

Министерство образования и науки Российской Федерации
Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова

Е.Н. Астапов

РАДИАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ. РЕНТГЕНОГРАФИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ

*Утверждено Редакционно-издательским советом университета
в качестве учебного пособия*

Магнитогорск
2015

УДК 53.08 (075.8)

Рецензенты:

*Начальник лаборатории неразрушающего контроля
ЗАО МНТЦ «Диагностика»*

С.В. Дурасов

*Начальник лаборатории дефектоскопии
и радиационной безопасности НТЦ ОАО «ММК»*

О.Ю. Шефер

Астапов, Е.Н.

Радиационные методы контроля. Рентгенографический контроль: учеб. пособие / Е.Н. Астапов. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2015. 49 с.

Представлен материал, касающийся метода рентгенографического контроля сварных соединений, который в настоящее время является актуальным направлением радиационного неразрушающего контроля.

Изложены принцип работы импульсных рентгеновских аппаратов, методика подготовки к рентгенографическому контролю, методика выбора параметров проведения контроля, вопросы, связанные с расшифровкой рентгенографических снимков и используемом при этом оборудовании.

Учебное пособие предназначено для обучающихся по направлению «Приборостроение».

УДК 53.08 (075.8)

© Магнитогорский государственный
технический университет
им. Г.И. Носова, 2015

© Астапов Е.Н., 2015

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Общие сведения о рентгенографическом контроле	4
2. Рентгеновские аппараты	9
3. Принадлежности для рентгенографического контроля и требования к ним.....	14
3.1. Проволочные эталоны чувствительности.....	14
3.2. Канавочные эталоны чувствительности	15
3.3. Пластинчатые эталоны чувствительности.....	16
3.4. Рентгенографические пленки. Кассеты для зарядки пленки.	21
3.5. Усиливающие и флюоресцирующие экраны. Защитные экраны.....	23
4. Подготовка к рентгенографическому контролю	25
5. Выбор параметров рентгенографического контроля	29
6. Расшифровка снимков.....	31
7. Условная запись дефектов при расшифровке снимков и документальном оформлении результатов контроля	38
8. Общие сведения о рентгенографическом контроле качества магистральных и промысловых трубопроводов	40
9. Требования безопасности при работе с рентгеновским аппаратом.....	47
Библиографический список.....	49

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О РЕНТГЕНОГРАФИЧЕСКОМ КОНТРОЛЕ

Рентгенографический метод неразрушающего контроля – один из видов радиационного неразрушающего контроля, основанный на регистрации и анализе рентгеновского излучения после взаимодействия с контролируемым объектом.

Стандарт, устанавливающий метод радиографического контроля сварных соединений из металлов и их сплавов, выполненных сваркой с применением рентгеновского излучения и рентгенографической пленки, – ГОСТ 7512-82.

Рентгенографический метод неразрушающего контроля применяется для обнаружения в объектах контроля дефектов нарушений сплошности и однородности материала, внутренней конфигурации и взаимного расположения объектов контроля, недоступных для технического осмотра при их изготовлении, сборке, ремонте и эксплуатации. Оценить величину выпуклости и вогнутости корня шва, недопустимых для внешнего осмотра.

Одним из основных технологических процессов изготовления конструкций и оборудования является сварка. В процессе образования сварного соединения в зоне шва и зоне термического влияния могут возникать дефекты, приводящие к снижению прочности, эксплуатационной надежности, точности линейных размеров, а также ухудшению внешнего вида изделия.

Дефекты сварных соединений (рис. 1) различают по причинам возникновения и месту их расположения. В зависимости от причин возникновения их можно разделить на две группы:

- К первой группе относятся дефекты, связанные с металлургическими и тепловыми явлениями, происходящими в процессе образования, формирования и кристаллизации сварочной ванны и остывания сварного соединения: горячие и холодные трещины в металле шва и околошовной зоне, поры, шлаковые включения, неблагоприятные изменения свойств металла шва и зоны термического влияния.

- Ко второй группе дефектов, которые называют дефектами формирования швов, относят дефекты, происхождение которых связано в основном с нарушением режима сварки, неправильной подготовкой и сборкой элементов конструкции под сварку, неисправностью оборудования, небрежностью и низкой квалификацией сварщика и другими нарушениями технологического процесса. К дефектам этой группы относятся: несоответствие швов расчетным размерам, непровары, подрезы, прожоги, наплывы, незаваренные кратеры и др.

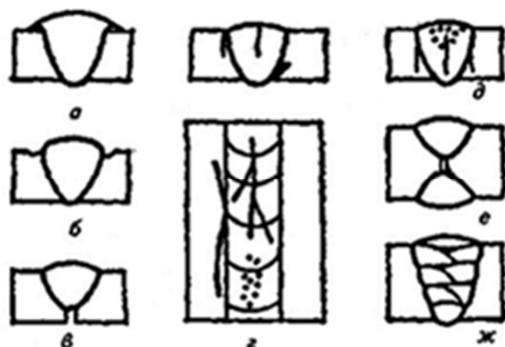


Рис. 1. Виды дефектов в сварных соединениях: а – наплыв; б – подрез; в – непровар; г – наружные трещины и поры; д – внутренние трещины и поры; е – внутренний непровар; ж – шлаковые включения

По месту расположения, дефекты подразделяются на внешние и внутренние:

- К внешним относятся: нарушение установленных размеров и формы шва, непровар, подрез зоны сплавления, поверхностное окисление, прожог, наплыв, поверхностные поры, незаваренные кратеры и трещины на поверхности шва.

- К внутренним дефектам относят: внутренние поры, неметаллические включения, непровар и внутренние трещины.

Нарушение установленных размеров и формы шва выражается в неплотности ширины и высоты шва, в чрезмерном усилении (высошении) шва и резких переходах от основного металла к наплавленному. Эти дефекты при ручной сварке являются результатом низкой квалификации сварщика, плохой подготовки свариваемых кромок, неправильного выбора сварочного тока, низкого качества сборки под сварку. Дефекты формы шва могут быть и следствием колебания напряжения в сети. При автоматической сварке нарушения формы и размеров шва являются следствием неправильной разделки шва или нарушения режима в процессе сварки – скорости сварки, скорости подачи электродной проволоки, сварочного тока.

Непровар (местное несплавление свариваемых кромок основного и наплавленного металла) — следствие низкой квалификации сварщика, некачественной подготовки свариваемых кромок (малый угол скоса, отсутствие зазора, большое притупление), смещения электрода к одной из кромок, быстрого перемещения электрода по шву.

Подрез зоны (узкие углубления в основном металле вдоль края сварного шва) образуется при сварке большим током или удлиненной

дугой, при завышенной мощности горелки, неправильном положении электрода или горелки и присадочного прутка.

Поверхностное окисление — окисление металла шва и прилегающего к нему основного металла. Причины: сильно окисляющая среда, большая длина дуги, чрезмерно большая мощность сварочной горелки или слишком большой сварочный ток, замедленное перемещение электрода или горелки вдоль шва.

Прожог — сквозное отверстие в сварном шве. Основные причины прожога: большой сварочный ток, завышенная мощность сварочной горелки, малая толщина основного металла, малое притупление свариваемых кромок и неравномерный зазор между ними по длине.

Наплывы — результат натекания наплавленного металла на не прогретую поверхность основного металла или ранее выполненного валика без сплавления с ним. Такие дефекты могут быть при низкой квалификации сварщика, недоброкачественных электродах и несоответствии скорости сварки и сварочного тока разделке шва.

Поверхностные и внутренние поры возникают вследствие попадания в металл шва газов (водород, азот, углекислый газ и др.), образовавшихся при сварке. Водород образуется из влаги, масла и компонентов покрытия электродов. Азот в металл шва попадает из атмосферного воздуха при недостаточно качественной защите расплавленного металла шва. Оксид углерода образуется в процессе сварки стали при выгорании углерода, содержащегося в металле. Если свариваемая сталь и электроды имеют повышенное содержание углерода, то при недостатке в сварочной ванне раскислителей и при большой скорости сварки оксид углерода не успевает выделиться и остается в металле шва. Таким образом, пористость является результатом плохой подготовки свариваемых кромок (загрязненность, ржавчина, замасленность), применения электродов с сырым покрытием, влажного флюса, недостатка раскислителей, больших скоростей сварки.

Неметаллические включения образуются при сварке малым сварочным током, при применении недоброкачественных электродов, сварочной проволоки, флюса, загрязненных кромок и плохой очистке шва от шлака при многослойной сварке. При неправильно выбранном режиме сварки шлаки и оксиды не успевают всплыть на поверхность и остаются в металле шва в виде неметаллических включений.

Трещины (наружные и внутренние) являются опасными и недопустимыми дефектами сварных швов. Они образуются вследствие напряжений, возникающих в металле от его неравномерного нагрева, охлаждения и усадки. Высокоуглеродистые и легированные стали после сварки при охлаждении закаляются, в результате чего могут образоваться трещины. Причина возникновения трещин — повышенное содержание в стали вредных примесей (серы и фосфора).

Виды дефектов, выявляемых при контроле объектов, указаны в табл. 1.

