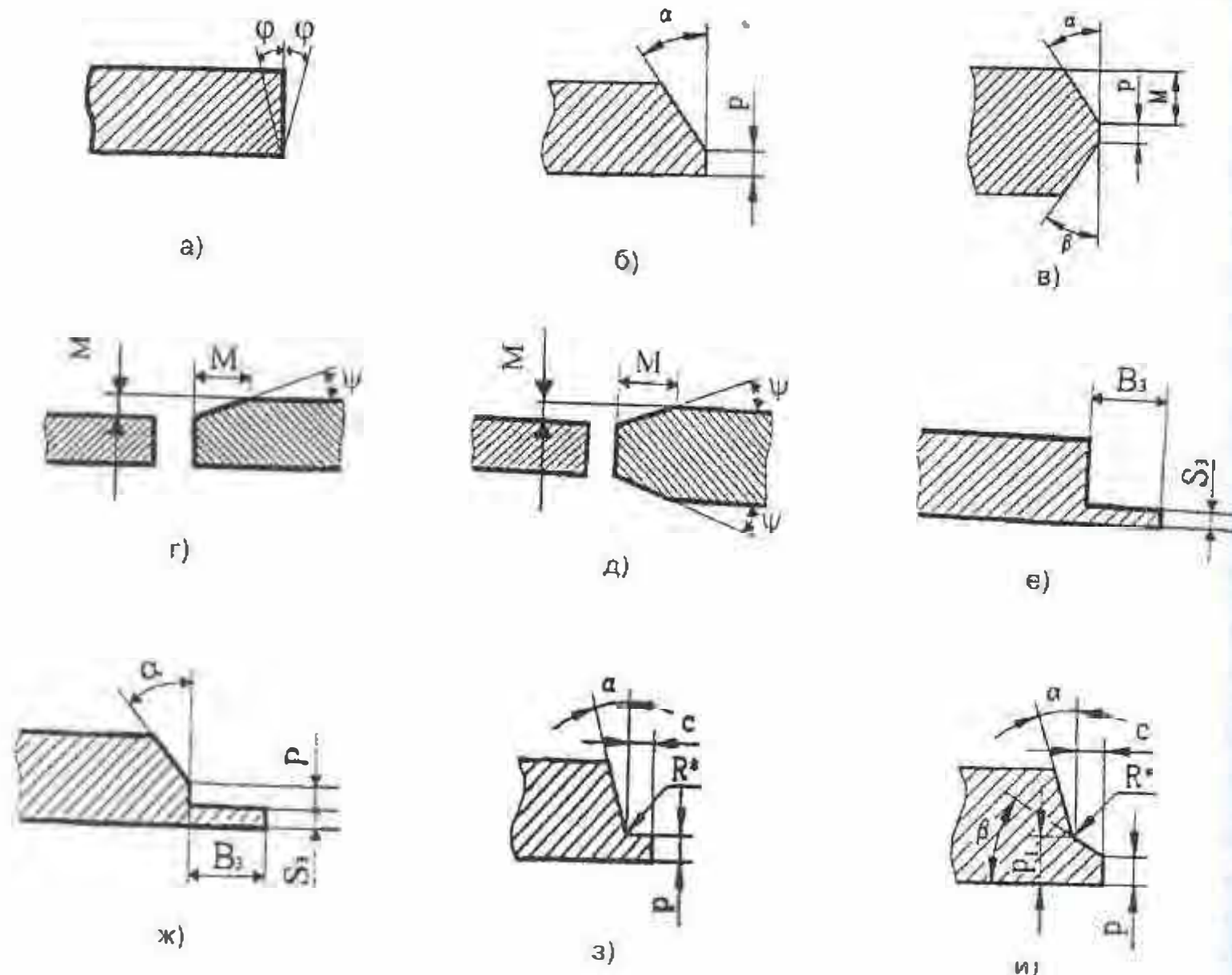


Рис. 2. лист 1. Размеры, контролируемые измерением при подготовке деталей под сварку

а) I-образная разделка кромки (без скоса кромки); б) V-образная односторонняя разделка кромки; в) V-образная двусторонняя разделка кромки; г), д) подготовка к сварке стыкового соединения деталей значительно отличающихся по толщине; е), ж) подготовка к сварке замкового соединения; з) U-образная разделка кромки; и) V-образная двухкосая разделка кромки;

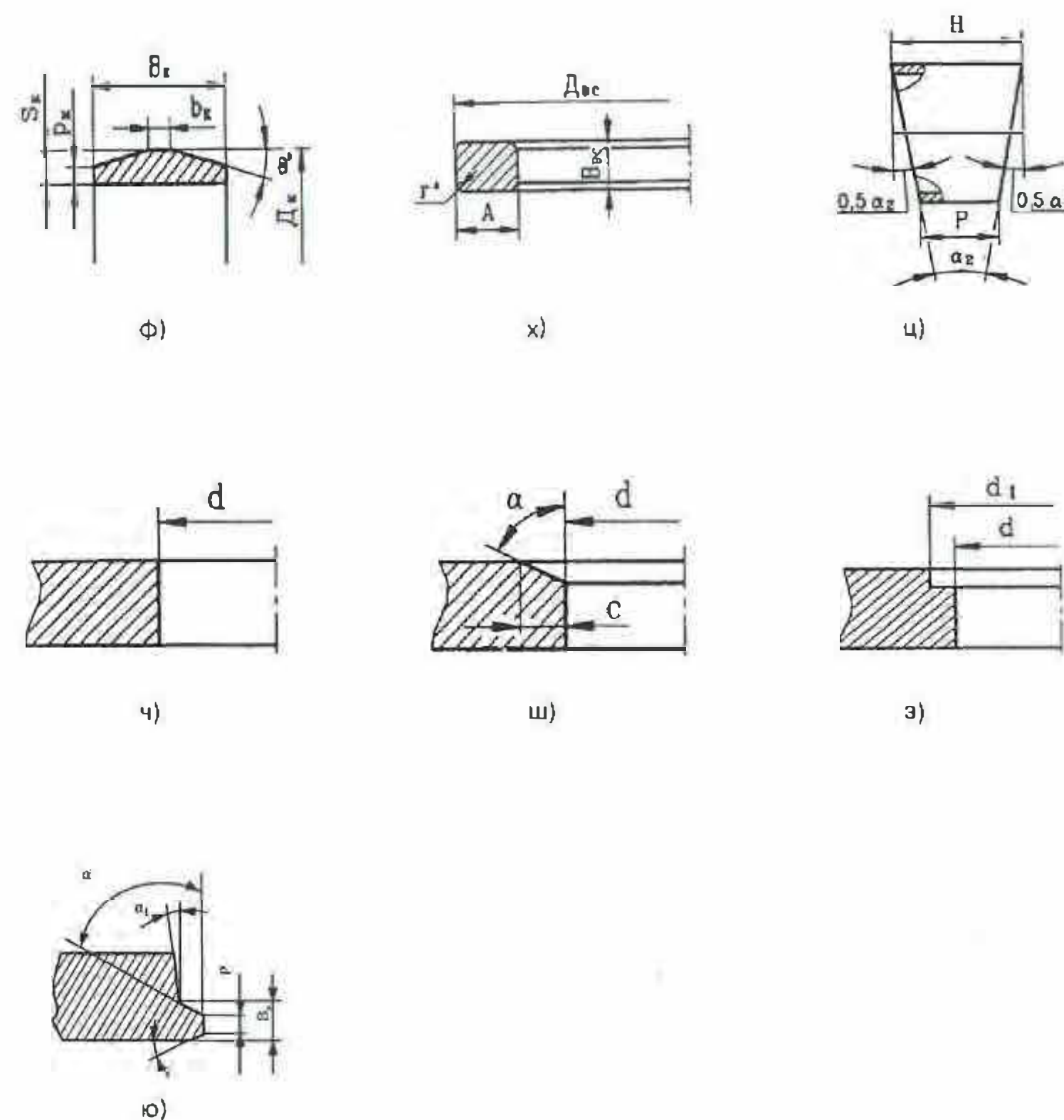


Рис. 2. лист 3. Размеры, контролируемые измерением при подготовке деталей под сварку

ф) подкладное стальное остающееся кольцо; х), ц), ч) рассверловка отверстия под штуцер (патрубок) в корпусе (трубе, коллекторе); ю) разделка кромок под автоматическую сварку в среде защитных газов.

Табл. 7. Контролируемые параметры и средства измерений при сборке деталей под сварку

Контролируемый параметр	Условное обозначение параметра	Номер рисунка	Средства измерений. Требования к измерениям.
1	2	3	4
1. Зазор в соединении	a	З а, б, в, г, д, е, ж, и, к, с, т	Щуп, шаблон универсальный. Измерение — см. п.6.4.8
2. Специальный зазор	a_1	З и, к	Щуп Измерение — см. п.6.4.8.
3. Смещение кромок деталей с внутренней стороны	b	З а	Линейка и щуп. Измерение соединения — см. п.6.4.8
4. Смещение кромок деталей с наружной стороны	F	З а, б	Линейка и щуп. Измерение соединения — см. п.6.4.8
5. Зазор между подкладной пластиной (кольцом) и внутренней поверхностью детали	b_1	З б	Шаблон универсальный или специальный. Измерения не менее, чем в трех точках по длине (периметру) соединения.
6. Смещение привариваемого элемента в угловом соединении	Z	З д	Штангенциркуль, линейка. Измерение не менее, чем в трех точках по длине.
7. Размер перекрытия деталей в нахлесточном в соединении	E	З б, е	Линейка. Измерение не менее, чем в двух точках по длине
8. Несимметричность штуцера	сигма_2	З м	Линейка. Измерения не менее, чем в двух точках по длине
9. Смещение проволоочной вставки с внутренней стороны	b_2	З ж	Штангенциркуль, шаблон или щуп. Измерение выполняется после прихватки вставки к кромке разделки одной из деталей
10. Зазор в замке расплавляемого кольца (вставки)	a_2	—	Шаблон универсальный или щуп. Измерение выполняется после прихватки вставки к одной из деталей

Продолжение Табл. 7. Контролируемые параметры и средства измерений при сборке деталей под сварку

11. Несимметричность углового соединения труб	сигма_2	З я	Контрольный стенд специальный. Измерение согласно п.6.4.13
12. Расстояние от приваренного элемента крепления до кромки разделки	C	З л	Линейка. Измерению подлежит каждый элемент крепления
13. Катет шва приварки элемента крепления	к, к_1	З л	Линейка и щуп, штангенциркуль, шаблон. Измерению подлежит каждый шов
14. Перелом осей цилиндрических элементов и угловое смещение поверхностей листов	к	З п	Линейка (L=400 мм) и щуп. Измерение — см. п.6.4.12.
15. Длина прихватки	l_п	З р	Линейка и штангенциркуль. Измерение каждой прихватки
16. Высота прихватки	h_п	З р	Штангенциркуль. Измерение каждой прихватки
17. Расстояние между прихватками	L_п	З р	Линейка. Измерение расстояния между прихватками соединения выполняется в случаях, когда расстояние между прихватками регламентируется технической документацией
18. Глубина проникновения штуцера во внутреннюю полость	C_1	З с	Шаблон специальный

☑ **Примечание:** Допускаются другие способы и средства измерений, обеспечивающие требуемую ПТД точность измерения параметров подготовки деталей под сва Таб.8

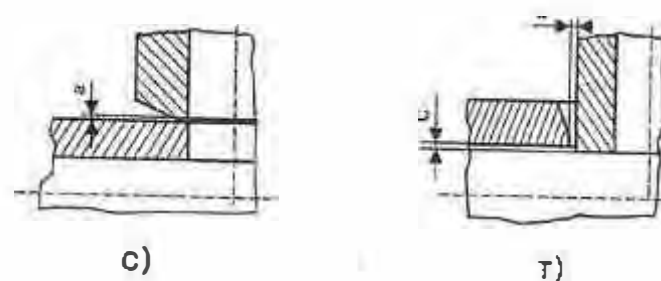


Рис. 3. лист 3. Размеры, контролируемые измерением при сборке соединения под сварку с), т) тройниковое (угловое) соединение;

6.5. Порядок выполнения визуального и измерительного контроля сварных соединений (наплавки)

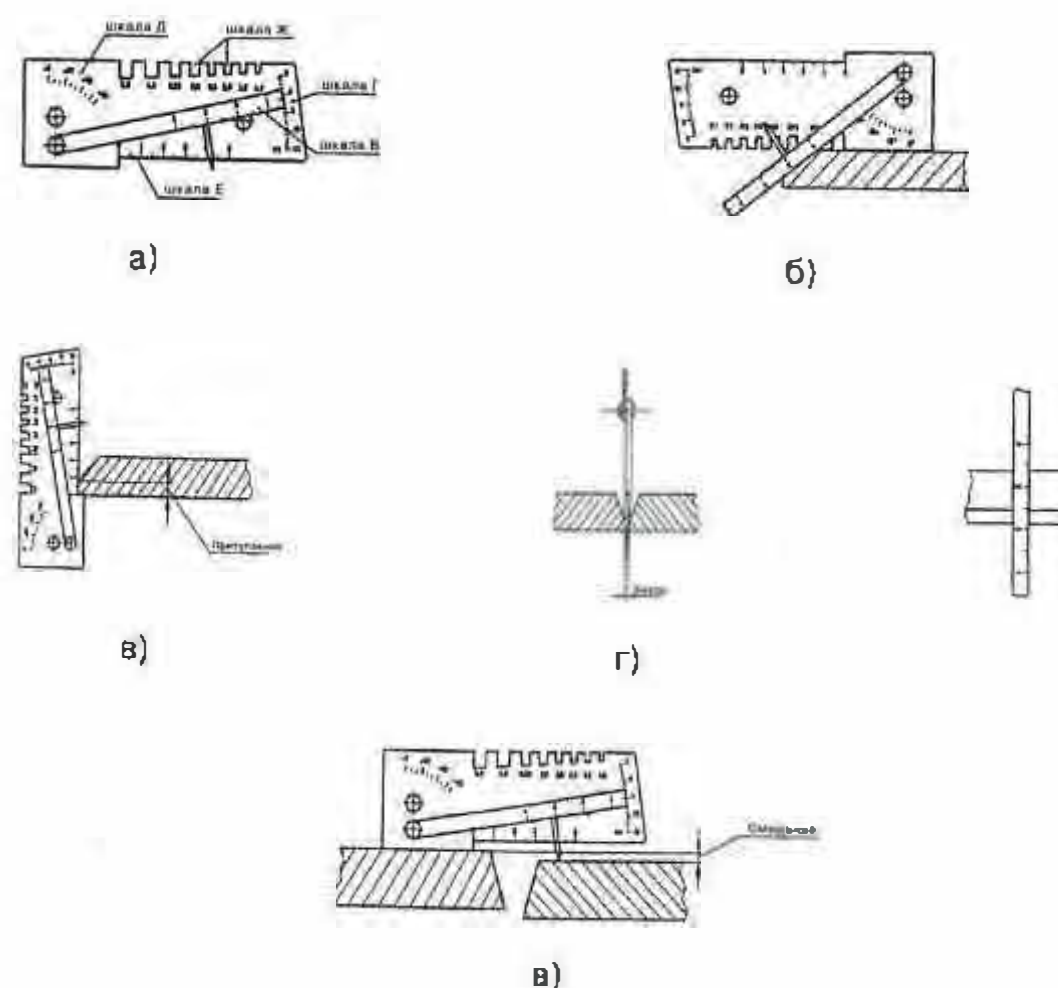


Рис. 5. Контроль универсальным шаблоном сварщика УШС

- а) общий вид шаблона УШС; б) измерение угла скоса разделки « α »;
в) измерение размера притупления кромки « r »;
г) измерение зазора в соединении « a »;
д) измерение смещения наружных кромок деталей « F »