Таблица 1

Виды дефектов, выявляемых при рентгенографическом контроле

Объект контроля	Вид дефекта
Слитки и отливки	Трещины, раковины, поры, рыхлоты, металлические и неметаллические включения, неслитины, ликвации
Сварные соединения, выполненные сваркой плавлением	Трещины, непровары, поры, раковины, металлические и неметаллические включения, утяжины, превышения проплава, подрезы, прожоги, смещения кромок
Сварные соединения, выполненные точечной и роликовой сваркой	Трещины, поры, металлические и неметаллические включения, выплески, непровары (непровары определяют по отсутствию темного и светлого колец на изображении сварной точки при резко выраженной неоднородности литой зоны или при применении контрастирующих материалов)
Паяные соединения	Трещины, непропаи, раковины, поры, металлические и неметаллические включения
Клепанные соединения	Трещины в головке заклепки или основном материале, зазоры между телом заклепки и основным материалом, изменение формы тела заклепки
Сборочные единицы и детали, железобетонные изделия и конструкции и т. п.	Трещины, раковины, коррозия, отклонения размеров, зазоры, перекосы, разрушение и отсутствие внутренних элементов изделия, отклонения толщины защитного слоя бетона, размеров и расположения арматуры и т. п.

Чувствительность метода определяется наименьшими размерами выявляемых дефектов: для поверхностных дефектов – шириной раскрытия у выхода на поверхность, протяженностью в глубь металла и по поверхности детали; для глубинных дефектов – размерами дефекта и глубиной залегания. Чувствительность зависит от технических данных аппаратуры, чистоты обработки поверхности контролируемой детали, ее материала, условий контроля и других факторов. При рентгенографическом методе чувствительность определяют по изображению на снимке проволочного, канавочного или пластинчатого эталона. Для рентгенографического метода минимальные размеры обнаруживаемых поверхностных трещин (в оптимальных лабораторных условиях) составляют 0,1–0,3 мм (1,5–3% от толщины детали).

Рентгенографический контроль не выявляет:

- Любые несплошности и включения с размером в направлении просвечивания менее удвоенной чувствительности контроля. И если их изображения на снимках совпадают с изображениями посторонних деталей, острых углов или резких перепадов трещин просвечиваемого металла.

- Непровары и трещины, плоскость раскрытия которых не совпадает с направлением просвечивания и (или) величина раскрытия менее значений, приведенных в табл. 2.

Таблица 2

Величины раскрытия непроваров и трещин

Радиационная толщина по ГОСТ 24034-80, мм	Раскрытие непровара или трещины, мм
До 40	0,1
От 40 до 100	0,2
От 100 до 150	0,3
От 150 до 200	0,4
Свыше 200	0,5

Рентгенографическому контролю подвергают сварные соединения с отношением радиационной толщины наплавленного металла шва к общей радиационной толщине не менее 0,2 мм, имеющие двусторонний доступ, обеспечивающий возможность установки кассеты с рентгенографической пленкой и источника излучения в соответствии с требованиями стандарта.

Радиационной толщиной называют суммарную длину участков оси рабочего пучка направленного первичного ионизирующего излучения в материале контролируемого объекта.

Стандартная технология получения рентгенографического изображения включает в себя наличие источника рентгеновского излучения (рентгеновского аппарата) с одной стороны контролируемого объекта и детектора излучения с другой его стороны. Проникающая способность излучения, зависящая от его энергии (или длины волны), должна быть такова, чтобы достаточное количество рентгеновских квантов дошло до детектора и было им зарегистрировано. В качестве детектора в промышленной рентгенографии практически повсеместно используется рентгенографическая пленка. Рентгенографическая пленка помещается в светонепроницаемую кассету или конверт, которые должны быть прозрачны для рентгеновского излучения. Формирование рентгеновского изображения на пленке подчиняется всем законам геометрической оптики, т.е. происходит полностью аналогично образованию тени в видимом свете. Таким образом, резкость изображения объекта на пленке непосредственно зависит от размера источника излучения и расстояний от него до пленки и от пленки до объекта. Поэтому для получения максимально резкого изображения кассету с пленкой располагают как можно ближе к контролируемому объекту. Контролируемый объект и пленка облучаются или экспонируются в течение определенного времени экспозиции, после чего пленка изымается и подвергается фотообработке. Фотообработка включает в себя этапы проявки, фиксации, промывки и сушки. Обработанная пленка (рентгенограмма) помещается затем на подсвечиваемый экран – так называемый негатоскоп, для просмотра. Различия в интенсивностях рентгеновского пучка, прошедшего сквозь различные участки образца, наблюдаются на рентгенограмме в виде различия степени почернения или, иначе говоря, оптической плотности разных участков пленки.

2. РЕНТГЕНОВСКИЕ АППАРАТЫ

Рентгеновским аппаратом называют совокупность технических средств, предназначенных для получения и использования рентгеновского излучения.

Рентгеновский аппарат состоит из трех основных частей: рентгеновского излучателя, включающего рентгеновскую трубку, являющуюся высоковольтным электровакуумным прибором, заключенную в защитный кожух; рентгеновского питающего устройства, включающего в свой состав высоковольтный генератор и пульт управления; устройства для применения рентгеновского излучения, служащего для приведения в рабочее положение излучателя.

В общем виде рентгеновский аппарат состоит из пульта управления, высоковольтного генератора и рентгеновской трубки в защитном кожухе.

В комплект рентгеновского аппарата входят также соединительные кабели. В пульт управления обычно входят автотрансформатор, регуляторы напряжения и тока, измерительные приборы, сигнальная система, система управления. Высоковольтный генератор состоит из высоковольтного трансформатора, трансформатора накала трубки и выпрямителя.

В промышленности для рентгеновского просвечивания материалов, деталей и изделий используют аппараты с напряжением от 10 до 400 кВ.

По напряжению или энергии излучения рентгеновские аппараты можно условно разделить на следующие группы:

- 1) с максимальным напряжением до 100 кВ – для просвечивания изделий из пластмасс, легких сплавов и стали небольшой толщины (0,1–5 мм);
- 2) с максимальным напряжением 100–400 кВ – для просвечивания изделий из стали и тяжелых сплавов средней толщины (5–130 мм);
- 3) с напряжением 1 и 2 МВ – для изделий из стали и тяжелых сплавов большой толщины (до 200 мм по стали);
- 4) Для получения рентгеновского излучения с энергией от 3 до 10 МэВ и выше применяют индукционные ускорители электронов – бетатроны.

Напряжение на рентгеновской трубке выбирают в зависимости от толщины и плотности просвечиваемого материала (табл. 3) и в соответствии с технической документацией на контроль или приемку сварных соединений.

В настоящее время для рентгенографического контроля используют рентгеновские аппараты следующих видов:

- аппараты-моноблоки, у которых рентгеновская трубка и трансформатор смонтированы в единые блок-трансформаторы, залитые маслом или заполненные газом. К этим аппаратам относят как портативные аппараты для работы в полевых и монтажных условиях, так и стационарные высоковольтные аппараты;

- аппараты кабельного типа, состоящие из самостоятельного генераторного устройства, рентгеновской трубки и пульта управления. Аппараты этого типа выпускают, как правило, передвижными и используют их для работы в цеховых и лабораторных условиях.

Таблица 3

Зависимость напряжения на рентгеновской трубке от толщины и плотности просвечиваемого материала

Толщина просвечиваемого материала, мм							Напряжение на рентгенов- ской трубке, не более кВ,
Сплав на основе				Неметаллический материал со средним атомным номером (плотность, г/см ³)			
				14 (1,4)	6,2 (1,4)	5,5 (0,9)	
железа	титана	алюминия	магния	14 (1,4)	6,2 (1,4)	5,5 (0,9)	
0,02	0,05	0,25	0,75	0,5	5	8	20;
0,3	0,75	3,75	11	8	50	75	40
0,4	1	5	14	10	60	80	50
0,7	2	12	22	20	70	120	60
1,5	5	29	46	—	—	—	80
3	8	45	66	—	—	—	100
6	14	56	92	—	—	—	120
12	29	60	150	—	—	—	150
20	45	97	160	—	—	—	200
23	53	102	166	—	—	—	250
32	70	128	233	—	—	—	300
40	90	180	270	—	—	—	400
130	230	370	560	—	—	—	1000

Импульсные аппараты в связи с их малым весом и габаритами служат в основном для работы при контроле качества сварных соединений магистральных трубопроводов, в условиях стапеля и монтажа.

Типовая схема импульсного рентгеновского аппарата приведена на рис. 2.

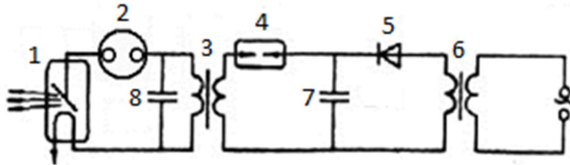


Рис. 2. Типовая схема импульсного рентгеновского аппарата:

- 1 – рентгеновская трубка; 2 – разрядник-обостритель;
3 – импульсный высоковольтный трансформатор; 4 – разрядник-коммутатор;
5 – выпрямитель; 6 – первичный трансформатор; 7, 8 – накопительные емкости

В импульсных рентгеновских установках применяются рентгеновские трубки с холодным катодом, принцип получения импульсного рентгеновского излучения состоит в следующем.

Вспышка рентгеновского излучения образуется в рентгеновской трубке 1 под действием короткого импульса высокого напряжения, формируемого с помощью разрядника-обострителя 2 (конструкция разрядника-обострителя изображена на рис. 3).

Напряжение на трубку прикладывается со вторичной обмотки импульсного пик-трансформатора 3 в момент разрядки накопительной ем-

кости 7 через коммутатор 4 в первичной обмотке, при этом во вторичной его обмотке возникает импульс высокого напряжения длительностью порядка 10–6 с. Этот импульс высокого напряжения заряжает выходную емкость 8 до напряжения 100–200 кВ — в зависимости от пробойного напряжения разрядника-обострителя. Частота всплеск в импульсных рентгеновских аппаратах составляет 5–20 Гц. Ток в импульсе достигает 1000–2000 А и более. Длительность импульса рентгеновского излучения составляет десятки наносекунд.

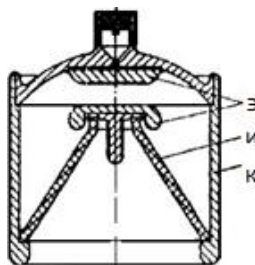


Рис. 3. Конструкция разрядника-обострителя:
к – корпус; и – изолятор; э – электроды

Конструкция импульсного рентгеновского аппарата приведена на рис. 4.

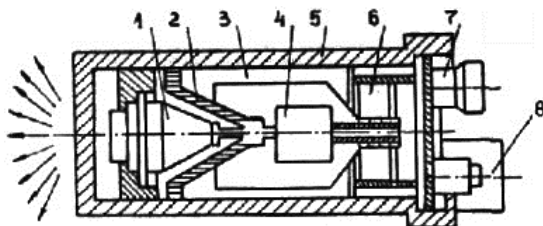


Рис. 4. Конструкция импульсного рентгеновского аппарата:
1 – рентгеновская трубка; 2 – индуктивность; 3 – стакан;
4 – разрядник-обостритель; 5 – корпус; 6 – импульсный трансформатор;
7 – высоковольтный разъем; 8 – маслорасширитель

Напряжение срабатывания разрядника-обострителя является рабочим напряжением рентгеновской трубки. Поэтому для данного конкретного аппарата ускоряющее напряжение всегда одно и то же и не может регулироваться. Разрядник-обостритель состоит из стального цилиндрического корпуса, керамического изолятора в виде усеченного конуса и двух электродов из тугоплавкого металла, один из них припаян к крышке корпуса, другой – к изолятору. Рабочий объем разрядника заполнен техническим водородом или азотом под давлением 30–40 атм. Благодаря столь высокому давлению, при пробое межэлектродного зазора электри-

ческий импульс с выхода импульсного трансформатора сокращается по длительности примерно в 100 раз, обеспечивается плазменный взрыв микроострий катода рентгеновской трубки.

Под действием высокого напряжения в специальной рентгеновской трубке с холодным катодом возникает автоэлектронный ток. В результате этого происходит разогрев и «взрыв» естественных микроострий катода, сопровождающийся образованием облака плазмы, которое движется к аноду трубки с постоянной скоростью. С переднего фронта плазмы отсасывается электронный поток, и, таким образом, все высокое напряжение оказывается приложенным между передним фронтом движущейся плазмы и анодом. В процессе роста анодного тока генерируется рентгеновское излучение. При этом электронным потоком поверхности анода передается мощность, достигающая в импульсе значений порядка 10⁸ и 10¹⁰ Вт. Вследствие этого происходит бурное испарение материала анода, его ионизация и движение анодного факела плазмы заполняет весь межэлектрический промежуток и происходит переход к электрической дуге. Чтобы избежать пробоя рентгеновской трубки, длительность высокого напряжения должна быть менее 1 мкс. Следовательно, трубка должна иметь минимальный межэлектродный зазор, а высоковольтный источник должен обеспечивать крутые фронты импульсов напряжения. Электрическая мощность импульсных рентгеновских установок небольшая и интенсивность рентгеновского излучения в сотни раз меньше, чем у переносных аппаратов.

Рентгеновский аппарат «Арион-300»

Аппарат состоит из четырёх функциональных основных узлов:

1. Высоковольтный блок (ВБ), предназначен для генерации тормозного рентгеновского режима. В корпусе ВБ, наполненном газом под давлением до 2 МПа, размещены: рентгеновская трубка, коаксиальная двойная формирующая линия, разрядный промежуток, высоковольтный резонансный импульсный трансформатор, первичный накопитель и коммутатор.

2. Пульт управления (ПУ), предназначен для зарядки ВБ постоянным напряжением амплитудой 12,5 кВ и обеспечения требуемой экспозиции. ПУ выполнен в виде пластмассового корпуса, внутри которого размещены одноконтурный стабилизированный преобразователь напряжения и устройства управления режимами работы. На передней панели ПУ расположены, тумблер включения питания «ВКЛ», индикатор готовности к работе «ГОТОВ», кнопка запуска излучения «ПУСК», табло цифровой индикации, кнопки задания количества импульсов экспозиции. На задней панели ПУ расположены сетевой разъём «СЕТЬ 220 В», клемма заземления.

3. Высоковольтный соединительный кабель (ВСК), предназначен для подключения ПУ и ВБ.

4. Преобразователь напряжения (ПН), служит для преобразования напряжения 12 В постоянного тока от аккумуляторной батареи в переменное напряжение 220 В питания ПУ.

Параметры рентгеновского аппарата «Арион-300» приведены в табл. 4.

Таблица 4

Параметры рентгеновского аппарата Арион-300

Параметры	Значение
Рабочее напряжение на аноде рентгеновской трубки, кВ, не менее	300
Просвечиваемая толщина стали (фокусное расстояние 500 мм, плёнки РТ-1 + УПВ-2, плотность 2,0), мм: – рекомендованный режим 1500 импульсов – максимальный режим 5000 импульсов	35 60
Длительность рентгеновского импульса на полувысоте амплитуды, нс	2
Экспозиционная доза рентгеновского излучения на расстоянии 0,5 м от торца аппарата за 100 импульсов, мР, не менее	120
Диаметр фокусного пятна, мм	2,3
Ресурс аппарата, импульсов, не менее	$5 \cdot 10^7$
Частота следования импульсов, Гц, при питании от сети переменного тока 220 В	8
Напряжение питания от однофазной сети переменного тока частотой 50 ± 1 Гц, В	220 ± 22
Потребляемая мощность, Вт, не менее	100
Габаритные размеры высоковольтного блока, мм	485×85×115
Габаритные размеры пульта управления, мм	150×255×95
Масса высоковольтного блока, кг	3,9
Масса пульта управления, кг	1,2

Разъёмы ВСК присоединяются к высоковольтному разъёму ВБ и высоковольтному разъёму зарядного напряжения «ВЫСОКОЕ НАПРЯЖЕНИЕ» ПУ до упора и фиксируются накидными гайками, обеспечивая надёжное электрическое соединение составных частей.

В зависимости от условий эксплуатации аппарат ПУ подключается с помощью сетевого шнура к сети переменного тока напряжением 220 В или с помощью ПН к аккумуляторной батарее или другому источнику постоянного тока напряжением 12 В.

Если выключение произведено до окончания режима блокировки, при последующем включении ПУ сразу переводится в режим индикации «ПАУЗА», по окончании которого загорается индикатор «ГОТОВ» зелёного цвета. Рентгеновский аппарат может продолжить работу.

Постоянное зарядное напряжение подаётся на ПУ через ВСК на накопительный конденсатор ВБ. При срабатывании первичного коммутатора накопительный конденсатор разряжается на первичную обмотку высоковольтного резонансного импульсного трансформатора. В результате колебательных процессов на вторичной обмотке трансформатора возникает импульс высокого напряжения, заряжающий двойную формирующую линию до напряжения пробоя разрядного промежутка. На аноде рентгеновской трубки возникает импульс высокого напряжения наносекундной длительности и происходит генерация тормозного рентгеновского излучения. В рентгеновском аппарате используется трубка с холодным катодом, не требующая подогрева при подготовке к работе. Ток трубки не регулируется.

Рентгеновские аппараты отечественного и импортного производства проходят проверку один раз в два года в составе рентгеновского дефектоскопа на определение чувствительности по методике, согласованной в установленном порядке.

3. ПРИНАДЛЕЖНОСТИ ДЛЯ РЕНТГЕНОГРАФИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ И ТРЕБОВАНИЯ К НИМ

К принадлежностям рентгенографического контроля относятся: эталоны чувствительности, маркировочные знаки, рентгенографические пленки, источники излучения, усиливающие и флуоресцирующие экраны, защитные экраны, кассеты для зарядки пленки. Принадлежности для рентгенографического контроля должны соответствовать требованиям, установленным технической документацией на контроль и государственными стандартами.

Используемые при контроле канавочные и пластинчатые эталоны чувствительности должны подвергаться метрологической поверке при их выпуске и последующим поверкам не реже одного раза в 5 лет. При выпуске этих эталонов на обратную сторону каждого эталона должен наноситься электрохимическим способом товарный знак предприятия, изготовившего эталон, и год выпуска; при очередной поверке – товарный или условный знак предприятия, производившего поверку, и год поверки.