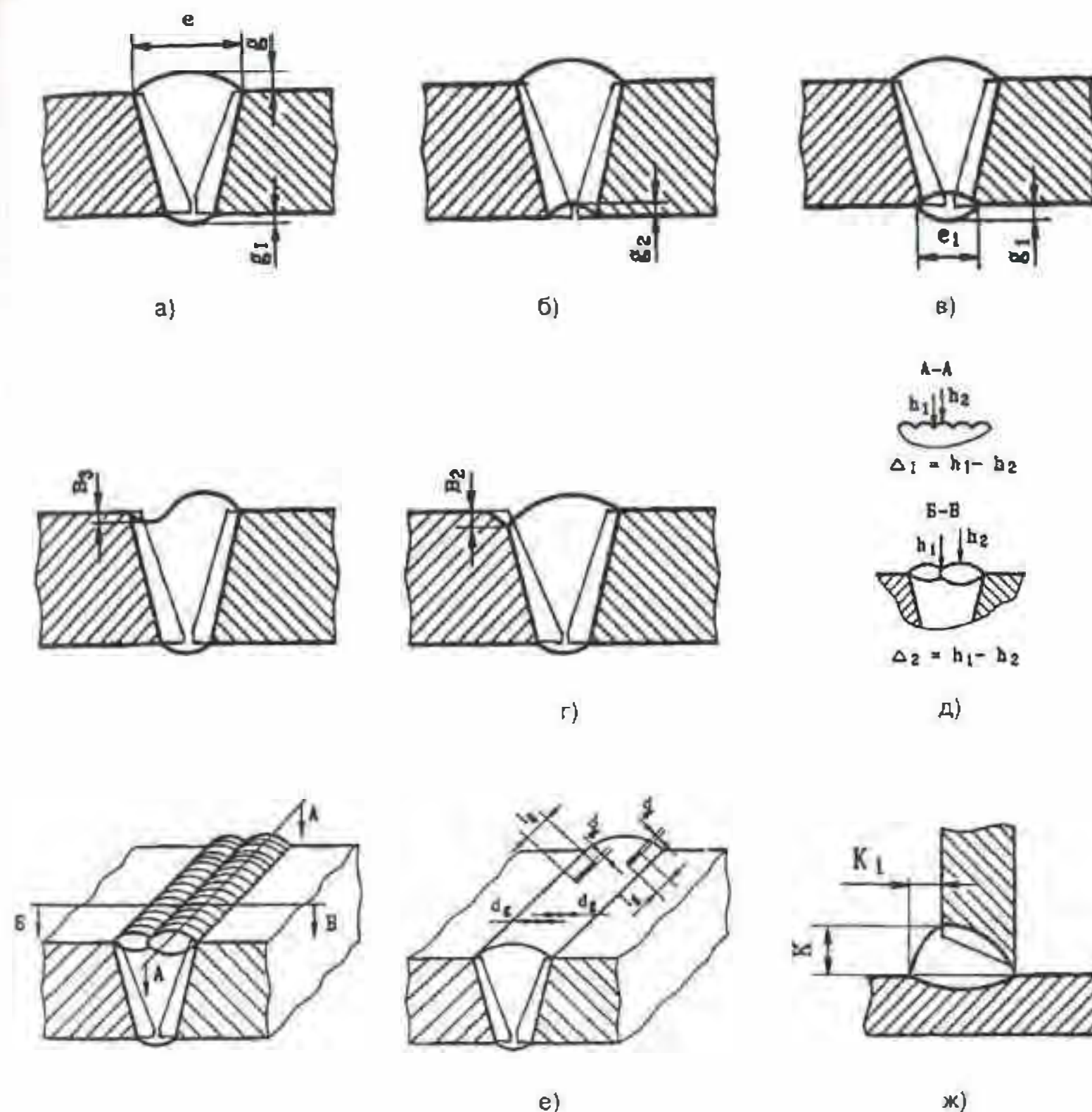


Рис. 8. Конструктивные элементы и дефекты сварного шва, подлежащие измерительному контролю

- а), б) размеры, (ширина, высота) стыкового одностороннего шва с наружной и внутренней стороны;
в) то же двустороннего сварного шва;
г) подрез и неполное заполнение разделки кромок; д) чешуйчатость (Δ_1) шва и западение между валиками шва (Δ_2);
е) размеры поверхностных включений (диаметр — d_k , длина — l_k , ширина — b_k включения);
ж) размеры катета шва углового (товарного, нахлестного) соединения

Табл. 8. Требования к измерениям сварных швов

Контролируемый параметр	Условное обозначение (рис. 8.)	Номер рисунка	Средства измерений. Требования к измерениям
1. Ширина шва	e, e ₁	8 а, в	Штангенциркуль или шаблон универсальный. Измерение — см. п.7.5.5.
2. Высота шва	q, q ₁	8 а, в	То же
3. Выпуклость обратной стороны шва	q ₁	8 а, в	Штангенциркуль. Измерение — согласно п.7.5.5.
4. Вогнутость обратной стороны шва	q ₂	8 б	Штангенциркуль, в т.ч. модернизированный (Рис. 9.). Измерения в 2-3 местах в зоне максимальной величины
5. Глубина подреза (неполного заполнения разделки)	b ₂ , b ₃	8 г	Штангенциркуль, в т.ч. модернизированный (Рис. 9.); Приспособление для измерения глубины подрезов (Рис. 10.)
6. Катет углового шва	K, K ₁	8 ж	Штангенциркуль или шаблон. Измерение согласно п.7.5.5.
7. Чешуйчатость шва	Дельта ₁	8 д	Штангенциркуль, в т.ч. модернизированный (Рис. 9.). Измерения не менее, чем в 4 точках по длине шва
8. Глубина западаний между валиками	Дельта ₂	8 д	То же
9. Размеры (диаметр, длина, ширина) одиночных несплошностей	d _г , d _г > b _г	8 е	Лупа измерительная. Измерению подлежит каждая несплошность

Технология проведения визуального и измерительного контроля

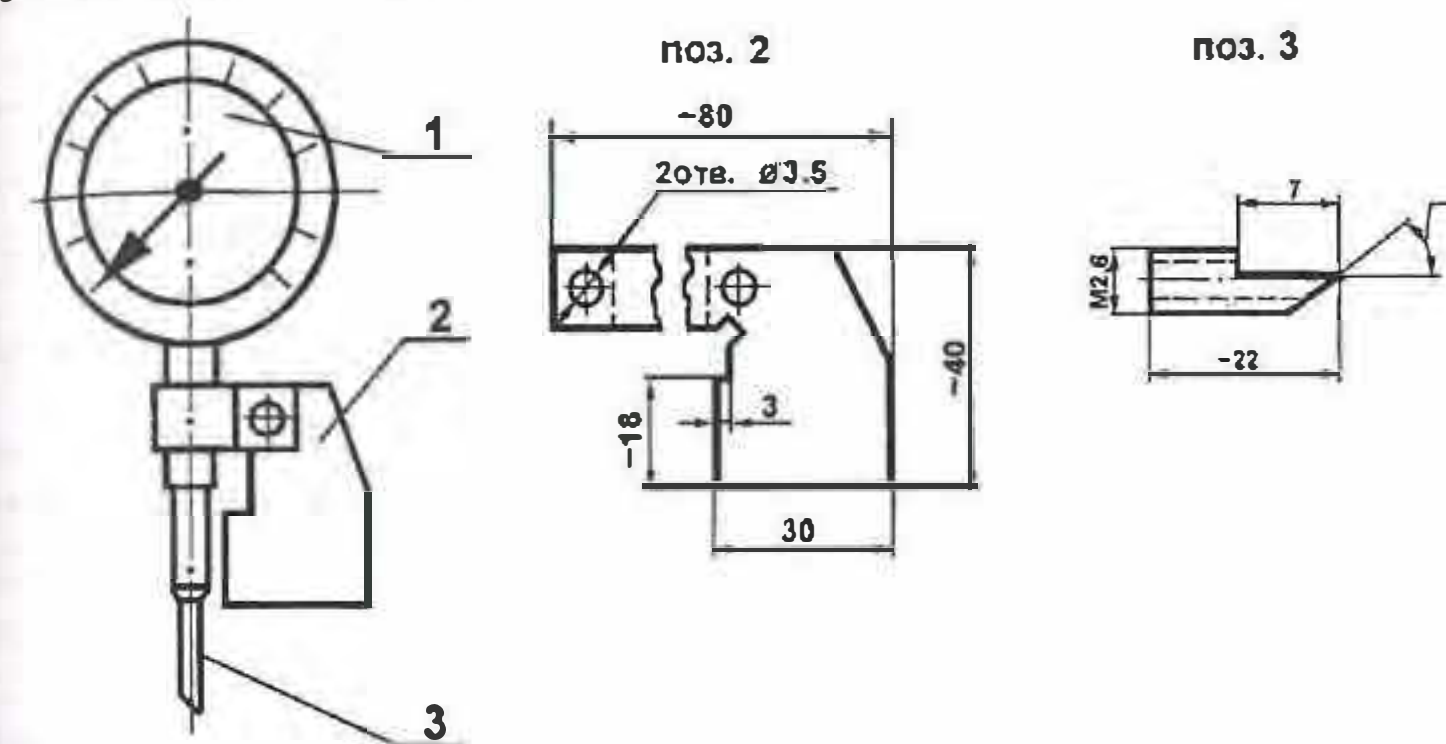


Рис. 10. Приспособление для измерения глубины подрезов

1 — индикатор «0-10» с поворотной шкалой; 2 — опорный кронштейн; 3 — измерительная игла

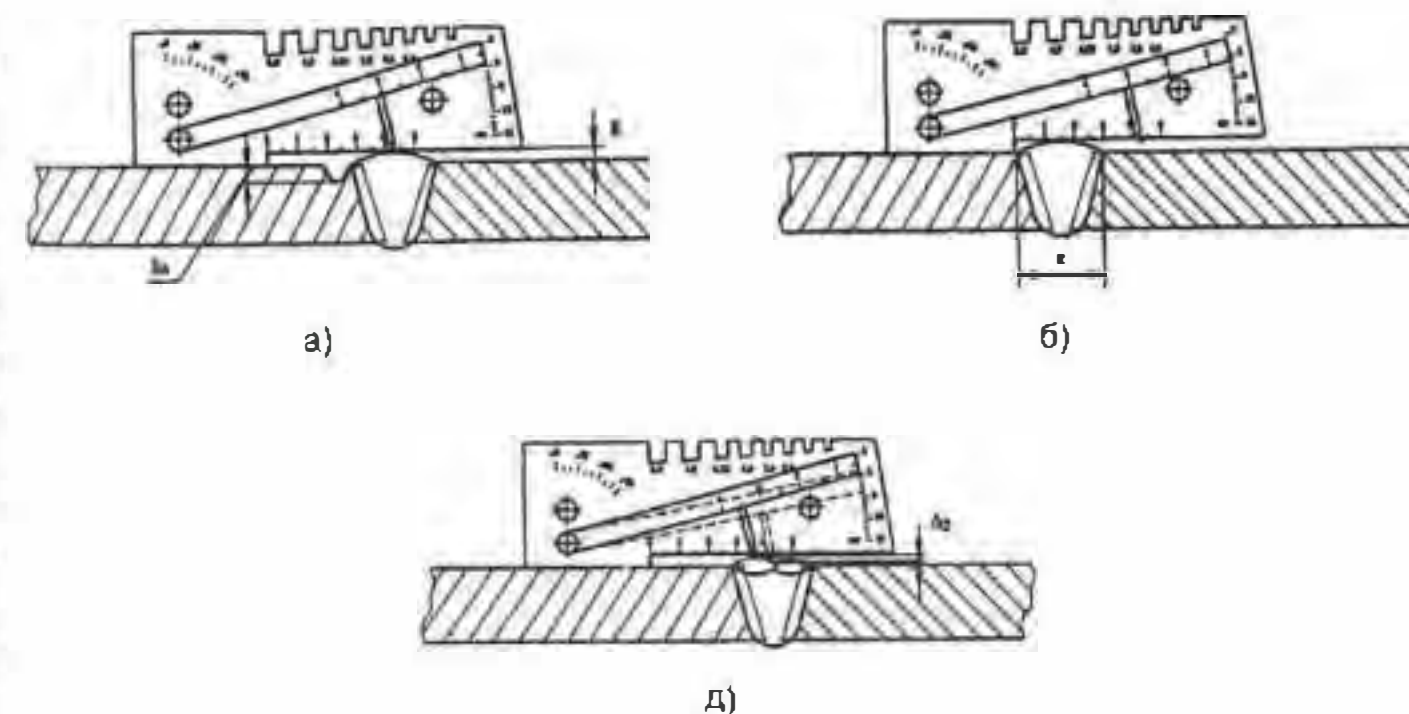


Рис. 16. Измерение с помощью шаблона УШС размеров сварного шва

а) измерение высоты шва (g) и глубины подреза (h_п);
 б) измерение ширины шва (e);
 в) измерение западаний между валиками (Δ_з).