Проволочные эталоны чувствительности поверке не подлежат, однако они должны изыматься из обращения при любом повреждении пластикового чехла или обнаружения при визуальном осмотре следов коррозии проволок эталона.

Для определения чувствительности контроля следует применять проволочные, канавочные или пластинчатые эталоны чувствительности. Эталоны чувствительности следует изготавливать из металла или сплава, основа которого по химическому составу аналогична основе контролируемого сварного соединения.

3.1. Проволочные эталоны чувствительности

Форма и размеры проволочных эталонов чувствительности приведены на рис. 5. и в табл. 5.

Длина проволок в эталонах $(20 \pm 0,5)$ мм. Предельные отклонения для диаметров проволок:

- до 0,2 мм ... + 0,01 мм;
- св. 0,2 до 1,6 мм ... $\pm 0,03$ мм;
- св. 1,6 до 4,0 мм ... $\pm 0,04$ мм.

Предельные отклонения других размеров $\pm 0,5$ мм. Вкладыш и чехол для проволочных эталонов следует изготавливать из гибкого прозрачного пластика.

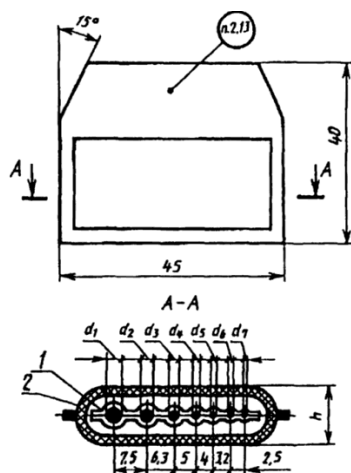


Рис. 5. Проволочный эталон чувствительности: 1 – вкладыш; 2 – чехол

Таблица 5

Значения диаметров проволок для проволочных эталонов

Номер эталона	d_1	d_2	d_3	d_4	d_5	d_6	d_7	h
1	0,2	0,16	0,125	0,10	0,08	0,063	0,05	1,2
2	0,4	0,32	0,25	0,20	0,16	0,125	0,10	1,4
3	1,25	1,00	0,80	0,63	0,50	0,40	0,32	2,2
4	4,0	3,20	2,50	2,00	1,60	1,25	1,00	5,0

3.2. Канавочные эталоны чувствительности

Форма и размеры канавочных эталонов чувствительности приведены на рис. 6 и в табл. 6.

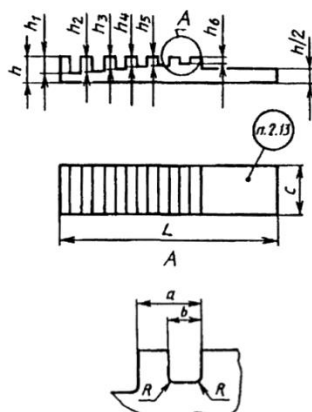


Рис. 6. Канавочный эталон чувствительности

3.3. Пластиначные эталоны чувствительности

Форма и размеры пластиначных эталонов чувствительности приведены на рис. 7 и в табл. 7.

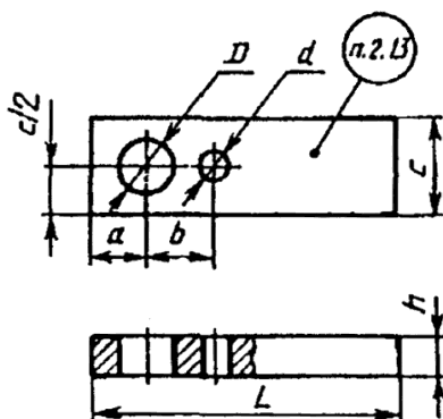


Рис. 7. Пластиначный эталон чувствительности

Условные обозначения материала эталона чувствительности: для сплавов на основе железа – 1, алюминия и магния – 2, титана – 3, меди – 4, никеля – 5.

Для маркировки канавочных эталонов допускается применять вырезы и отверстия или только отверстия. В этом случае толщина эталона в месте маркировки должна быть равна h .

При маркировке эталонов отверстиями длина эталона № 1 составляет $27_{-0,52}$ мм, № 2 – $38,5_{-0,62}$ мм, № 3 – $53_{-0,74}$ мм.

Для сварных изделий, предназначенных для экспорта, допускается использование других типов эталонов чувствительности, если это предусмотрено условиями экспорта.

Маркировку эталонов чувствительности следует проводить свинцовыми цифрами по ГОСТ 15843-79 (табл. 8–10). Первая цифра маркировки должна обозначать материал эталона, следующие (одна или две цифры) – номер эталона.

Таблица 6

Размеры канавочных эталонов чувствительности

Но- мер эта- лона	Глубина канавок						Предель- ное от- клонение глубины канавок	R , не более	A		b		C		h		L	
	h_1	h_2	h_3	h_4	h_5	h_6			Номи- нальное откло- нение	Пре- дель- ное откло- нение	Номи- нальное	Пре- дель- ное откло- нение	Номи- нальное	Пре- дель- ное откло- нение	Номи- нальное	Пре- дель- ное откло- нение	Номи- нальное	Пре- дель- ное откло- нение
1	0,60	0,5	0,40	0,3	0,20	0,10	−0,05	0,1	2,5	$\pm 0,30$; $\pm 0,150$	0,5	$+0,2$; $+0,1$	10	−0,360	2	−0,100	30	−0,52
2	1,75	1,5	1,25	1,0	0,75	0,50	−0,10	0,2	4,0	$\pm 0,40$	1,5	$+0,3$	12	−0,430	4	−0,120	45	−0,62
3	—	—	3,00	2,5	2,00	1,50	−0,25	0,3	6,0	$\pm 0,40$	3,0	$+0,3$	14	−0,430	6	−0,120	60	−0,74
	4,00	3,5	—	—	—	—	−0,30											

Таблица 7

Размеры пластинчатых эталонов чувствительности

Номер эталона	<i>h</i>		<i>D</i>		<i>D</i>		<i>a</i>		<i>b</i>		<i>c</i>		<i>L</i>	
	Номинальное	Предельное отклонение	Номинальное	Предельное отклонение	Номинальное	Предельное отклонение	Номинальное	Предельное отклонение	Номинальное	Предельное отклонение	Номинальное	Предельное отклонение	Номинальное	Предельное отклонение
1	0,1	−0,01	0,2	+ 0,01	0,1	+ 0,01	5	± 0,15	5	± 0,15	10	− 0,36	25	− 0,52
2	0,2	− 0,025	0,4	+ 0,025	0,2	+ 0,025								
3	0,3		0,6		0,3									
4	0,4		0,8		0,4									
5	0,5		1,0		0,5									
6	0,60	− 0,06	1,2	+ 0,06	0,60	± 0,06	6	± 0,15	7	± 0,18	12	− 0,43	35	− 0,62
7	0,75		1,5		0,75									
8	1,00		2,0		1,00									
9	1,25		2,5		1,25									
10	1,5	− 0,1	3,0	+ 0,10	1,5	+ 0,1	7	± 0,18	9	± 0,18	14	− 0,43	45	− 0,62
11	2,0		4,0	+ 0,12	2,0									
12	2,5		5,0	+ 0,12	2,5									

Маркировочные знаки для эталонов чувствительности

Тип эталона	Номер эталона	Номер набора цифр по ГОСТ 15843-79
Проволочный	1, 2	5
	3, 4	6
Канавочный	1	5
	2	6
	3	7
Пластинчатый	1 – 5	5
	6 – 9	6
	10 – 12	7

Для сварных изделий, предназначенных для экспорта, допускается использование других типов эталонов чувствительности, если это предусмотрено условиями экспорта.

При рентгенографическом контроле следует использовать маркировочные знаки, изготовленные из материала, обеспечивающего получение их четких изображений на рентгенографических снимках. Следует использовать маркировочные знаки размеров, установленных ГОСТ 15843-79.

Размеры маркировочных знаков буквенных (А, Б, В, Г, Д, Е, Ж, И, К, Л, М, Н, П, Р, С, Т, У, Ф, Х, Ц, Ч, Ш, Щ, Э, Ю, Я, Ъ, Ь), цифровых (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9), тире и стрелок должны соответствовать указанным в табл. 11.

Маркировочные знаки: тире и стрелка относятся к набору цифр.

Шрифтовая линия, образующая знак, должна составлять от 0,6 до 0,8 его толщины.

Для букв Д, Ж, М, Ф, Ш, Щ, Ю набора №1 допускается предельное отклонение по высоте от $-0,3$ до $+0,7$ мм, по ширине от $-0,4$ до $+0,8$ мм.