Табл. Термины и определения основных понятий

Термин	Определение
Общие понятия	
Визуальный контроль	Органолептический контроль, осуществляемый органами зрения
Органолептический контроль	Контроль, при котором первичная информация воспринимается органами чувств
Измерительный контроль	Контроль, осуществляемый с применением средств измерений
Дефект	Каждое отдельное несоответствие продукции требованиям, установленным нормативной документацией
Брак	Объект контроля, содержащий недопустимый дефект
Сварные соединения и швы	
Сварная конструкция	Металлическая конструкция, изготовленная сваркой отдельных деталей
Сварной узел	Часть конструкции, в которой сварены примыкающие друг к другу элементы
Сборочная единица	Часть свариваемого — изделия, содержащая один или несколько сварных соединений
Сварное соединение	Неразъемное соединение деталей, выполненное сваркой и включающее в себя шов и зону термического влияния
Стыковое соединение	Сварное соединение двух элементов, примыкающих друг к другу торцовыми поверхностями, (Рис. А)
Угловое соединение	Сварное соединение двух элементов, расположенных под углом и сваренных в месте примыкания их краев, (Рис. А.2)
Нахлесточное соединение	Сварное соединение, в котором сваренные элементы расположены параллельно и частично перекрывают друг друга, (Рис. А.3)
Тавровое соединение	Сварное соединение, в котором торец одного элемента примыкает под углом и приварен к боковой поверхности другого элемента, Рис. А.4
Торцовое соединение	Сварное соединение, в котором боковые поверхности сваренных элементов примыкают друг к другу, (Рис. А.5)
Сварной шов	Участок сварного соединения, образовавшийся в результате кристаллизации расплавленного металла или в результате пластической деформации при сварке давлением или сочетания кристаллизации и деформации
Стыковой шов	Сварной шов стыкового соединения
Угловой шов	Сварной шов углового, нахлесточного или таврового соединения

Технология проведения визуального и измерительного контроля

Продолжение Табл. Термины и определения основных понятий

Точечный шов	Сварной шов, в котором связь между сваренными частями осуществляется сварными точками
Непрерывный шов	Сварной шов без промежутков по длине
Прерывистый шов	Сварной шов с промежутками по длине
Цепной прерывистый шов	Двухсторонний прерывистый шов, у которого промежутки расположены по обеим сторонам стенки одна против другого, (Рис. А.6)
Шахматный прерывистый шов	Двухсторонний прерывистый шов, у которого промежутки на одной стороне стенки расположены против сваренных участков шва с другой ее стороны, (Рис. А.7)
Многослойный шов	Сварной шов деталей, выполненный в несколько слоев по высоте
Подварочный шов	Меньшая часть двухстороннего шва, выполняемая предварительно для предотвращения прожогов при последующей сварке или выполняемая в последнюю очередь в корне шва после его зачистки (выборки)
Корень шва	Часть сварного шва, наиболее удаленная от его лицевой поверхности, (Рис. А.8)
Валик	Металл сварного шва, наплавленный или переплавленный за один проход
Слой сварного шва	Часть металла сварного шва, которая состоит из одного или нескольких валиков, располагающихся на одном уровне поперечного сечения шва
Прихватка	Короткий сварной шов для фиксации взаимного расположения подлежащих сварке деталей
Выпуклость сварного шва	Выпуклость шва — это расстояние между плоскостью, проходящей через видимые линии границы сварного шва с основным металлом и поверхностью сварного шва, измеренное в любом поперечном сечении по длине шва (определяется по максимальной высоте расположения поверхности шва под плоскостью), (Рис. А.9)
Вогнутость сварного шва	Вогнутость — это максимальное расстояние между плоскостью, проходящей через видимые линии границы сварного шва с основным металлом и поверхностью шва, измеренное в любом поперечном сечении по длине шва, (Рис. А.10)

Продолжение Табл. Термины и определения основных понятий

Номинальная толщина сваренных деталей	Указанная в чертеже (без учета допусков) толщина основного металла деталей в зоне, примыкающей к сварному шву
Толщина углового шва	Наибольшее расстояние от поверхности углового шва до точки максимального проплавления основного металла, (Рис. А.11)
Расчетная высота углового шва	Указанный в рисунке размер перпендикуляра, опущенного из точки сопряжения сваренных деталей (точка о) на прямую линию, соединяющую края поверхности шва в одном поперечном сечении или на параллельную указанной линии касательную к поверхности сварного шва (при вогнутом угловом шве), (Рис. А.12)
Катет углового шва	Кратчайшее расстояние от поверхности одной из свариваемых частей до границы углового шва на поверхности второй свариваемой части, (Рис. А.13)
Ширина сварного шва	Расстояние между линиями сплавления на лицевой стороне сварного шва в одном поперечном сечении, (Рис. А.14)
Основной металл	Металл деталей, соединяемых сваркой
Разделка кромок	Придание кромкам деталей, подлежащих сварке, необходимой формы
Скос кромок	Прямолинейный наклонный срез кромок детали, подлежащий сварке, (Рис. А.15)
Притупление кромок	Нескошенная часть торца кромок детали, подлежащей сварке, (Рис. А.16)
Угол скоса кромок	Острый угол между плоскостью скоса кромок и плоскостью торца детали или торцевая поверхность детали после механической обработки до заданных чертежом размеров, (Рис. А.17)
Угол разделки кромок	Угол между скошенными кромками свариваемых деталей, (Рис. А.18)
Смещение кромок	Несовпадение уровней расположения внутренних и наружных поверхностей свариваемых (сваренных) деталей в стыковых сварных соединениях, (Рис. А.19)
Зазор (в сварном соединении)	Расстояние между собранными под сварку деталями в поперечном сечении их кромок, (Рис. А.20)
Конструктивный непровар (зазор)	Непровар (зазор) в сварном соединении, предусмотренный конструкторской документацией на сварной узел, (Рис. А.21)
Подкладка. Остающаяся подкладная пластина (кольцо)	Стальная пластина или кольцо заданной формы, ширины и толщины, устанавливаемое при сварке плавлением под кромки свариваемых деталей, (Рис. А.22)

продолжение Табл. Термины и определения основных понятий

Расплавляемая вставка	Стальная проволоочная вставка заданной формы, ширины и толщины, устанавливаемая между кромками свариваемых деталей и расплавляемая при сварке, (Рис. А.23)
Провар	Сплошная металлическая связь между поверхностями основного металла, слоями и валиками сварного шва
Зона сплавления при сварке. Зона сплавления	Зона частично оплавившихся зерен на границе основного металла и металла шва
Зона термического влияния при сварке. Зона термического влияния	Участок основного металла от линии сплавления до зоны, в которой происходит изменение структуры и свойств металла, в результате нагрева при сварке или наплавке
Дефекты сварных соединений при визуальном и измерительном контроле	
Несплошность	Обобщенное наименование трещин, отслоений, прожогов, свищей, пор, непроваров и включений.
Трещина сварного соединения. Трещина	Дефект сварного соединения в виде разрыва металла в сварном шве и (или) прилегающих к нему зонах сварного соединения и основного металла
Продольная трещина сварного соединения. Продольная трещина	Трещина сварного соединения, ориентированная вдоль оси сварного шва, (Рис. А.24)
Поперечная трещина сварного соединения. Поперечная трещина	Трещина сварного соединения, ориентированная поперек оси сварного шва, (Рис. А.25)
Разветвленная трещина сварного соединения. Разветвленная трещина	Трещина сварного соединения, имеющая ответвления в различных направлениях или группа соединенных трещин, отходящих от одной общей трещины, (Рис. А.26)
Радиальная трещина	Несколько трещин разного направления, исходящих из одной точки (могут располагаться в металле сварного шва, в зоне термического влияния, в основном металле) Примечание. Маленькие трещины этого типа известны, как звездообразные трещины, (Рис. А.27)
Кратерная трещина. Трещина в кратере	Трещина (продольная, поперечная, разветвленная) в кратере валика (слоя) сварного шва, (Рис. А.28)
Включение	Полость в металле, заполненная газом, шлаком или инородным металлом; обобщенное наименование пор, шлаковых и вольфрамовых включений
Шлаковое включение сварного шва. Шлаковое включение.	Полость в металле, в т.ч. сварном шве, заполненная шлаком

Продолжение Табл. Термины и определения основных понятий

Флюсовое включение	Полость в металле сварного шва, заполненная не расплавившимся флюсом, попавшим в металл шва во время затвердевания
Вольфрамовое включение	Внедрившаяся в металл шва нерасплавленная частица (осколок) плавящегося вольфрамового электрода
Окисное включение	Оксид металла, попавший в металл шва во время затвердевания
Пора	Заполненная газом полость округлой формы
Отслоение	Дефект в виде нарушения сплошности сплавления наплавленного металла с основным металлом, (Рис. А.29)
Кратер. Усадочная раковина сварного шва	Дефект в виде полости или впадины, образовавшийся при усадке расплавленного металла при затвердевании (располагается, как правило, в местах обрыва дуги или окончания сварки), (Рис. А.30)
Свищ в сварном шве	Дефект в виде воронкообразного или трубчатого углубления в сварном шве, (Рис. А.31) Примечание: Обычно свищи группируются в скопления и распределяются елочкой
Подрез	Острые конусообразные углубления на границе поверхности сварного шва с основным металлом, (Рис. А.32)
Брызги металла	Дефект в виде затвердевших капель расплавленного металла на поверхности сваренных или наплавленных деталей с образованием или без образования кристаллической связи с основным металлом
Непровар. Неполный провар	Дефект в виде несплавления в сварном соединении вследствие неполного расплавления кромок основного металла или поверхностей ранее выполненных валиков сварного шва, (Рис. А.33)
Углубление (западание) между валиками шва	Продольная впадина между двумя соседними валиками (слоями) шва (оценивается по максимальной глубине), (Рис. А.34)
Чешуйчатость сварного шва	Поперечные или округлые (при автоматической сварке под флюсом — удлиненно-округлые) углубления на поверхности валика, образовавшиеся вследствие неравномерности затвердевания металла сварочной ванны (оценивается по максимальной глубине), (Рис. А.35)
Выпуклость (превышение проплавления) корня шва	Часть одностороннего сварного шва со стороны его корня, выступающая над уровнем расположения поверхностей сваренных деталей (оценивается по максимальной высоте расположения поверхности корня шва над указанным уровнем), (Рис. А.36)

технология проведения визуального и измерительного контроля

Продолжение Табл. Термины и определения основных понятий

Вогнутость корня шва	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. А.37)
Максимальный размер включения	Наибольшее расстояние а между точками внешнего контура включения, (Рис. А.38)
Максимальная ширина включения	Наибольшее расстояние в между двумя точками внешнего контура включения, измеренное в направлении, перпендикулярном максимальному размеру включения, (Рис. А.38)
Включение одиночное	Включение, минимальное расстояние l от края которого до края любого соседнего включения - не менее максимальной ширины каждого из двух рассматриваемых включений, но не менее трехкратного максимального размера включения с меньшим значением этого показателя (из двух рассматриваемых), (Рис. А.39)
Скопление включений	Два или несколько включений (пор, шлаковых и прочих включений) минимальное расстояние между краями которых менее устанавливаемых для одиночных включений, но не менее максимальной ширины каждого из любых двух рассматриваемых соседних включений, (Рис. А.40)
Цепочка пор. Линейная пористость	Группа пор в сварном шве, расположенная в линию, параллельно оси сварного шва, (Рис. А.41)
Превышение усиления сварного шва	Избыток наплавленного металла на лицевой стороне (сторонах) стыкового шва, (Рис. А.42)
Превышение выпуклости	Избыток наплавленного металла на лицевой стороне углового шва, (Рис. А.43)
Местное превышение проплава	Местный избыточный проплав (с внутренней стороны одностороннего шва)
Неправильный профиль сварного шва	Слишком малый угол (а) между поверхностью основного металла и плоскостью касательной к поверхности сварного шва, (Рис. А.44)
Наплыв	Дефект в виде металла, натекшего в процессе сварки (наплавленного) на поверхность сваренных (наплавленных) деталей или ранее выполненных валиков и несплавленного с ними, (Рис. А.45)

Продолжение Табл. Термины и определения основных понятий

Перелом осей деталей. Угловое смещение	Смещение между двумя свариваемыми деталями, при котором их плоские поверхности не параллельны (или не направлены под определенным углом), (Рис. А.46)
Прожог сварного шва	Дефект в виде сквозного отверстия в сварном шве, образовавшийся вследствие вытекания части жидкого металла сварочной ванны в процессе выполнения сварки
Не полностью заполненная разделка кромок	Продольная непрерывная или прерывистая вогнутость на поверхности сварного шва из-за недостаточности присадочного металла, (Рис. А.47)
Асимметрия углового шва	Несоответствие фактического значения катета шва проектно-му значению, (Рис. А.48)
Неравномерная ширина шва	Чрезмерное колебание ширины шва
Неравномерная поверхность шва	Чрезмерная неровность наружной поверхности шва
Плохое возобновление шва	Местная неровность поверхности в месте возобновления сварки. (Рис. А.49)
Дефекты поверхности основного металла	
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
Задиры поверхности основного металла	Повреждение поверхности, вызванное удалением путем отрыва временного технологического крепления
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
Дефект рубки металла	Трещины или рваные вязкие изломы
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 имеют вид отверстий округлой формы

технология проведения визуального и измерительного контроля

Продолжение Табл. Термины и определения основных понятий

Завороты корки	Завернувшиеся корки металла, окислившиеся заливкины и брызги, расположенные у поверхности слитков. В деформированном металле дефект представляет собой или разрывы, или частичное отслоение, образовавшееся в результате раскаты завернувшихся корок или брызг
Загрязнения и волосовины	Загрязнения поверхности слитков, прутков и других изделий неметаллическими включениями (шлаком, огнеупорами, утепляющими смесями, оксидами и др). Имеют вид приставших или частично зажатых металлом кусков или мелких частиц светло-серого, темно-серого или коричневого цвета
Дефекты сварных соединений при визуальном и измерительном контроле	
Трещины горячие (кристаллизационные)	Извилистый окисленный разрыв металла, более широкий у поверхности и сужающийся вглубь, образовавшийся в период кристаллизации металла вследствие растягивающихся напряжений, превышающих прочность наружных слоев слитка
Дефект от вдавливания в слиток кернов клещей крана	Углубления на бляхах и сляках, образовавшиеся от вдавливания острых кернов клещей крана в горячие слитки при их транспортировке. По виду дефект напоминает единичную чечевицеобразную, широко открытую, сравнительно короткую трещину
Трещина напряжения	Направленный вглубь металла разрыв, часто под прямым углом к поверхности, образовавшийся вследствие объемных изменений, связанных со структурными превращениями или с нагревом и охлаждением металла
Трещина шлифовочная	Сетка паутинообразных разрывов или отдельных произвольно направленных поверхностных разрывов, образовавшихся при шлифовке металла. Очень тонкие, извилистые и проникающие вглубь металла зигзагами или ступеньками с ответвлениями
Трещины травильные	Разрывы, образовавшиеся при травлении металла с внутренними напряжениями, вызванными структурными превращениями или деформацией. Травильные трещины иногда образуют поверхностную сетку, подобную сетке шлифовочных трещин, но значительно более грубую
Рванины	Раскрытые разрывы, расположенные перпендикулярно или под углом к направлению наибольшей вытяжке металла

Продолжение Табл. Термины и определения основных понятий

Прокатные плены	Отслоения металла языкообразной формы, соединенные с основным металлом, и образованные вследствие раскатки или расковки рвани
Чешуйчатость	Отслоения или разрывы в виде сетки, образовавшиеся при прокатке из-за перегрева(пережога)или пониженной пластичности металла периферийной зоны
Прижоги	Дефекты, образующиеся при локальном перегреве металла (шлифовские, электрохимическое клеймение, спектральный анализ и др.), являющиеся структурными концентраторами напряжений, в зоне которых может возникнуть растрескивание
Ус	Продольный выступ с одной стороны прутка или с двух диаметрально противоположных его сторон
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
Морщины	Группа чередующихся продольных углублений и выступов
Риска	Прямоугольное продольное углубление с закругленным или плоским дном, образовавшееся из-за царапания поверхности металла наварами и другими выступами
Отпечатки	Углубления или выступы, расположенные по всей поверхности металла или на отдельных его участках
Рябизна	Углубление от вдавленной окалины, образовавшееся при ковке, прокатке или правке металла с толстым слоем окалины
Заусенец	Острый в виде гребня выступ на конце прутка, образовавшийся при резке металла
Остатки окалины	Окалина, не удаленная с отдельных участков прутков
Перетрав	Местное или общее разъедание поверхности металла при травлении
Царапина	Канавка неправильной формы и произвольного направления, образовавшаяся в результате механических повреждений, в том числе при складировании и транспортировке металла
Раковины от вдавленной окалины	Отдельные углубления, иногда частично вытянутые вдоль направления прокатки, образующихся при выпадении и вытравливании вкатанной окалины
Вкатанный кусок металла	Приварившийся кусок инородного металла к металлу основного материала