Таблица 9

Маркировка канавочных эталонов

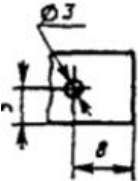
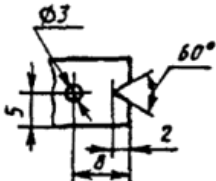
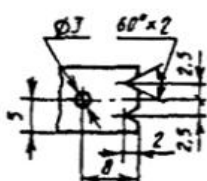
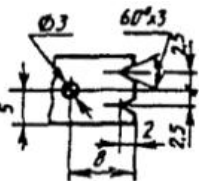
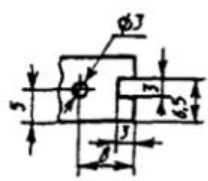
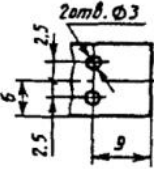
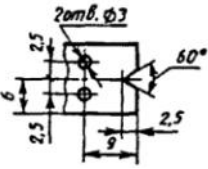
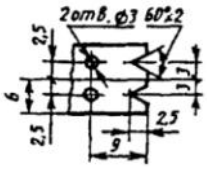
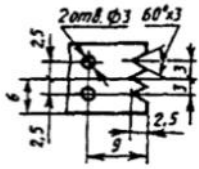
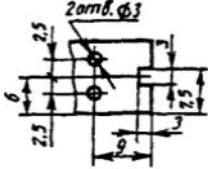
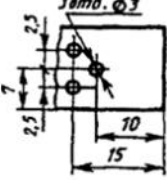
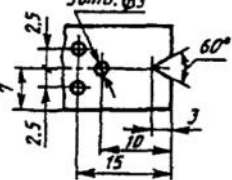
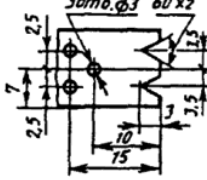
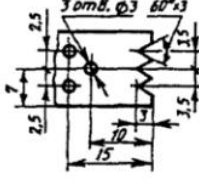
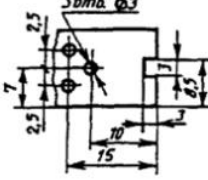
Номер эталона	Сплавы на основе				
	железа	алюминия и магния	титана	меди	никеля
1					
2					
3					

Таблица 10

Маркировка канавочных эталонов отверстиями

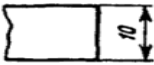
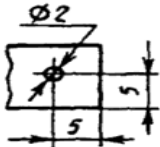
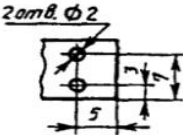
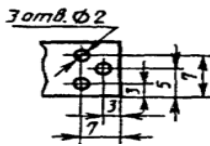
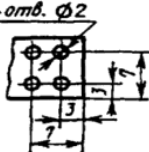
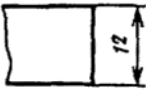
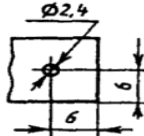
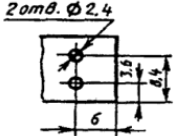
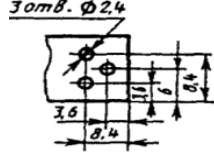
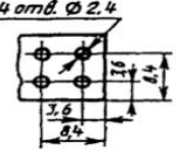
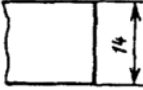
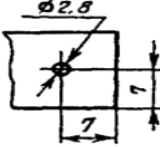
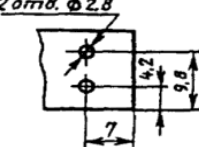
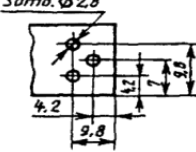
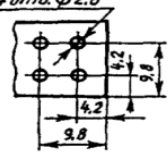
Номер эталона	Сплавы на основе				
	алюминия и магния	титана	железа	никеля	меди
1					
2					
3					

Таблица 11

Размеры буквенных маркировочных знаков, тире и стрелок

Номер набора букв	Номер набора цифр	Высота, мм		Ширина, мм		Толщина, мм	
		Номинальное отклонение	Предельное отклонение	Номинальное отклонение	Предельное отклонение	Номинальное отклонение	Предельное отклонение
1	5	5	±0,3	3,2	±0,4	1,0	±0,2
2	6	8	±0,5	5,0	±0,5	1,5	±0,3
3	7	12		7,7	±0,8	2,5	
4	8	18		11,5	±1,3	5,0	

3.4. Рентгенографические пленки. Кассеты для зарядки пленки.

При рентгенографическом контроле следует использовать рентгенографические пленки, соответствующие требованиям технических условий на них.

Тип рентгенографической пленки должен устанавливаться технической документацией на контроль или приемку сварных соединений.

Классы отечественных рентгеновских пленок приведены в табл. 12.

Таблица 12

Классы отечественных рентгеновских пленок

Классы пленок	Показатели пленок		
	Чувствительность к излучению	Контрастность	Зернистость
1	Низкая	Очень высокая	Очень малая
2	Средняя	Высокая	Малая
3	Высокая	Средняя	Средняя
4	Очень высокая	Низкая	Высокая

Типы и характеристики отечественных рентгеновских пленок приведены в табл. 13.

Таблица 13

Типы и характеристики отечественных рентгеновских пленок

Класс пленки	Тип пленки	Сенситометрические характеристики			
		Чувствительность VP	Контрастность	Средний размер зерна, 10 м	Оптическая плотность вуали
1	РТ-К	3	4,8	0,25	0,10
2	РТ-4М	5	3,5	0,25	0,10
	РТ-СШ	10	3,0	0,55	0,15
3	РТ-1	25	3,2	0,77	0,20
4	РМ-1	400	2,8	1,16	0,20
	РТ-2	50	3,0	1,38	0,20
Определяется при напряжении на рентгеновской трубке 80 кВ. Чувствительность $S_{0,85}$ – величина, обратная экспозиционной дозе в Р, необходимой для получения оптической плотности, на 0,85 превышающую оптическую плотность вуали. Контрастность пленки: коэффициент контрастности для экранных пленок; средний градиент для безэкранных пленок.					

Размеры рентгенографической форматной пленки должны соответствовать указанным в табл. 14.

Размеры рентгенографической рулонной пленки должны соответствовать указанным в табл. 15.

Допускается выпуск рентгенографической рулонной пленки в виде отрезков длиной не менее 30 м при общей длине рулона 150 м.

Размеры рентгенографической форматной и рулонной пленки приведены в табл. 14, 15.

Таблица 14

Размеры рентгенографической форматной пленки

Формат, см	Ширина, мм		Длина, мм		
	Номинальное отклонение	Предельное отклонение	Номинальное отклонение	Предельное отклонение	
6×24	58,5	±0,5	238	+1 –2	
6×36			358	+1 –3	
6×48			478	+1 –3	
6×72			716	+1 –4	
10×12	98,5	±1	118	±1	
10×15			148	±1	
10×24			238	+1 –2	
10×36			358	+1 –3	
10×40			398	+1 –3	
10×48			478	+1 –3	
10×72			716	+1 –4	
13×18	128	±1	178	+1 –2	
18×24			238	+1 –3	
24×30			298	+1 –3	
7,5×40			398	±1	
15×40			398	+1 –3	
20×40			398	+1 –3	
30×40			398	+1 –3	

Таблица 15

Размеры рентгенографической рулонной пленки

Формат, см	Ширина, мм		Длина, мм	
	Номинальное отклонение	Предельное отклонение	Номинальное отклонение	Предельное отклонение
7×15000	70	–2	150000	–10000

После экспонирования пленки обрабатывают химическими растворами. Химическая обработка включает:

- проявление (преобразование скрытого фотоизображения в видимое);
- промежуточную промывку водой от проявителя;
- фиксирование изображения (удаление из раствора остатков не

- восстановленного химического вещества для получения светлого и прозрачного изображения);
- окончательную промывку водой и сушку. Обычно время фотобработки составляет 0,5–1 ч при ручной обработке и около 15 мин в проявочном автомате.

Работа с фотопленками в промышленной рентгенографии должна проводиться в фотолаборатории при правильно выбранном освещении. Необходимо обратить внимание на светонепроницаемость помещения, особенно при устройстве передвижных фотолабораторий на месте проведения работ. Фотолаборатория должна регулярно проверяться на наличие просачивающегося света.

Для обеспечения удобной работы необходимо правильно выбрать источник освещения, не активирующего фоточувствительные компоненты пленки (красный свет). Яркость освещения и направление излучения должны быть выбраны таким образом, чтобы обеспечить удобство работы и исключить возможность засветить фоточувствительные материалы. Составы проявителей и фиксажей рентгенографических пленок рекомендуются заводом-изготовителем.

3.5. Усиливающие и флуоресцирующие экраны. Защитные экраны

При рентгенографическом методе неразрушающего контроля в зависимости от энергии излучения, требуемой чувствительности и производительности контроля должны быть использованы следующие преобразователи излучения:

- рентгенографическая пленка без усиливающих экранов;
- рентгенографическая пленка в различных комбинациях с усиливающими металлическими и флуоресцирующими экранами.

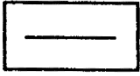
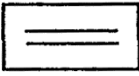
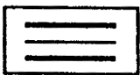
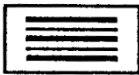
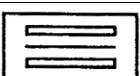
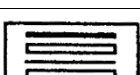
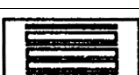
Кассеты для зарядки пленки должны быть светонепроницаемыми и обеспечивать плотный прижим усиливающих экранов к пленке.

Для защиты пленки от рассеянного излучения рекомендуется экранировать кассету с пленкой со стороны, противоположной источнику излучения, свинцовыми экранами (табл. 16, 17).