Технология проведения визуального и измерительного контроля

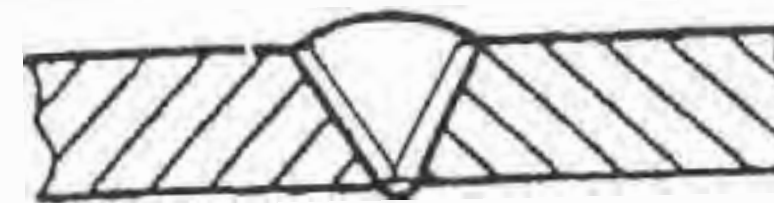


Рис. А1. Стыковое соединение

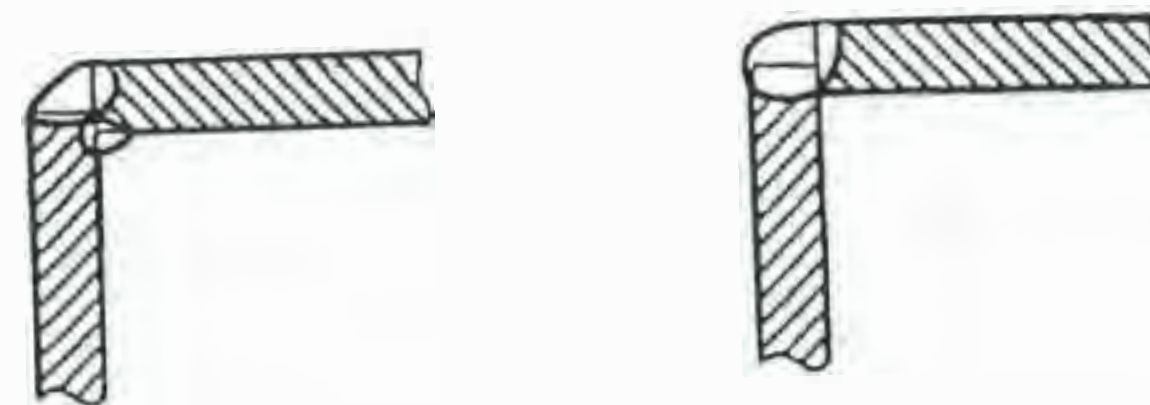


Рис. А2. Угловое соединение

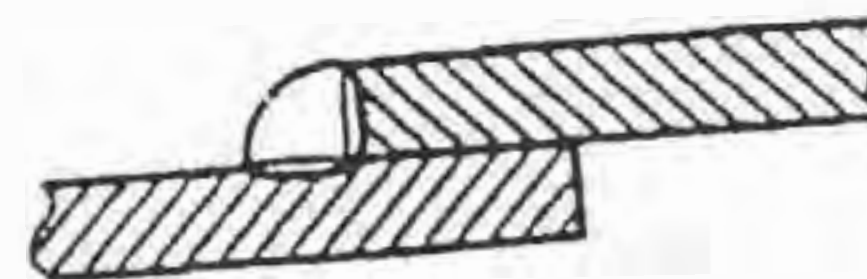


Рис. А3. Нахлестное соединение

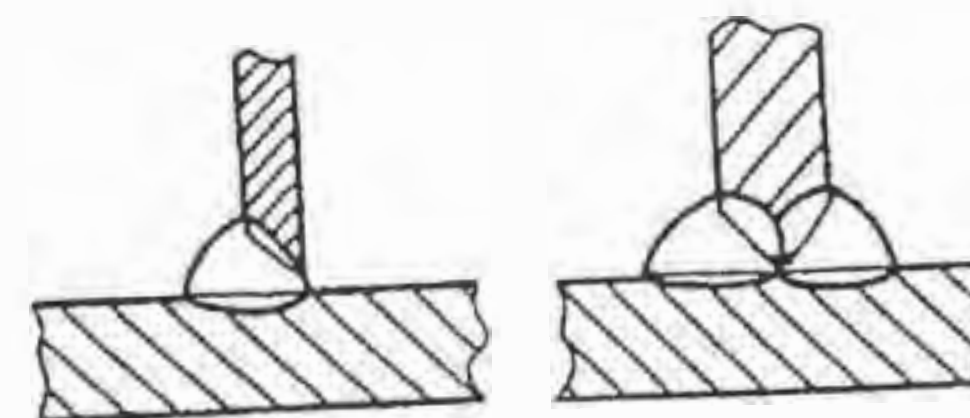


Рис. А4. Тавровое соединение

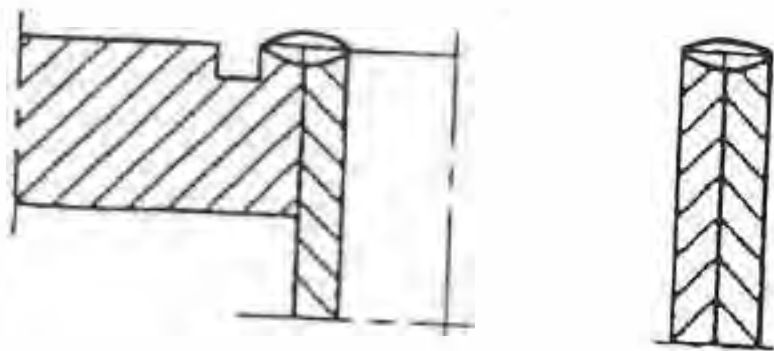


Рис. А5. Тавровое соединение

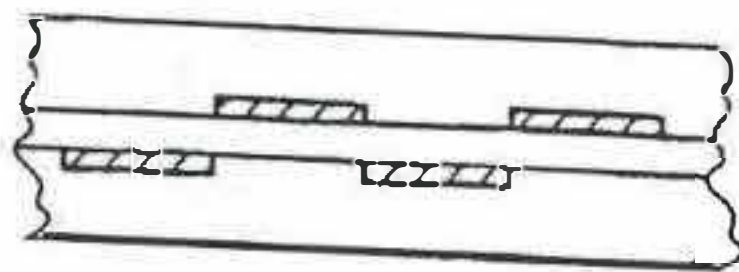


Рис. А7. Шахматный преривистой шов



Рис. А8. Корень шва

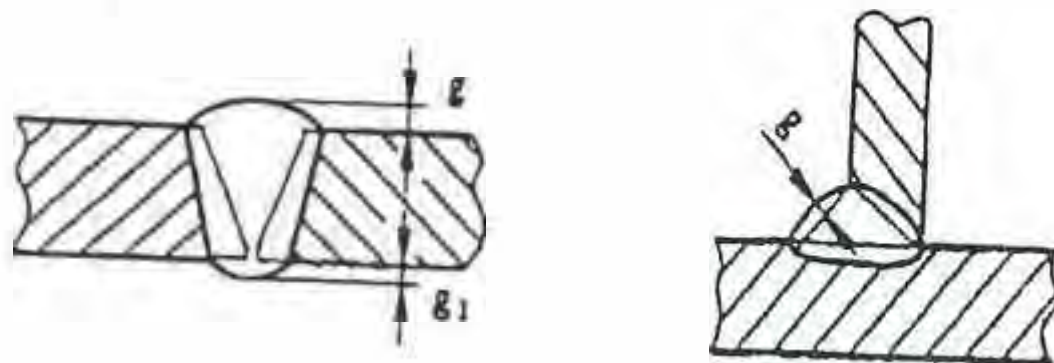


Рис. А9. Выпуклость сварного шва

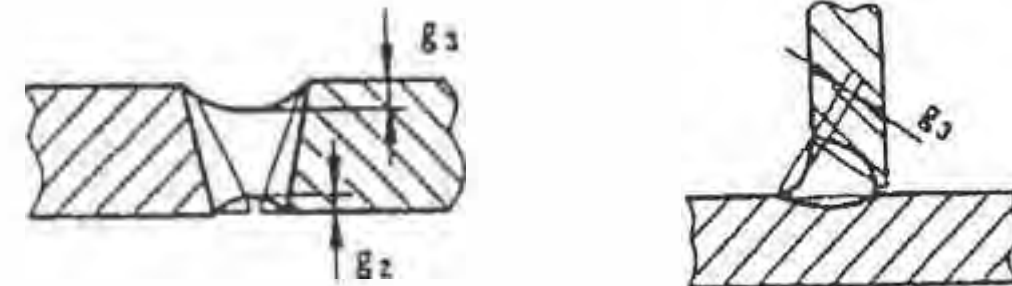


рис. А10. Вогнутость сварного шва

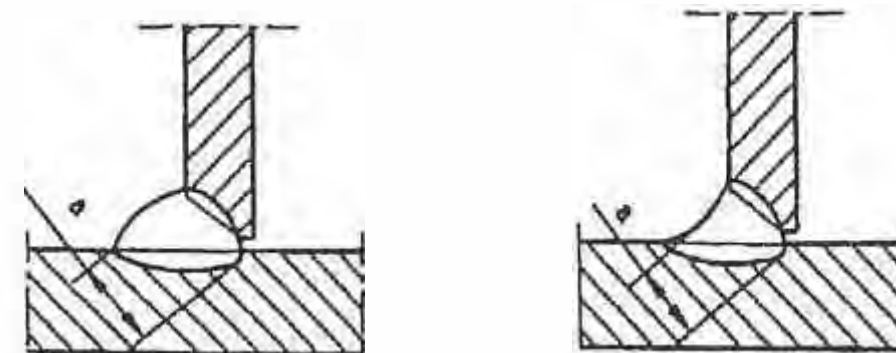


Рис. А11. Толщина углового шва

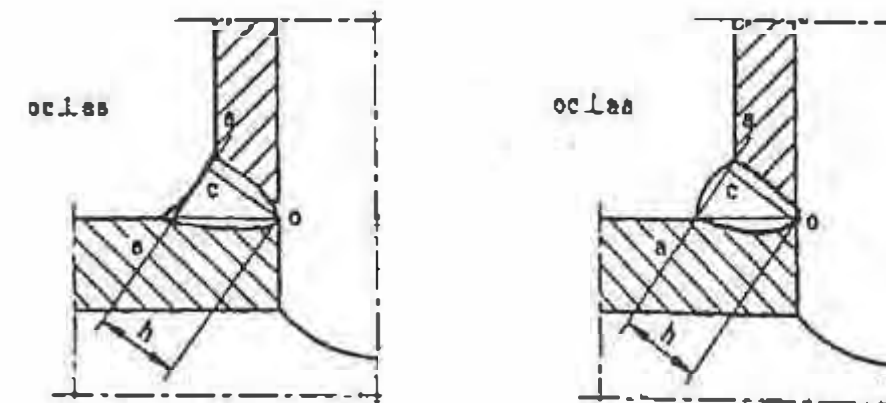
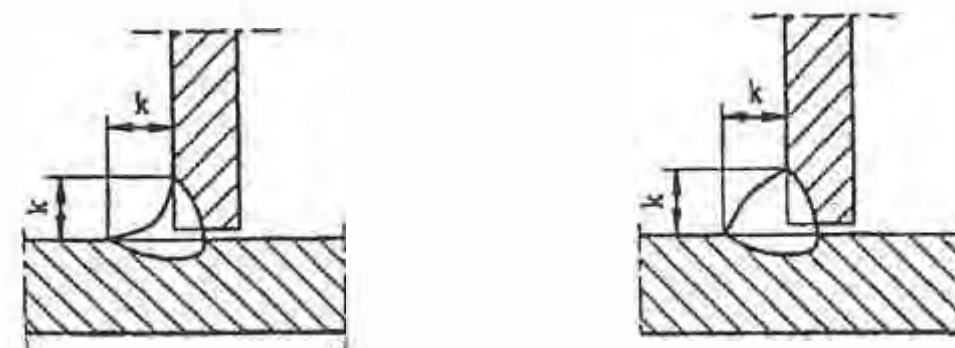
Рис. А12. Расчетная высота углового шва (h) (расчетная высота двустороннего углового шва определяется как сумма расчетных высот его частей, выполненных с разных сторон)