Таблица 16
Толщина защитных свинцовых экранов

Источник излучения	Толщина экрана, мм
Рентгеновский аппарат с напряжением на рентгеновской трубке до 200 кВ	До 0,1
^{170}Tm ; ^{75}Se	До 0,1
Рентгеновский аппарат с напряжением на рентгеновской трубке свыше 200 кВ	От 1,0 до 2,0

Способы зарядки кассет

Способ зарядки	Наличие пленок в кассете	
	одна	две
Без экранов		
С усиливающими металлическими экранами		
С усиливающими флуоресцирующими экранами		
С усиливающими металлическими и флуоресцирующими экранами		
 – рентгенографическая пленка;  – усиливающий металлический экран;  – усиливающий флуоресцирующий экран.		

В качестве усиливающих экранов при рентгенографическом контроле должны использоваться металлические и флуоресцирующие экраны. Экраны должны иметь чистую гладкую поверхность. Наличие на экранах складок, царапин, трещин, надрывов и прочих дефектов не допускается.

Тип усиливающего экрана должен устанавливаться технической документацией на контроль или приемку сварных соединений, толщина металлических экранов приведена в табл. 18.

Таблица 18

Толщина металлических усиливающих экранов

Источник излучения	Толщина экрана, мм
Рентгеновский аппарат с напряжением на рентгеновской трубке до 100 кВ	До 0,02
Рентгеновский аппарат с напряжением на рентгеновской трубке свыше 100 до 300 кВ	0,05 – 0,09
Рентгеновский аппарат с напряжением на рентгеновской трубке свыше 300 кВ	0,09

4. ПОДГОТОВКА К РЕНТГЕНОГРАФИЧЕСКОМУ КОНТРОЛЮ

1. Рентгенографический контроль следует проводить после устранения обнаруженных при внешнем осмотре сварного соединения наружных дефектов и зачистки его от неровностей, шлака, брызг металла, окалины и других загрязнений, изображения которых на снимке могут помешать расшифровке снимка.

2. После зачистки сварного соединения и устранения наружных дефектов должна быть произведена разметка сварного соединения на участки и маркировка (нумерация) участков.

3. Систему разметки и маркировки участков устанавливают технической документацией на контроль или приемку сварных соединений.

4. При контроле на каждом участке должны быть установлены эталоны чувствительности и маркировочные знаки.

5. Эталоны чувствительности следует устанавливать на контролируемом участке со стороны, обращенной к источнику излучения.

6. Проволочные эталоны следует устанавливать непосредственно на шов с направлением проволок поперек шва.

7. Канавочные эталоны следует устанавливать на расстоянии не менее 5 мм от шва с направлением канавок поперек шва.

8. Пластинчатые эталоны следует устанавливать вдоль шва на расстоянии не менее 5 мм от него или непосредственно на шов с направлением эталона поперек шва так, чтобы изображения маркировочных знаков эталона не накладывались на изображение шва на снимке.

9. При контроле кольцевых швов трубопроводов с диаметром менее 100 мм допускается устанавливать канавочные эталоны на расстоянии не менее 5 мм от шва с направлением канавок вдоль шва.

10. При невозможности установки эталонов со стороны источника излучения при контроле сварных соединений цилиндрических, сферических и других пустотелых изделий через две стенки с расшифровкой только прилегающего к пленке участка сварного соединения, а также при панорамном просвечивании допускается устанавливать эталоны чувствительности со стороны кассеты с пленкой.

11. Маркировочные знаки, используемые для ограничения длины контролируемых за одну экспозицию участков сварных соединений, следует устанавливать на границах размеченных участков, а также на границах наплавленного и основного металла при контроле сварных соединений без усиления или со снятым усилением шва.

12. Маркировочные знаки, используемые для нумерации контролируемых участков, следует устанавливать на контролируемом участке или непосредственно на кассете с пленкой так, чтобы изображения маркировочных знаков на снимках не накладывались на изображение шва и околошовной зоны.

13. При невозможности установки эталонов чувствительности и (или) маркировочных знаков на контролируемом участке сварного соединения в соответствии с требованиями настоящего стандарта порядок проведения контроля без установки эталонов чувствительности и (или) маркировочных знаков должен быть предусмотрен в технической документации на контроль или приемку сварных соединений.

Схемы контроля

Сварные соединения следует контролировать по рис. 8 и 9.

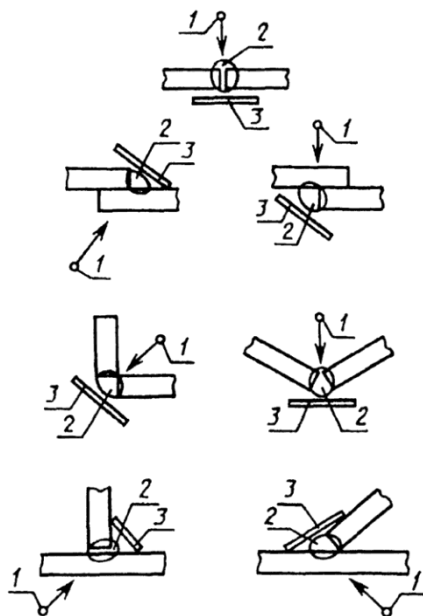


Рис. 8. Схемы контроля стыковых, нахлесточных, угловых и тавровых соединений: 1 – источник излучения; 2 – контролируемый участок; 3 – кассета с пленкой

При контроле кольцевых сварных соединений цилиндрических и сферических пустотелых изделий следует, как правило, использовать схемы просвечивания через одну стенку изделия (схемы рис. 9, а, б, е, ж, з). При этом рекомендуется использовать схемы просвечивания с расположением источника излучения внутри контролируемого изделия:

- схему рис. 9, е (панорамное просвечивание) – для контроля изделий диаметром до 2 м независимо от объема контроля и диаметром 2 м и более при 100%-м контроле;

- схему рис. 9, *ж* – при 100%-м и выборочном контроле, если использование схемы рис. 9, *е* невозможно;
- схему рис. 9, *з* – при выборочном контроле изделий диаметром 2 м и более;
- схемы рис. 9, *а*, *б* – для изделий с внутренним диаметром 10 м и более, если использование схемы рис. 9, *е* невозможно.

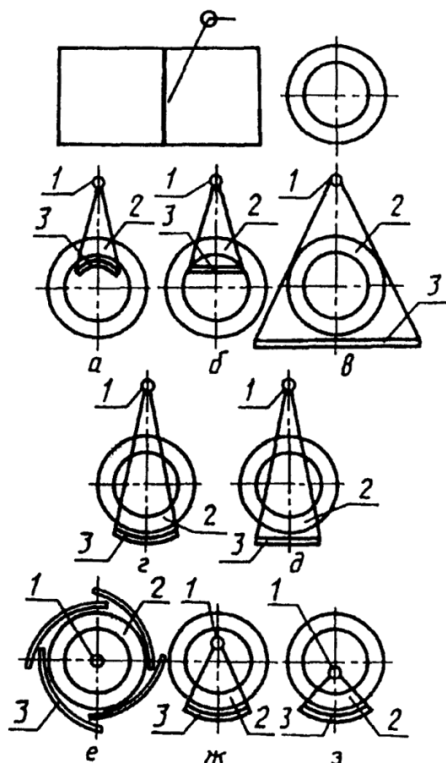


Рис. 9. Схемы контроля сварных соединений кольцевых, цилиндрических и сферических пустотелых изделий: 1 – источник излучения; 2 – контролируемый участок; 3 – кассета с пленкой

При контроле через две стенки схема рис. 9, *в* рекомендуется для просвечивания изделий диаметром до 100 мм; схемы рис. 9, *г*, *д* – для просвечивания изделий диаметром более 50 мм.

При контроле стыковых сварных соединений по схемам рис. 9, *а*, *б*, *е*, *ж*, *з* направление излучения должно совпадать с плоскостью контролируемого сварного соединения. При контроле по этим схемам угловых

сварных швов варки труб, штуцеров и т. п. угол между направлением излучения и плоскостью сварного соединения не должен превышать 45° .

При контроле сварных соединений по схемам рис. 9, в, г, д направление излучения следует выбирать таким, чтобы изображения противоположных участков сварного шва на снимке не накладывались друг на друга. При этом угол между направлением излучения и плоскостью сварного шва должен быть минимальным и в любом случае не превышать 45° .

Кроме контроля по схемам, приведенным на рис. 8–10, в зависимости от конструктивных особенностей сварных соединений и предъявляемых к ним требований могут использоваться другие схемы и направления излучения.

Эти схемы и направления излучения должны быть предусмотрены технической документацией на контроль и приемку сварных соединений.

Для уменьшения разности оптических плотностей различных участков снимка при контроле сварных соединений с большим перепадом толщин, а также в случае, когда контролируемое сварное соединение не обеспечивает защиту рентгенографической пленки от воздействия прямого излучения (например, при контроле торцевых швов варки труб в трубные решетки, при контроле наплавки кромок под сварку и т. п.), контроль следует проводить с использованием приставок-компенсаторов.

Допускается использовать компенсаторы из любого материала, обеспечивающего требуемое ослабление излучения.

При выборе схемы и направления излучения следует учитывать следующее:

- расстояние от контролируемого сварного соединения до рентгенографической пленки должно быть минимальным и в любом случае не превышать 150 мм;

- угол между направлением излучения и нормалью к рентгенографической пленке в пределах контролируемого за одну экспозицию участка сварного соединения должен быть минимальным и в любом случае не превышать 45° .

При ограниченной ширине привариваемого элемента допускается проводить контроль тавровых сварных соединений с направлением излучения по образующей этого элемента в соответствии с рис. 10.

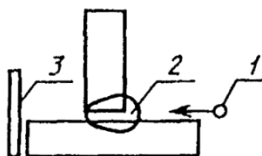


Рис. 10. Схема контроля тавровых соединений:

1 – источник излучения; 2 – контролируемый участок; 3 – кассета с пленкой

5. ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ РЕНТГЕНОГРАФИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

Основными параметрами, выбираемыми при рентгенографическом контроле, являются: напряжение на рентгеновской трубке U (для рентгеновских трубок с регулируемым напряжением), тип рентгеновской пленки и тип усиливающего экрана, фокусное расстояние F и экспозиция.

Напряжение на рентгеновской трубке влияет на энергетический спектр и интенсивность излучения. Энергетический спектр, в свою очередь, определяет проникающую способность излучения и чувствительность контроля.

Выбор рентгенографической пленки определяется необходимостью получения рентгеновского снимка с определенной контрастностью и четкостью изображения. Контрастность пленки, ее чувствительность и зернистость взаимосвязаны между собой, высокочувствительные пленки имеют крупные зерна и низкий предел разрешения, а низкочувствительные – мелкие зерна и высокий предел разрешения. Поэтому с экономической точки зрения желательно, чтобы время экспонирования пленки было как можно короче, использование высокочувствительной пленки ограничивается ее зернистостью, которая в значительной мере определяет качество изображения мелких дефектов.

Усиливающие металлические и флуоресцентные экраны применяются для сокращения времени просвечивания. Усиливающее действие экранов характеризуется коэффициентом усиления, определяемым отношением времен просвечивания без экрана и с экраном. Усиливающее действие металлических экранов, используемых при контроле методом прямой экспозиции, определяется вторичными электронами, образующимися в экране при прохождении через него ионизирующего излучения. Экраны изготавливают из фольги тяжелых металлов (Pb, W, Sn и др.). Для каждого источника ионизирующего излучения материал экрана следует выбирать в зависимости от его энергии, в частности, для рентгеновского излучения целесообразно использовать олово, вольфрам, свинец, для гамма-излучения — вольфрам, свинец. Толщина экрана должна соответствовать максимальной длине пробега вторичных электронов в экране. При изменении толщины фольги либо уменьшается коэффициент преобразования энергии излучения в кинетическую энергию вторичных электронов, либо ослабляется интенсивность ионизирующего излучения, и вследствие этого уменьшается усиливающее действие экрана. При применении металлических экранов практически не ухудшается разрешающая способность. Усиливающее действие флуоресцентных экранов возникает благодаря фотонам видимой и ультрафиолетовой областей

спектра, высвечиваемых из люминофоров при прохождении через них ионизирующего излучения. В качестве люминофоров используют ZnS , CdS , BaSO_4 , PbSO_4 , CaWO_4 и др. Флуоресцентные экраны изготавливают в виде пластмассовых или картонных подложек, на которые наносят слой люминофора. Эти экраны рекомендуется использовать со специально приспособленными рентгеновскими пленками, поскольку спектральная чувствительность эмульсии таких пленок и спектр свечения экранов хорошо согласуются. При использовании флуоресцентных экранов разрешающая способность изображения на пленках существенно ухудшается из-за крупнозернистости экранов. С помощью флуоресцентных экранов получают меньшие экспозиции, а при использовании металлических экранов – лучшую чувствительность.

Расстояние от источника излучения до ближайшей к источнику поверхности контролируемого участка сварного соединения (при просвечивании сварных соединений цилиндрических и сферических пустотелых изделий через две стенки – до близлежащей к источнику поверхности контролируемого сварного соединения) и размеры или количество контролируемых за одну экспозицию участков для всех схем просвечивания (за исключением схемы рис. 9, е) следует выбирать такими, чтобы при просвечивании выполнялись следующие требования:

- геометрическая нерезкость изображений дефектов на снимках при расположении пленки вплотную к контролируемому сварному соединению не должна превышать половины требуемой чувствительности контроля при чувствительности до 2 мм и 1 мм – при чувствительности более 2 мм;
- относительное увеличение размеров изображений дефектов, расположенных со стороны источника излучения (по отношению к дефектам, расположенным со стороны пленки), не должно превышать 1,25;
- угол между направлением излучения и нормалью к пленке в пределах контролируемого за одну экспозицию участка сварного соединения не должен превышать 45° ;
- уменьшение оптической плотности изображения сварного соединения на любом участке этого изображения по отношению к оптической плотности в месте установки проволоочного эталона чувствительности или по отношению к оптической плотности изображения канавочного или пластинчатого эталона чувствительности не должно превышать 1,0.

6. РАСШИФРОВКА СНИМКОВ

Расшифровку снимков выполняют в проходящем свете на негатоскопе, при этом помещение для расшифровки затемняют, чтобы поверхность пленки не отражала падающий на нее свет. Негатоскопы обеспечивают регулирование яркости освещенного поля и его размеров. При расшифровке снимков для определения оптической плотности пленок используют денсисометры.

Ламповый негатоскоп X-LUM (табл. 19)

Негатоскоп – прибор для просмотра и расшифровки рентгенографических снимков сварных швов трубопроводов, деталей и других изделий промышленного назначения.

Назначение и область применения:

1. Негатоскоп предназначен для просмотра и расшифровки рентгеновских снимков промышленного назначения.

2. Эксплуатация прибора разрешается только в закрытых, хорошо проветриваемых помещениях, цехах.

Таблица 19

Технические характеристики лампового негатоскопа X-LUM

Наименование характеристики	Значение
Размеры просмотрового экрана, мм	400×100
Максимальная плотность потемнения просматриваемого снимка, Б	3,5
Источник света: лампа люминесцентная, шт.×W	2×55
Условия эксплуатации (УХЛ 1.1 ГОСТ 15150-69): – диапазон рабочих температур, °С – относительная влажность, % при 25°С – атмосферное давление, кПа	10–35 не более 80 84–106
Источник питания: сеть переменного напряжения	220В/50 Гц
Потребляемая мощность, Вт	Не более 100

Негатоскоп состоит из корпуса и передней панели. Передняя панель со смотровым экраном крепится на корпус нижними, боковыми и задними винтами. Источником света в осветителе являются две люминесцентные лампы мощностью 55 Вт, расположенные в отражателе параллельно просмотровому экрану. Пускорегулирующий электронный балласт обеспечивает зажигание ламп и регулировку их яркости.

Переключатель сетевого напряжения и ручка регулировки яркости ламп расположены на правой боковой панели корпуса негатоскопа. На задней панели корпуса находится вентилятор, разъёмы для подключения сетевого кабеля и педаль переключателя, а также предохранитель.

Денситометр ДНС-2 (табл. 20)

Денситометр предназначен для измерения визуальной диффузной оптической плотности черно-белых фотоматериалов на прозрачной подложке и рентгенографических снимков. Измерение оптической плотности материалов на денситометре проводится с использованием негатоскопа с регулируемой яркостью. Денситометр и негатоскоп входят в состав основного оборудования для промышленной рентгенографии на этапе расшифровки рентгенографических снимков.

Основная область применения – анализ оптической плотности светофильтров, прозрачных плёнок. Применим для контроля по рентгенографическим снимкам сварных соединений из металлов и их сплавов, выполненных сваркой плавлением.

Таблица 20
Технические характеристики денситометра ДНС-2

Наименование характеристики	Значение
Диапазон измерений диффузной оптической плотности, Б, при яркости экрана источника света (негатоскопа) 80000 ± 20000 кд/м ²	От 0,00 до 4,00
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерения диффузной оптической плотности, Б ($\pm$ % от $D_i \pm$ ед. мл. р. (единица младшего разряда))	$\pm 2 \pm 2$ в диапазоне 0,00 $\pm$ 2,00 Б $\pm 3 \pm 2$ в диапазоне 2,00 $\pm$ 4,00 Б
Освещённость рабочего места в помещениях лабораторного типа, лк, не более	100
Время выхода на рабочий режим, мин, не более	3
Степень защиты, обеспечиваемая оболочкой, от доступа к опасным частям, попадания внешних твёрдых предметов	IP3X по ГОСТ 14254
Класс оборудования по способу защиты от поражения электрическим током по ГОСТ 12.2.007.0	II
Климатическое исполнение	группа В1, ГОСТ 12997
Устойчивость к вибрации	группа L1, ГОСТ 12997
Потребляемая мощность, Вт, не более	6
Рабочая температура, °С	От + 10 до + 35

Рентгеновская пленка является детектором с высоким уровнем собственных шумов, вызванных неравномерностью полива эмульсии, некачественным проявлением и т.д., нужно уметь отличать дефекты пленки от дефектов изделия. В сомнительных случаях проводят повторное просвечивание или применяют зарядку кассет двумя пленками.

Просмотр и расшифровку снимков следует производить после их полного высыхания.

Следует использовать негатоскопы с регулируемой яркостью и размерами освещенного поля. Максимальная яркость освещенного поля должна составлять не менее 10^{D+2} кд/м², где D – оптическая плотность

снимка. Размеры освещенного поля должны регулироваться при помощи подвижных шторок или экранов-масок в таких пределах, чтобы освещенное поле полностью перекрывалось снимком.