Рис. А13. Катет углового шва

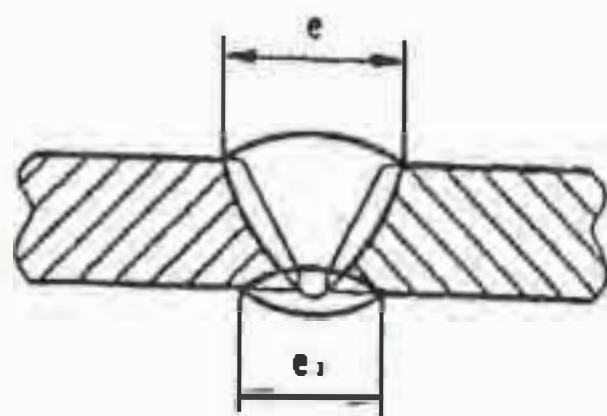


Рис. А14. Ширина сварного шва

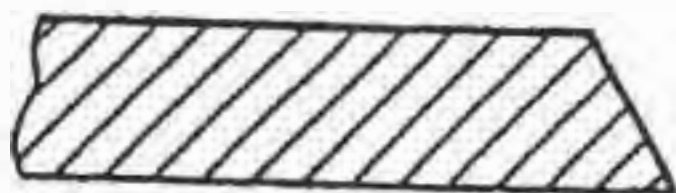


Рис. А15. Скос кромки

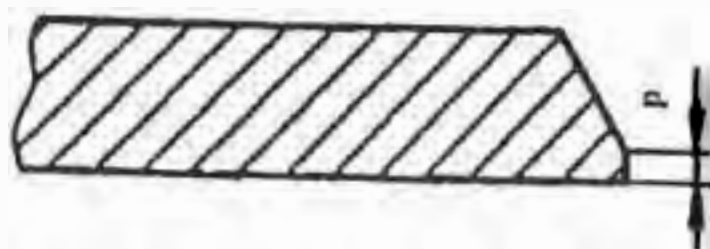


Рис. А16. Притупление кромки

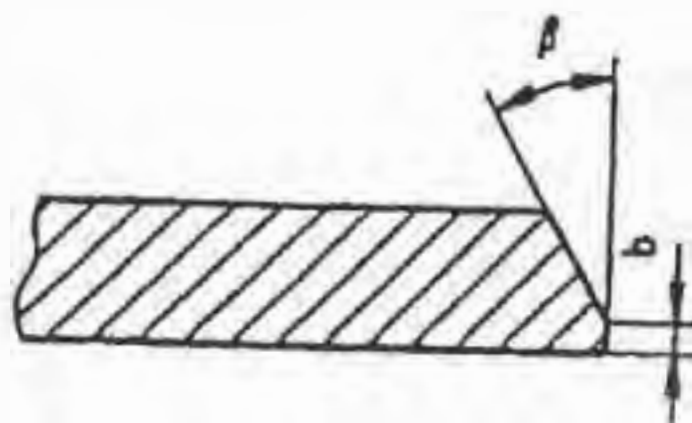


Рис. А17. Угол скоса кромки

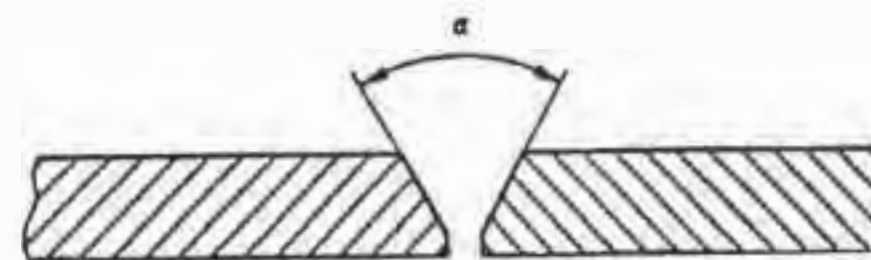


Рис. А18. Угол разделки кромок

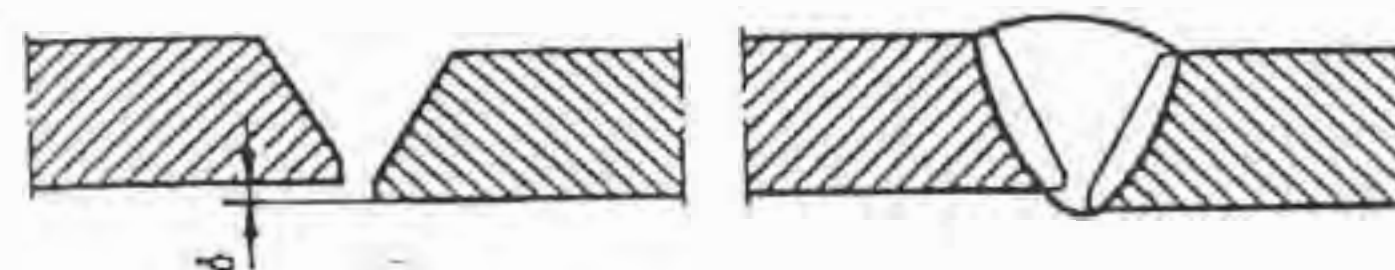


Рис. А19. Смещение кромок

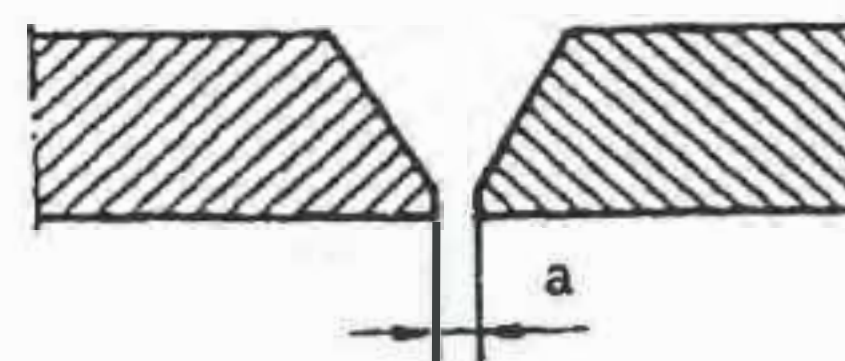


Рис. А20. Зазор в соединении

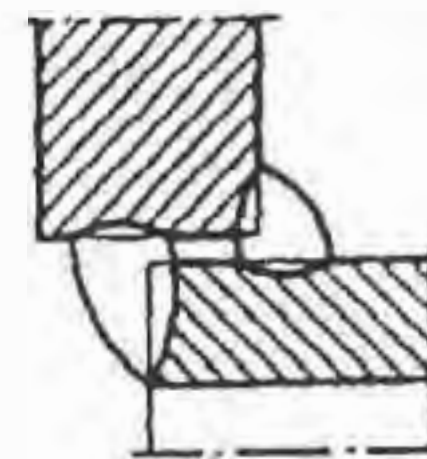


Рис. А21. Конструктивный непровар (зазор)

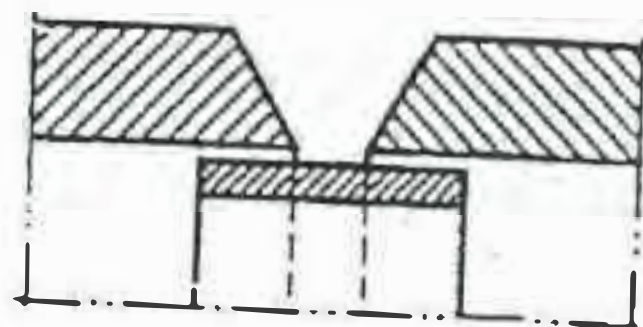


Рис. А22. Остающаяся подкладная пластина (кольцо)

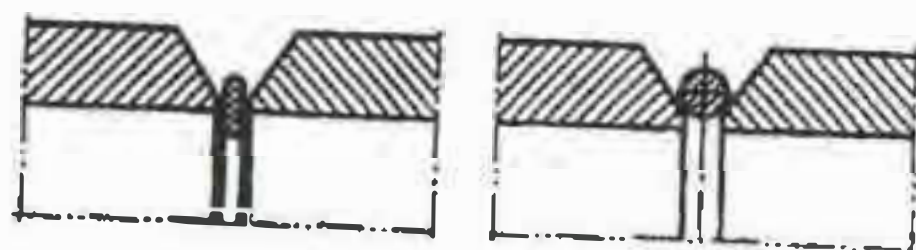


Рис. А23. Расплавляемая ставка

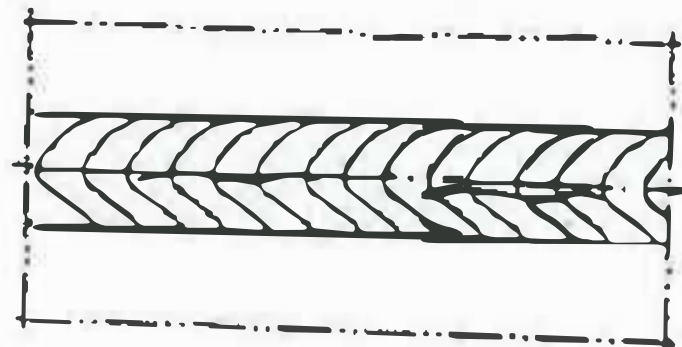


Рис. А24. Продольные трещины сварного соединения

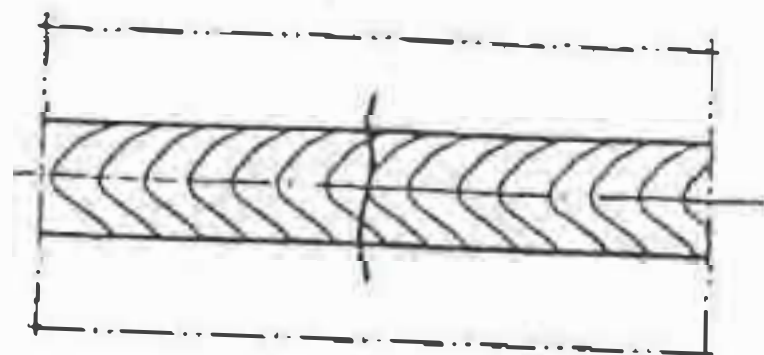


Рис. А25. Поперечная трещина сварного соединения

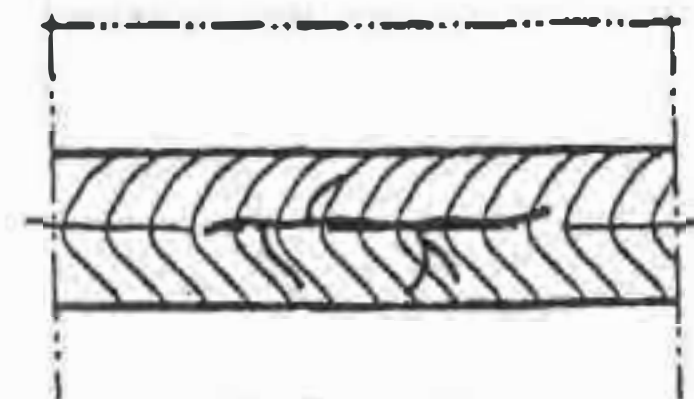


Рис. А26. Разветвленная трещина сварного соединения

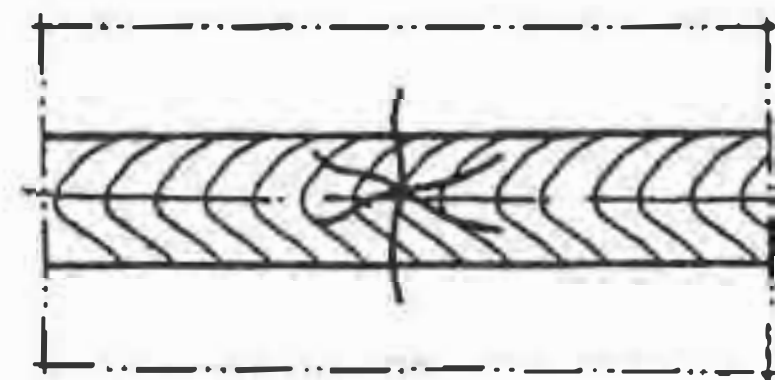


Рис. А27. Радиальные трещины сварного соединения

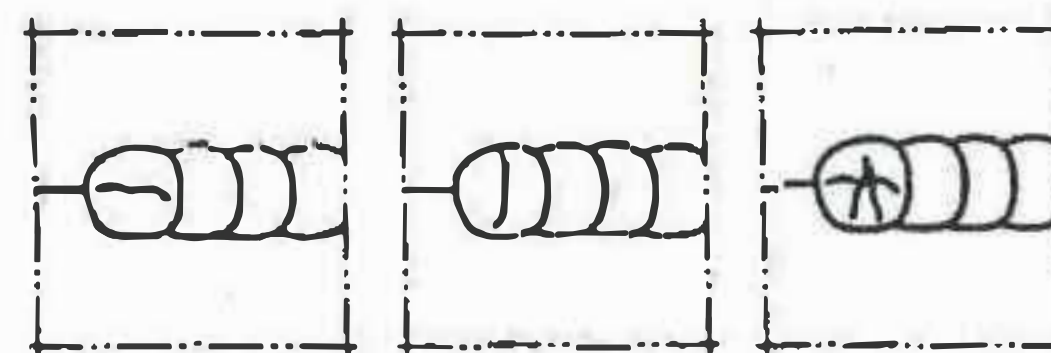


Рис. А28. Кратерные трещины сварного соединения

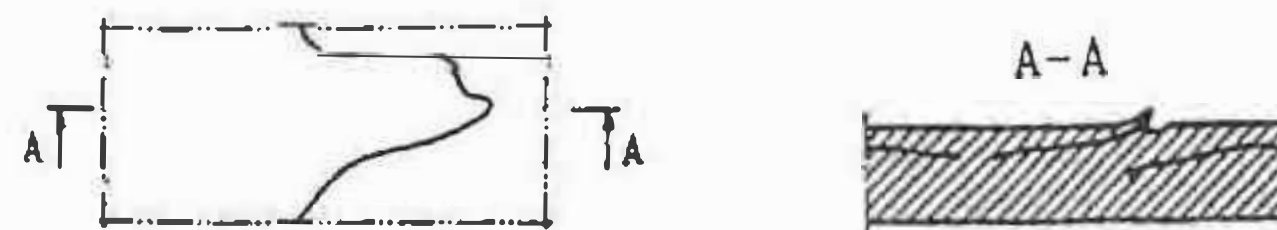


Рис. А29. Отслоение

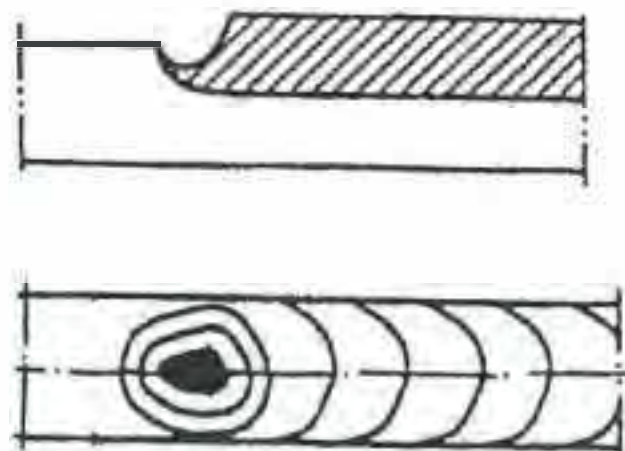


Рис. А30. Кратер



Рис. А32. Подрезы

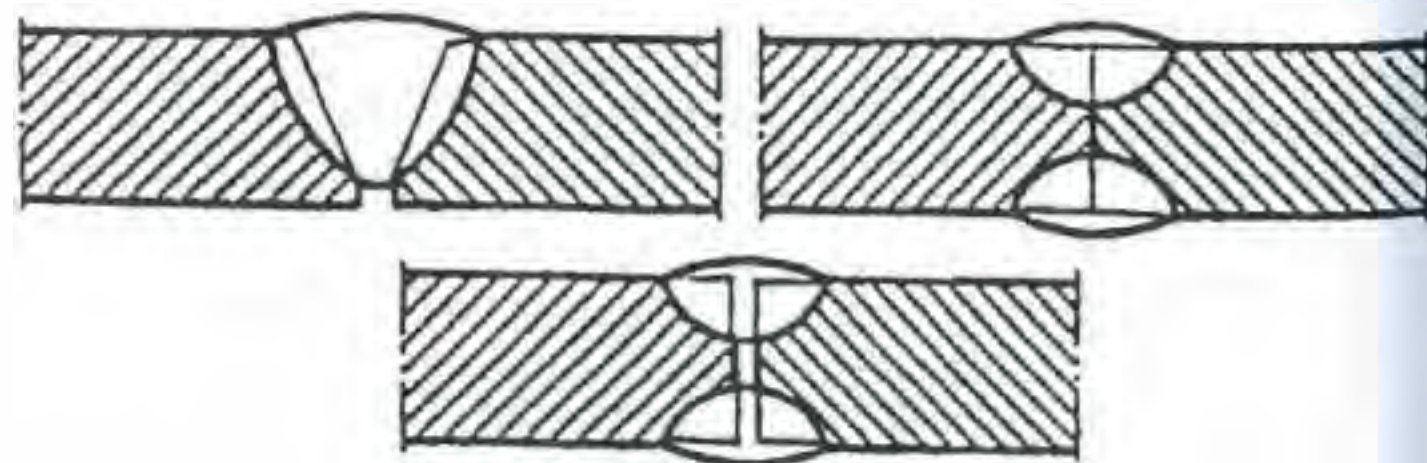


Рис. А33. Неровары



Рис. А34. Углубления (западания) между валиками шва

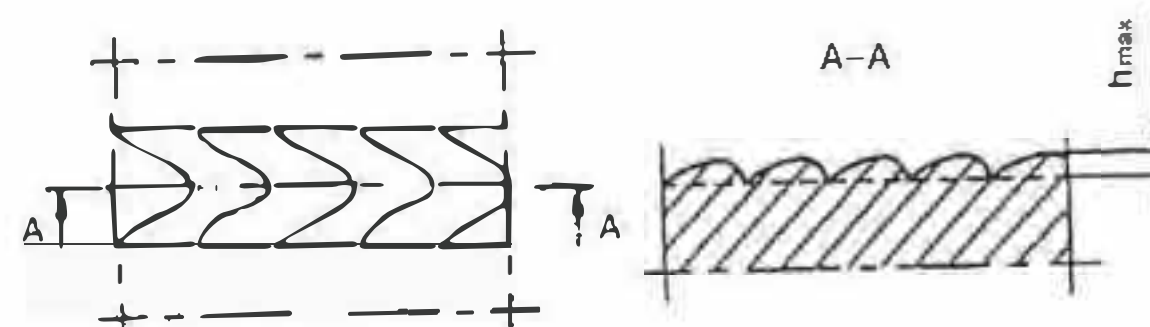


Рис. А35. Чешуйчатость сварного шва

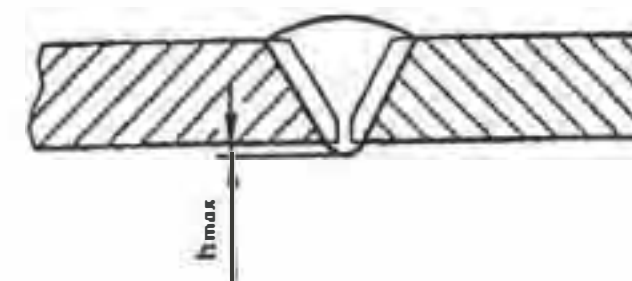


Рис. А36. Выпуклость корня шва

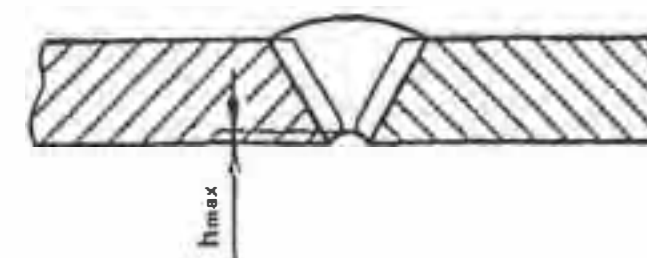


Рис. А37. Вогнутость корня шва

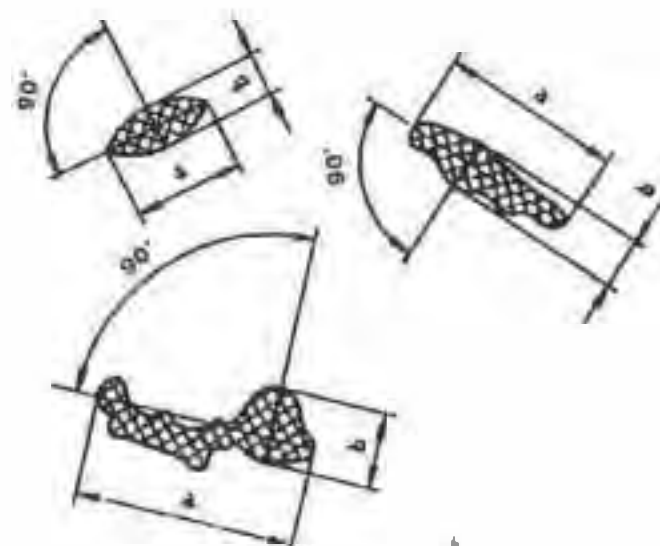


Рис. А38. Максимальная ширина включения

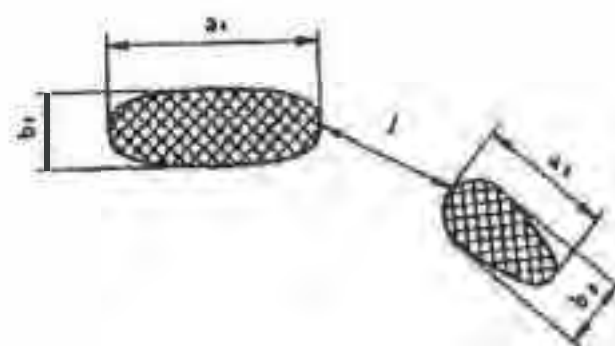


Рис. А39. Включение одиночное

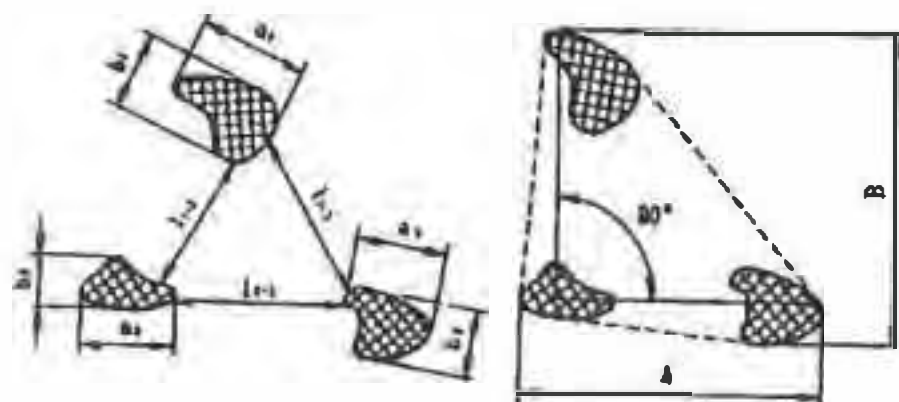


Рис. А40. Скопление включений

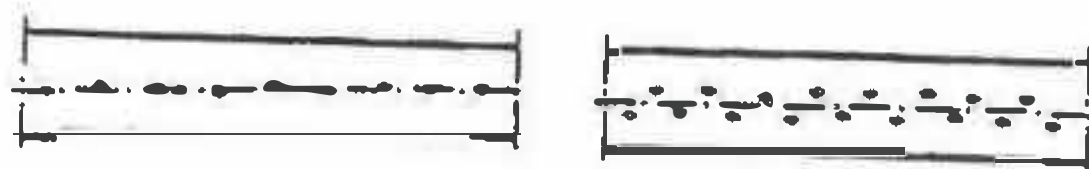


Рис. А41. Целочка пор

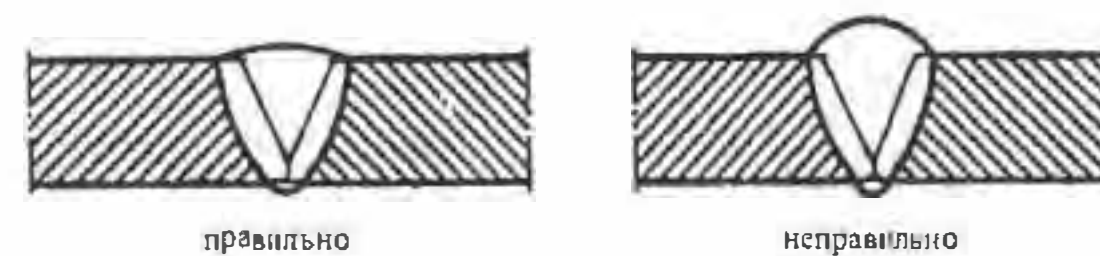


рис. А42. Превышение усиление сварного шва

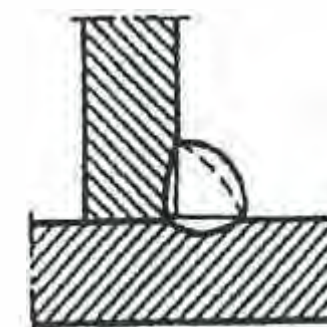


Рис. А43. Превышение выпуклости

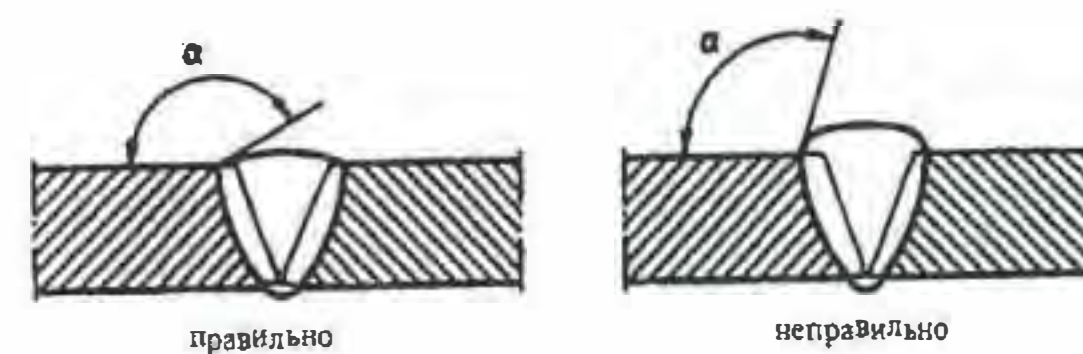


Рис. А44. Неправильный профиль сварного шва

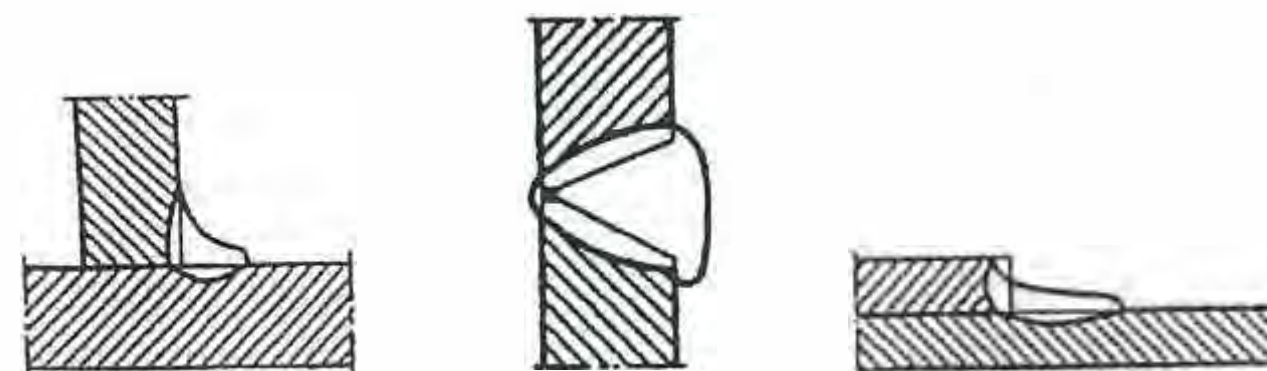


Рис. А45. Наплывы

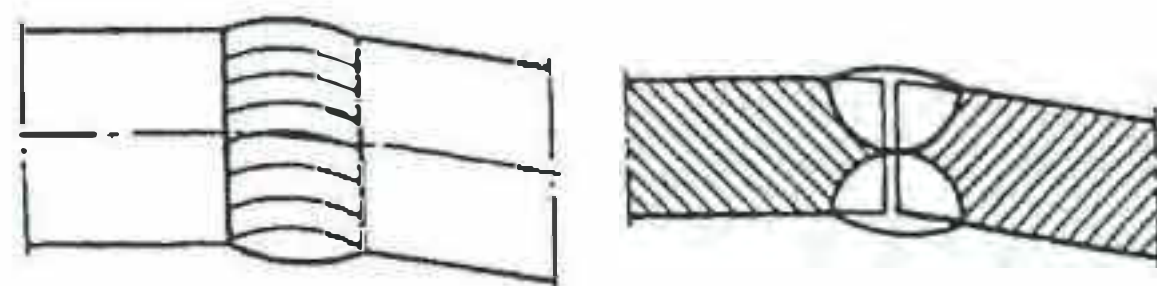


Рис. А46. Перелом осей деталей

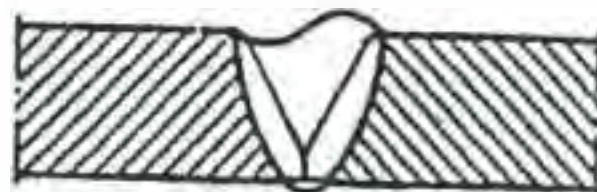


Рис. А47. Не полностью заполненная разделка кромок

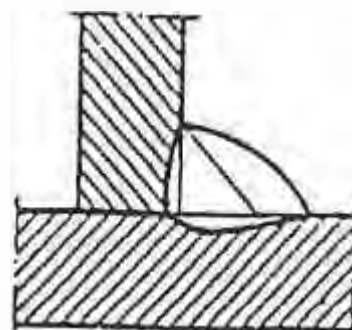


Рис. А48. Асимметрия углового шва

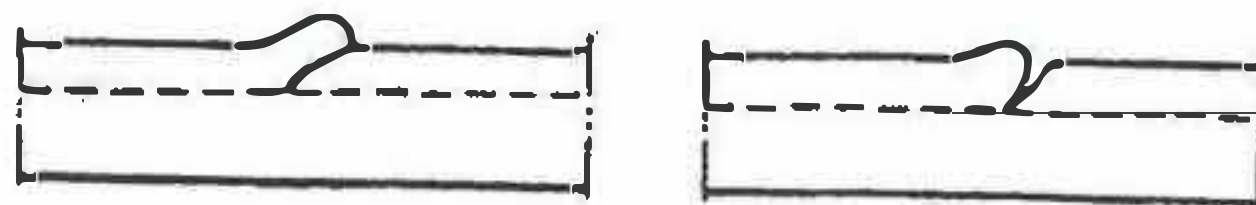


Рис. А49. Плохое возобновление шва

Требования к содержанию «Технологической карты визуального и измерительного контроля»

«Технологическая карта визуального и измерительного контроля» должна содержать следующие сведения:

1. Наименование организации и службы, выполняющей визуальный и измерительный контроль.
2. Шифр карты.
3. Наименование контролируемого изделия (группы однотипных изделий) с указанием стандарта или ТУ на изготовление (монтаж, ремонт).

4. Наименование стадии контроля: входной контроль полуфабрикатов, контроль подготовки деталей под сборку, контроль сборки деталей под сварку, контроль готовых сварных соединений (наплавки), контроль устранения дефектов, контроль при эксплуатации.
5. Требования к установке объекта контроля в требуемое положение (если это возможно) и к введению объекта в режим контроля (освещенность объекта).
6. Порядок подготовки объекта контроля к проведению контроля.
7. Последовательность операций контроля.
8. Перечень контролируемых параметров с указанием нормативных значений при измерительном контроле.

☑ **Примечание:** При разработке Карты следует руководствоваться указаниями настоящего РД, а также требованиями НД, регламентирующей требования к визуальному и измерительному контролю, в т.ч. нормами оценки качества и конструкторской документации на изделие (сварное соединение или наплавку).

Размерные показатели для норм оценки качества по результатам визуального и измерительного контроля

1. Нормы оценки качества принимают по следующим размерным показателям:
по **номинальной толщине сваренных деталей** — для стыковых соединений деталей одинаковой толщины (при предварительной обработке концов деталей путем расточки, раздачи, калибровки — по номинальной толщине деталей в зоне обработки); по номинальной толщине более тонкой детали (из двух сваренных) для стыковых сварных соединений деталей различной номинальной толщины (при предварительной обработке конца более тонкой детали — по ее номинальной толщине в зоне обработки);
по **расчетной высоте углового шва** — для угловых, тавровых и нахлесточных сварных соединений (для угловых и тавровых сварных соединений с полным проплавлением за размерный показатель допускается принимать номинальную толщину более тонкой детали);
по **удвоенной номинальной толщине более тонкой детали (из двух сваренных)** — для торцевых сварных соединений (кроме соединений вварки труб в трубные доски).
2. Протяженность (длина, периметр) сварных соединений определяется по наружной поверхности сваренных деталей у краев шва (для соединений штуцеров, а также угловых и тавровых соединений по наружной поверхности привариваемой детали у края углового шва).

3. Число одиночных включений, выявляемых при визуальном контроле, не должно превышать значений, указанных в НД на любом участке сварного соединения, длина которого регламентируется в НД. Для сварных соединений меньшей протяженности допустимое число одиночных включений уменьшают пропорционально уменьшению протяженности контролируемого соединения. Если при этом получается дробная величина, то она округляется до ближайшего целого числа.

4. Требования к числу одиночных включений для наплавленных поверхностей определяются согласно требованиям НД.

5. В сварных соединениях при визуальном и измерительном контроле не допускаются дефекты, превышающие установленные размеры.

Глава 5. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ВИК (пособие)

Для проведения визуальноизмерительного контроля сварных соединений и основного металла при изготовлении, строительстве, монтаже, ремонте, реконструкции, эксплуатации, техническом диагностировании в полевых, монтажных и цеховых условиях применяется комплект для визуального и измерительного контроля.

Комплект удовлетворяет требованиям РД 03-606-03 «Инструкция по визуальному и измерительному контролю». В состав комплекта входят средства контроля: лупа общего обзора и измерительная, рулетка, линейка, штангенциркуль, универсальный шаблон сварщика УШС-3, шаблон для контроля катетов швов УШС-2, универсальный шаблон Красовского УШС-1, наборы щупов и радиусов, угольник поверочный, а также фонарик, маркер по металлу, зеркало.

Европейскими стандартами, кроме перечисленных инструментов, рекомендуется в некоторых случаях использовать профилометр с проволочным измерителем диаметра или ширины ≤ 1 мм, у которого оба конца проволоки должны быть закруглены; материал для получения отпечатка сварного шва, твердеющий при остывании искусственный, тестообразный; какие-либо другие измерительные приборы по соглашению между договаривающимися сторонами: специально сконструированные шаблоны для сварного шва, шаблоны высоты или глубины, линейки или угломеры.

При проведении водолазных спусков и работ применяются средства визуальноизмерительного контроля: фонарь подводный, водолазный щуп, линейка водолазная, водолазная рулетка с рукояткой и штырем, шаблон пробоины, рамка для определения площади сохранившегося окрасочного слоя на обшивке судна, щупы с делениями, штангенциркуль, отвесы, угольник, угольник, скребок, планшет для зарисовок, измеритель сварных швов, набор шаблонов для контроля размеров сварных швов, слепкосниматель, пластилин, мел, вываренный в соли, осветительные установки для подводной фотосъемки (импульсная фотовспышка, переносные водолазные светильники), подводные телевизионные и фотоустановки.

Для проведения визуального осмотра внутренних поверхностей труб, котлов, баллонов и других объектов без их разборки и демонтажа применяются эндоскопы и эндоскопические системы различного назначения.

Жесткие эндоскопы (бороскопы) отличаются углами поля зрения, увеличениями, углами направления наблюдения, длинами и диаметрами рабочей части и предназначены для проведения визуального контроля и измерения выявленных дефектов узлов и элементов конструкции. Окуляр-

ная часть жестких эндоскопов с диаметром рабочей части больше 5 мм для удобства может иметь шарнирную конструкцию со свободным вращением вокруг двух осей.

Гибкие эндоскопы обеспечивают достоверность и качество контроля одновременно с универсальностью и способностью проникать в самые труднодоступные места конструкции.

Эндоскопы имеют разъемный или встроенный осветительный волоконно-оптический жгут. Для регистрации изображения к эндоскопу может быть присоединена видеокамера или цифровой фотоаппарат.

Эндоскопы могут иметь как линзовую оптическую систему передачи изображения, так и систему передачи изображения с помощью оптических элементов с градиентом показателя преломления и с поперечными размерами рабочей части до 1,5 мм.

Эндоскопы дополнительно могут быть укомплектованы осветительными блоками, угловыми насадками, резиновым наглазником, адаптерами для видео и фотосъемки, окулярной насадкой с выключающейся и поворачивающейся в поле зрения сравнительной сеткой для проведения измерения.

Телевизионные системы применяются для визуального осмотра внутренних поверхностей преимущественно цилиндрических объектов и состоят из телевизионной штанги с блоком питания и удлинительных штанг, которые позволяют увеличить глубину погружения системы в исследуемый объект. В поле зрения телевизионной камеры высокого разрешения совмещены панорамное перспективное изображение внутренней поверхности и ее фрагмента, находящегося под углом 90° к направлению погружения, что позволяет рассмотреть обнаруженный дефект с большим увеличением, не меняя объектив камеры.

Видеоэндоскопические системы нового поколения имеют полностью модульную конструкцию, что позволяет гибко использовать возможности систем. Система стереоизмерений позволяет точно измерять размеры дефектов во всех направлениях обзора и на больших расстояниях от объекта до дефекта (от 5 до 80 мм). Видеоэндоскопы оснащаются выносными блоками управления, совмещающими экран с большим углом обзора и систему электронного управления изгибом дистальной части с помощью джойстика. Системы обеспечивают сохранение изображений на флэшкарте, что позволяет переносить изображения на компьютер. Высококачественные оптические системы позволяют проводить как аналоговое, так и цифровое документирование эндоскопических исследований. Вывод полученного через эндоскоп изображения на экран или передача изображения по компьютерной сети дает возможность оценки обнаруженного дефекта сразу несколькими специалистами, а создание базы данных и последующее сравнение между собой сделанных с различными временными интер-

валами снимков позволяет определить динамику развития обнаруженного дефекта или объективно оценить результаты ремонта.

Видеокомплексы, состоящие из жидкокристаллического монитора, цифрового видеорегистратора, видеокамеры с адаптерами являются оптимальным решением для внутрицевых эндоскопических исследований.

В промышленных оптических видеосистемах применяются также камеры глобального наблюдения с системой дистанционного управления, применяемые на АЭС, высокотемпературные камеры с возможностью измерения температуры, портативные видеомикроскопы. Применяются цифровые лазерные микрометры для измерения различных горячих объектов, предметов, которые не могут быть измерены обычными методами. Применяются металлографические микроскопы для оценки состояния объектов в условиях эксплуатации. Применяются микровидеодисплеи для дополнительной визуализации результатов при проведении работ по диагностике в полевых условиях. Применяются видеокроулеры для выполнения инспекций трубопроводов диаметром от 100 до 2000 мм длиной до 300 м, проталкиваемые видеосистемы, плавающие видеомодули для телеинспекции частично заполненных коллекторов, системы для заделки дефектов в трубах.

Отечественное и зарубежное оборудование для визуальноизмерительного контроля поставляется фирмами: «GRADIENT LENS CORPORATION», «Омтех», «Спектр», «OLYMPUS», «ПЕРГАМ», «HELLING» «Панатест НК», «ЛУЧ-Диагностика», «ПромДиаОборудование», МФ НИКИМТ «Эксперт-Центр», «ПРОМПРИЛАД» и др.

Современное оборудование визуально-оптического контроля

Борисов Д.В.
ВИК 2-й уровень
ЗАО «Прибор НК».

Технология endoGRINs

Жесткие технические эндоскопы (бороскопы) дают лучшее качество изображения, по сравнению с гибкими моделями и подходят для разнообразного применения в промышленности. Традиционные жесткие эндоскопы включают системы передачи сигнала, составленные из нескольких традиционных оптических элементов. Самая общая конфигурация — стержневая система Хопкинса, которая использует сферические линзы, приклеенные к однородным стеклянным стержням (рис. 1). Однократная передача изображения требует пары стержневых линз, каждая из которых составлена из одноэлементной линзы, жесткого стеклянного стержня, и двухэлементной линзы, смонтированных вместе: каждый транслятор состоит из восьми отдельных оптических элементов.

Относительное удлинение каждого модуля передачи изображения — приблизительно 25 к 1; другими словами, чтобы сделать эндоскоп достаточно длинным для практического использования, большинству жестких эндоскопов требуется от трех до семи модулей передачи изображения. Это составляет в целом от 24 до 56 отдельных оптических элементов диаметром 1—4 мм. Каждый элемент должен быть отдельно отшлифован, отполирован и отцентрирован, поэтому легко понять, почему качественные жесткие эндоскопы довольно дороги.

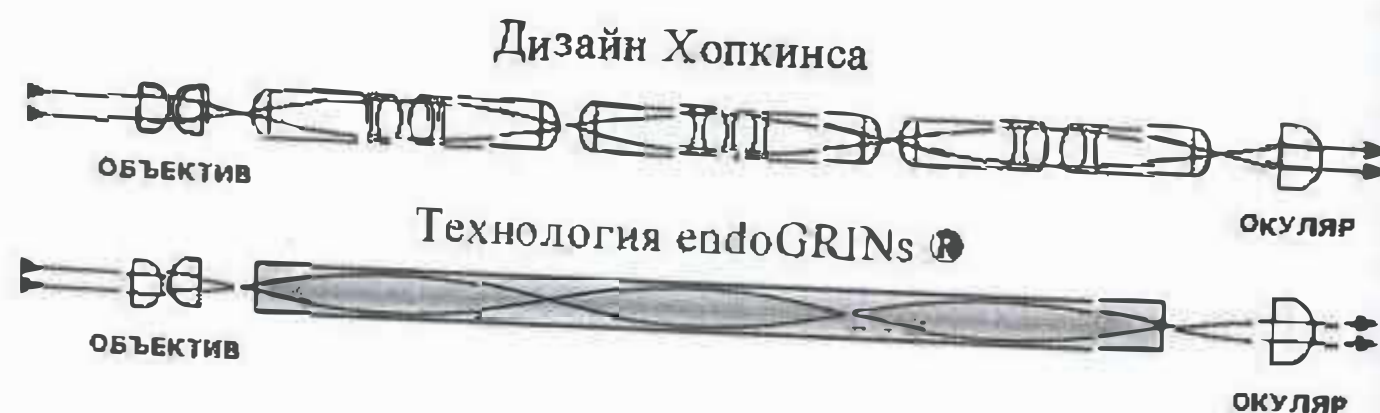


Рис. 1. Традиционный транслятор Хопкинса состоит из однокомпонентной линзы, линзы-стержня и двухкомпонентной линзы, смонтированных вместе; для одного транслятора требуются два таких собранных элемента. Индексградиентная (GRIN) линза-транслятор решает ту же самую задачу одним элементом. Легированный литием материал исправляет хроматическую aberrацию, вводя отрицательную дисперсию.

Коррекция цвета со стеклом GRIN

Радиал-градиент-индексные (GRIN) линзы дают новый подход к жестким узлам эндоскопа. Единственный стержень с плоскими торцевыми поверхностями может легко передать изображение от 3-х до 7-ми раз, избавляя от затрат на изготовление множества элементов и их юстировку. Элементы GRIN стоят в среднем в 4 раза дешевле по сравнению с типичными единичными трансляторами изображения Хопкинса. Несмотря на преимущества в стоимости и простоте, технология GRIN не вытеснила конфигурацию Хопкинса. Главный недостаток традиционных трансляторов GRIN состоит в том, что они обладают повышенной дисперсией лучей света того же знака, что и традиционные линзы; то есть фокусное расстояние системы для синей части видимого спектра короче, чем для красной части спектра, что не позволяет создать систему с коррекцией света. Используя собственную технологию изготовления, инженеры корпорации Gradient Lens разработали градиент-индексное стекло и создали транслятор endoGRINs, компонент, который вводит дисперсию противоположного знака для компенсации дисперсии традиционных линз, что позволило дизайнерам создать ахроматический бороскоп (рис. 1).

Синий свет, проходя сквозь стекло GRIN, имеет больший коэффициент преломления чем красный, но изменение коэффициента преломления для красного цвета больше, чем для синего, что создает линзу транслятора с более сильным преломлением для красного цвета. Это позволяет проектировщику линзы легко сбалансировать осевую хроматическую aberrацию в трансляторе с aberrацией объектива и окуляра, создавая, таким образом, эндоскоп с цветовой коррекцией.

Трансляторы endoGRINs изготавливаются путем ионного обмена в содержащем литий стекле, созданном корпорацией Gradient Lens. Стекло сначала вытягивают в форме стержня, затем погружают в ванну из расплавленной соли, содержащей ионы натрия. Замена ионов натрия в соляном расплаве на ионы лития в стекле формирует номинально параболический профиль показателя преломления в стекле с $\Delta n - 0.003$, образуя транслятор с относительным удлинением 25:1 на один шаг или на один транслятор изображения; это — промышленный стандарт.

Стержни имеют превосходное качество изображения с разрешением более 200 линий на миллиметр. Дисперсия транслятора — всего -0.25% ; стержень диаметром 2 мм и длиной в полтора шага (150 мм) вызвал бы -0.375 мм дисперсию цвета по оси изображения, причем красные волны попадают в более короткий фокус, чем синие. Это состояние легко балансируется хроматическими эффектами линз окуляра и объектива, где синий свет попадает в более короткий фокус чем красный.

Прецизионный бороскоп Hawkeye

Линза транслятора endoGRINs позволяет конструкторам оптики выпускать простые, экономичные, высококачественные эндоскопы и бороскопы, такие как прецизионный бороскоп Hawkeye корпорации Gradient Lens. Оптическая конструкция инструмента содержит всего три оптических элемента, а его эксплуатационные показатели конкурентоспособны с традиционным эндоскопом Хопкинса. Эндоскоп использует одноэлементный объектив GRIN диаметром 2,7 миллиметра, изготовленный корпорацией NSG (Осака, Япония). Транслятор EG-27-3P/2 корпорации Gradient Lens диаметром 2,7 мм и длиной 195 мм передает изображение через эндоскоп к одноэлементному окуляру ВК-7 с эффективным фокусным расстоянием 15 мм. Бороскоп дает хорошее изображение в поле зрения 40° (рис. 2).



Рис. 2.
Бороскоп Hawkeye использует элемент endoGRINs для передачи изображения, состоящий всего из трех компонентов.

Поскольку транслятор endoGRINs является симметричной 1:1 транслятор-линзой, сам транслятор не вводит никакой несимметричной аберрации, искажения, или бокового цвета. Система должна быть откорректирована только по сферической аберрации, искривлению поля и осевому цвету.

Объектив вводит незначительную сферическую аберрацию. Небольшая избыточная сферическая аберрация в трансляторе endoGRINs балансирует недостаточную сферическую аберрацию однолинзовых окуляров ВК-7.

Оборудование для ВИК (пособие)

Незначительный обратный прогиб поля в трансляторе исправляется прогибом поля вперед в объективе и окуляре.

Самое важное достоинство транслятора — его способность исправить осевую и боковую хроматические аберрации, вводимые другими оптическими элементами системы: осевой цвет объектива и окуляров сбалансирован отрицательной дисперсией транслятора endoGRINs, а боковая хроматическая аберрация в объективе сбалансирована окуляром. Результат — хорошо скорректированный бороскоп с высоким разрешением, с высоким контрастом и привлекательной ценой.

Жесткие бороскопы находят очень широкое применение в промышленности

Оружейные мастера и стрелки по мишеням используют бороскопы, чтобы проверить качество и чистоту ствола, а специалисты по замкам и сейфам — для осмотра механизмов. Специалисты по обслуживанию авиационных, автомобильных и дизельных двигателей используют эти инструменты для осмотра стенок цилиндров, поршней, коллекторов и каналов топливного инжектора. При контроле изделий, выполненных методом литья под давлением, бороскоп позволяет специалистам исследовать качество обработанной поверхности готовых форм. Отделы технического контроля также используют эндоскопы Hawkeye для осмотра сварных швов и поиска трещин в недоступных местах. Технология endoGRINs соединяет в себе низкую цену, простоту и качество изображения и делает это все доступным для конечного пользователя (рис. 3-1, 3-2, 3-3)

Фотографии внутренних поверхностей оружейных стволов, полученных с помощью бороскопов Hawkeye.



Рис. 3-1
Хорошее состояние ствола



Рис. 3-2
Эрозийное растрескивание



Рис. 3-3
Коррозия

Для заметок

NDT ПРИБОР НК
DEVICE
ПРИБОРЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

Эксклюзивный представитель
Gradient Lens Corporation



ЗАО «Приборы неразрушающего контроля» — официальный представитель
Gradient Lens Corporation в России

Линейка бороскопов Hawkeye®:



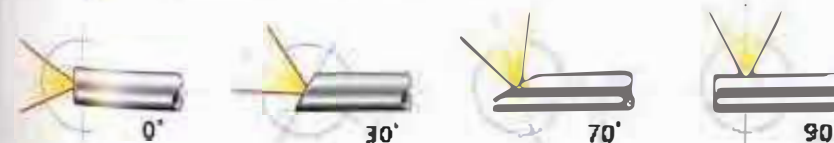
Hawkeye Classic — качественные и недорогие жесткие бороскопы начального уровня, выполненные по технологии endoGRINs®.



Hawkeye Classic Flexible — гибкие бороскопы, дающие яркие и чистые изображения. Рабочая часть имеет защитное покрытие из нержавеющей стали в пластиковой оплетке. Она герметична и стойка к различным техническим жидкостям.



Hawkeye Pro MicroFlex — полужесткие и гибкие бороскопы, диаметр которых составляет всего 0,9 мм.



Hawkeye Pro Rigid — жесткие бороскопы, в которых улучшена четкость и яркость изображения. Изготавливаются с применением технологии endoGRINs® e2, которая снижает дисперсию света с 0,25% до 0,10% по сравнению с технологией endoGRINs®. Эти модели имеют независимое кольцо фокусировки.



Hawkeye Blue — жесткие бороскопы с различными углами направления обзора, кольцом кругового обзора на 360°. В этих моделях увеличены контрастность и четкость изображения специально для затемненных мест.



Hawkeye Blue Flexible — гибкие бороскопы, в которых достигнуто лучшее соотношение цена/качество. Имеют возможность артикуляции дистальным концом в 2-х или 4-х направлениях, в зависимости от модели. Обладают герметичной рабочей частью, стойкой к различным техническим жидкостям.

Жесткие бороскопы



Гибкие бороскопы



Аксессуары



Перечень НТД, используемой при подготовке специалистов по ВИК

I. Общие документы для всех объектов контроля:

- РД 03-606-03 «Инструкция по визуальному и измерительному контролю»;
- ГОСТ 23479-79 «Контроль неразрушающий. Методы оптического вида. Общие требования»;
- ГОСТ 30242-97 «Дефекты соединений при сварке металлов плавлением. Классификация, обозначение и определения»;
- СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение»;
- ГОСТ 5264-80 «Ручная дуговая сварка. Соединения сварные»;
- ГОСТ 16037-80 «Соединения сварные стальных трубопроводов. Основные типы, конструктивные элементы и размеры»;
- ГОСТ 8713-79 «Сварка под флюсом. Соединения сварные»;
- ГОСТ 24521-80 «Контроль неразрушающий оптический. Термины и определения»;
- ГОСТ 3242 «Соединения сварные. Методы контроля качества»

II. НТД по перечню объектов контроля Ростехнадзора:

1. Объекты котлонадзора

- РТМ-1с (РД 153-34. 1-003-01) «Сварка, термообработка и контроль трубных систем котлов и трубопроводов при монтаже и ремонте энергетического оборудования»;
- ОСТ 26-291-94 «Сосуды и аппараты стальные сварные. Общие технические условия»;
- ПБ 03-576-03 «Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением»;
- ПБ 03-584-03 «Правила проектирования, изготовления и приемки сосудов и аппаратов стальных сварных»;
- ПБ 10-574-03 «Правила устройства и безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов»;
- ПБ 10-573-03 «Правила устройства и безопасной эксплуатации трубопроводов пара и горячей воды».
- РД 03-421-01 «Методические указания по проведению диагностирования технического состояния и определению остаточного срока службы сосудов и аппаратов»

2. Системы газоснабжения

- ПБ 12-529-03 «Правила безопасности систем газораспределения и газопотребления»
 СНиП 42012002 (взамен СНиП 2.04.0887, СНиП 3.05.0288);
 СП 42-102-2004 «Свод правил по проектированию и строительству газопроводов из металлических труб»;
 СП 42-103-2003 «Проектирование и строительство газопроводов из полиэтиленовых труб и реконструкция изношенных газопроводов»
 ГОСТ 51164-98 «Трубопроводы стальные магистральные. Общие требования к защите от коррозии»
 РД 558-97 «Руководящий документ по технологии сварки труб при производстве реинтентовосстановительных работ на газопроводах»
 РД 12-411-01 «Инструкция по диагностированию технического состояния подземных стальных газопроводов»
 ВРД 39-1.10.004-99 «Методические рекомендации по количественной оценке состояния магистральных газопроводов с коррозионными дефектами, их ранжирование по степени опасности»

3. Подъемные сооружения

- РД 36-62-00 «Оборудование грузоподъемное. Общие технические требования»
 РД 24.090.97-98 «Оборудование подъемнотранспортное. Требования к изготовлению, ремонту и реконструкции металлоконструкций грузоподъемных кранов»
 ПБ 10-382-00 «Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов»
 ПБ 10-518-02 «Правила устройства и безопасной эксплуатации строительных подъемников»
 ПБ 10-558-03 «Правила устройства и безопасной эксплуатации лифтов»
 ПБ 10-611-03 «Правила устройства и безопасной эксплуатации подъемников (вышек)»

4. Объекты горнорудной промышленности

- ГОСТ 23118-99 «Конструкции стальные строительные. Общие технические условия»
 СП 53-101-98 «Изготовление и контроль качества стальных строительных конструкций»

- СНиП III-187-5 «Правила производства и приемки работ. Металлические конструкции»;
 СНиП 3.03.01-87 «Несущие и ограждающие конструкции».
 СП 13-102-2003 «Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений»
 РД 03-422-01 «Методические указания по проведению экспертных обследований шахтных подъемных установок»
 РД 05-335-99 «Требования к изготовлению рудничного электрооборудования напряжением 1140 В»
 ПБ 03-553-03 «Единые правила безопасности при разработке рудных, нерудных и россыпных месторождений полезных ископаемых подземным способом»

5. Объекты угольной промышленности

- РД 03-422-01 «Методические указания по проведению экспертных обследований шахтных подъемных установок»
 РД 05-324-99 «Инструкция по безопасной эксплуатации рельсовых напочвенных дорог в угольных шахтах»
 ПБ 05-618-03 «Правила безопасности в угольных шахтах»
 ГОСТ 23118-99 «Конструкции стальные строительные. Общие технические условия»
 РД 03-427-01 «Методические указания по проведению экспертных обследований вентиляторных установок главного проветривания»;
 РД 05-323-99 «Временные требования безопасности при эксплуатации монорельсовых дорог в угольных шахтах».

6. Оборудование нефтяной и газовой промышленности

- РД 39.0147014.554.89 «Технологический процесс неразрушающего контроля деталей и узлов бурового и нефтепромыслового оборудования, восстанавливаемых наплавкой».
 РД 39.2.787.82 «Методика дефектоскопии концов буровых труб»
 РД 39.12.1150.84 «Технология неразрушающего контроля вертлюгов»
 РД 39.12.664.81 «Методика дефектоскопии тормозных лент буровых лебедок и лебедок агрегатов для подземного и капитального ремонта скважин»
 РД 08-195-98 «Инструкция по техническому диагностированию состояния передвижных установок для ремонта скважин»
 ВСН 012-88 «Ведомственные строительные нормы. Строительство магистральных и промысловых трубопроводов. Контроль качества и приемка работ»;

Р-08.00-60.30.00-КТН-046-1-05. Руководящий документ. Неразрушающий контроль сварных соединений при строительстве и ремонте магистральных нефтепроводов.

ПБ 03-605-03 «Правила устройства вертикальных цилиндрических стальных резервуаров для нефти и нефтепродуктов».

СНиП 3.03.01-87 «Несущие и ограждающие конструкции».

РД 08-95-95 «Положение о системе технического диагностирования сварных вертикальных цилиндрических резервуаров для нефти и нефтепродуктов»

ГОСТ 51164-98 «Трубопроводы стальные магистральные. Общие требования к защите от коррозии»

7. Оборудование металлургической промышленности.

ГОСТ 23118-99 «Конструкции стальные строительные. Общие технические условия»

СП 53-101-98 «Изготовление и контроль качества стальных строительных конструкций»

СНиП Ц1-18-75 «Правила производства и приемки работ. Металлические конструкции»;

СП 13-102-2003 «Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений»

СНиП 3.03.01-87 «Несущие и ограждающие конструкции».

ПБ 11-542-03 «Правила безопасности в доменном производстве»

ПБ 11-401-01 «Правила безопасности в газовом хозяйстве металлургических и коксохимических предприятий и производств»

ПБ 03-585-03 «Правила устройства и безопасной эксплуатации технологических трубопроводов»;

8. Оборудование взрывопожароопасных и химически опасных производств

ПБ 03-585-03 «Правила устройства и безопасной эксплуатации технологических трубопроводов»

8.4. ПБ 03-605-03 «Правила устройства вертикальных цилиндрических стальных резервуаров для нефти и нефтепродуктов».

8.4.; 8.5. ПБ 09-566-03 «Правила безопасности для складов сжиженных углеводородных газов и легко воспламеняющихся жидкостей под давлением»

ПБ 03-576-03 «Правила устройства и безопасной эксплуатации судов, работающих под давлением»;

ПБ 03-557-03 «Правила безопасности при эксплуатации железнодорожных вагоновцистерн для перевозки жидкого аммиака»

ОСТ 26-01-143 4-87 «Сварка стальных технологических трубопроводов на давление Ру свыше 10 до 100 МПа. Технические требования.»

9. Объекты железнодорожного транспорта

ГОСТ Р 51659-2001 «Вагонцистерна магистральных железных дорог колеи 1520 мм»

ПБ 03-576-03 «Правила устройства и безопасной эксплуатации судов, работающих под давлением»;

ЦП 1-93; 2-93; 3-93 Классификация дефектов железнодорожных рельсов»

ЦВ 201-98 «Инструкция по сварке и наплавке при ремонте грузовых вагонов»

РД 34.174-2001 «Неразрушающий контроль деталей вагонов. Общие положения».

РД 15-73-94 «Правила безопасности при перевозке опасных грузов железнодорожным транспортом»

ТУ 3182-005-00217403-2004 «Вагонцистерна для аммиака»

ТУ 3182-100-00217403-2004 «Вагонцистерна для сжиженных углеводородных газов»

ПБ 03-557-03 «Правила безопасности при эксплуатации железнодорожных вагоновцистерн для перевозки жидкого аммиака»

10. Объекты хранения и переработки зерна

ГОСТ 23118-99 «Конструкции стальные строительные. Общие технические условия»

РД 03-427-01 «Методические указания по проведению экспертных обследований вентиляторных установок главного проветривания»;

ПБ 03-576-03 «Правила устройства и безопасной эксплуатации судов, работающих под давлением»;

ПБ 14-586-03 «Правила промышленной безопасности для взрывопожароопасных производственных объектов хранения, переработки и использования растительного сырья»

11. Российский речной регистр

Правила 2. Правила классификации и постройки судов внутреннего плавания (ПСВП).

III. Европейские нормы

- EN 13018:2001 «Неразрушающий контроль. Визуальный контроль. Часть 1: Общие принципы.»
- EN 970 «Неразрушающий контроль сварных швов, выполненных плавлением. Визуальный контроль»
- EN 12062 «Неразрушающий контроль сварных конструкций. Общие правила для металлических материалов»
- EN ISO 5817 Немецкое издание. Сварка. Сварные соединения, выполненные плавлением из стали, никеля, титана и их сплавов (без применения лазерной сварки). Уровни качества в зависимости от дефектов»
- ISO 6520 «Классификация дефектов швов при сварке металлов плавлением с пояснениями»
- DIN 1690, Teil 2. Технические условия поставки металлических отливок. Разделение по уровню качества на основе неразрушающего контроля»
- DIN EN 129526:2002 «Водотрубные котлы и вспомогательные установки. Часть 6: Инспекция во время изготовления, подготовки документации и маркировки частей котла, работающих под давлением»
- DIN EN ISO 85014 «Подготовка стальных поверхностей перед нанесением покрытий. Визуальная оценка очистки поверхностей. Часть 4: Степени подготовки покрытых и непокрытых стальных поверхностей после удаления ржавчины и предыдущих покрытий промыванием водой под высоким давлением»

Учебное пособие по неразрушающему контролю

**Бигус Г.А., Быстрова Н.А., Котельников В.В.,
Рябцев С.Л., Горелов А.М., Воронкова Л.В.,
Симоненко Е.В., Каледин И.Б., Большаков Д.С.**

ВИЗУАЛЬНЫЙ И ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ

Компьютерная верстка и графика Попова А. А., Давыдова О. И.