Снимки, допущенные к расшифровке, должны удовлетворять требованиям:

- на снимках не должно быть пятен, полос, загрязнений и повреждений эмульсионного слоя, затрудняющих их расшифровку;
- на снимках должны быть видны изображения ограничительных меток, маркировочных знаков и эталонов чувствительности;
- оптическая плотность изображений контролируемого участка шва, околошовной зоны и эталона чувствительности должна быть не менее 1,5;
- уменьшение оптической плотности изображения сварного соединения на любом участке этого изображения по сравнению с оптической плотностью изображения эталона чувствительности не должно превышать 1,0.

Чувствительность контроля (наименьший диаметр выявляемой на снимке проволоки проволочного эталона, наименьшая глубина выявляемой на снимке канавки канавочного эталона, наименьшая толщина пластинчатого эталона, при которой на снимке выявляется отверстие с диаметром, равным удвоенной толщине эталона), не должна превышать значений, приведенных в табл. 21.

Таблица 21

Чувствительность контроля

Радиационная толщина в месте установки эталона чувствительности, мм	Класс чувствительности, мм		
	1	2	3
До 5	0,10	0,10	0,20
Св. 5 до 9 включ.	0,20	0,20	0,30
» 9 » 12 »	0,20	0,30	0,40
» 12 » 20 »	0,30	0,40	0,50
» 20 » 30 »	0,40	0,50	0,60
» 30 » 40 »	0,50	0,60	0,75
» 40 » 50 »	0,60	0,75	1,00
» 50 » 70 »	0,75	1,00	1,25
» 70 » 100 »	1,00	1,25	1,50
» 100 » 140 »	1,25	1,50	2,00
» 140 » 200 »	1,50	2,00	2,50
» 200 » 300 »	2,00	2,50	—
» 300 » 400 »	2,50	—	—

Примечание. При использовании проволочных эталонов чувствительности значения 0,30; 0,60; 0,75 и 1,50 мм заменяются значениями 0,32; 0,63; 0,80 и 1,60 мм.

Конкретные значения чувствительности должны устанавливаться технической документацией (требованиями чертежей, техническими условиями, правилами контроля и приемки) на контролируемые изделия.

Для атомных энергетических установок требования к чувствительности устанавливаются соответствующими нормативными документами.

В соответствии с требованиями технической документации на контролируемые изделия допускается определять чувствительность k в процентах по формуле

$$k = \frac{K}{S} \cdot 100 ,$$

где K – чувствительность, мм; S – толщина просвечиваемого металла, мм.

Расшифровка и оценка качества сварных соединений по снимкам, не имеющим изображений эталонов чувствительности, допускается:

- при панорамном просвечивании кольцевых сварных соединений;
- при одновременном экспонировании более четырех пленок.

В этих случаях, независимо от общего числа снимков, допускается устанавливать по одному эталону чувствительности на каждую четверть длины окружности сварного соединения;

- при невозможности применения эталонов чувствительности.

В этих случаях чувствительность определяется на имитаторах сварного соединения при обработке режимов контроля.

При расшифровке снимков определяют размеры изображений трещин, непроваров, пор и включений а также при необходимости оценивают величину вогнутости и выпуклости корня шва (в случаях, когда корень шва недоступен для внешнего осмотра).

Перечень подлежащих определению размеров и методика оценки величины вогнутости и выпуклости корня шва должны быть приведены в технической документации на контроль и приемку сварных соединений.

При документальном оформлении результатов расшифровки снимков определенные по снимкам размеры следует округлить до ближайших значений из ряда 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0 мм или ближайших целых значений в миллиметрах, если определенный по снимку размер превышает 3,0 мм.

Если при контроле пленка располагается на расстоянии H от обращенной к пленке поверхности контролируемого сварного соединения и выполняется соотношение

$$\frac{f + s}{H} > 10 ,$$

определенные по снимку размеры перед их округлением рекомендуется умножать на коэффициент

$$\frac{f + s}{f + s + H},$$

где f – расстояние от источника излучения до обращенной к источнику поверхности контролируемого участка сварного соединения, мм; s – радиационная толщина, мм.

При измерении размеров дефектов до 1,5 мм применяют измерительную лупу с ценой деления 0,1 мм, свыше 1,5 мм – любое измерительное устройство с ценой деления 1 мм.

Результаты расшифровки снимков и чувствительность контроля должны быть записаны в заключении или журнале регистрации результатов контроля, форма которых должна устанавливаться технической документацией на контроль или приемку сварных соединений.

При обнаружении на снимке (в процессе обычной расшифровки результатов рентгенографического контроля) недопустимых по длине одиночных дефектов, цепочек и скоплений газовых пор и шлаковых включений производят предварительную оценку качества этого снимка. Предварительную оценку целесообразно осуществлять с помощью дефектоскопической линейки, значительно ускоряющей и упрощающей расшифровку снимка.

При наличии на снимке недопустимых по длине вытянутых пор, как одиночных, так и образующих цепочки или скопления, измеряют диаметр этих пор или их глубину. Если эти размеры не превышают удвоенной величины максимально допустимой чувствительности контроля, указанные поры в расчет не принимаются и как недопустимые дефекты не фиксируются. В заключение данные поры вносятся с помощью соответствующего символа (A_v для одиночных, A_c и A_d для цепочек и скоплений, образованных удлиненными порами) со знаком по отношению к удвоенной чувствительности контроля.

Пример: на снимке стыка с толщиной свариваемых труб 15 мм обнаружены четыре одиночные вытянутые (червячные) поры длиной 10 мм и диаметром (глубиной) 0,4 мм каждая. В соответствии со СНиП Ш-42-80 и ГОСТ 7312–82 абсолютная чувствительность контроля «Кд» должна быть не более 0,5 мм (так как глубина непровара не должна превышать 1,0 мм). Чувствительность снимка, определенная по канавочному эталону № 2 и заносимая в заключение, составляет 0,5 мм (четко видна самая маленькая канавка эталона). В заключении в соответствующих графах

указывают: $A_v < 2K_d$, годен. Аналогично оцениваются шлаковые включения, но критерием является их глубина. Запись в заключении производят следующим образом. На рис. 11–14 представлены схемы цепочек и скоплений газовых пор, в которые входят как крупные (глубиной, превышающей удвоенную допустимую чувствительность контроля), так и мелкие (глубиной менее удвоенной допустимой чувствительности). Оценку результатов контроля по снимкам, схематично представленных на рис. 11–14, производят в соответствии с методикой. При этом в заключения заносит дефекты в соответствии со схемами, представленными в вариантах *б* рис. 11–14, по ним оценивают качество данного участка шва: годен, не годен.

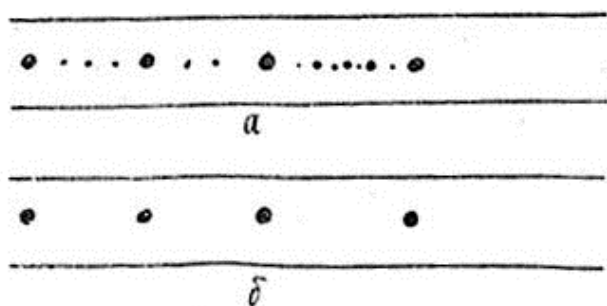


Рис. 11. Схематическое изображение группы пор участка сварного шва, представлено на снимках: а – повышенной чувствительности в виде цепочки пор; б – допустимой чувствительности в виде отдельных пор

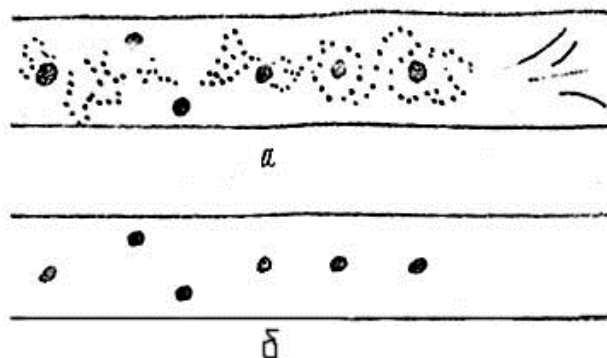


Рис. 12. Схематическое изображение группы пор участка сварного шва, представленное на снимках: а – повышенной чувствительности в виде скопления пор; б – допустимой чувствительности в виде отдельных пор

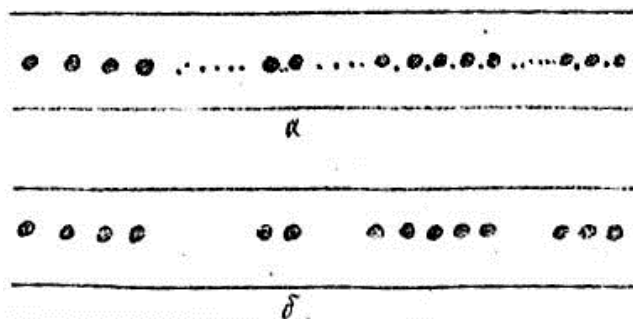


Рис. 13. Схематическое изображение цепочки пор участка сварного шва, представленное на снимках: а – повышенной чувствительности в виде сплошной цепочки; б – допустимой чувствительности в виде отдельных цепочек пор

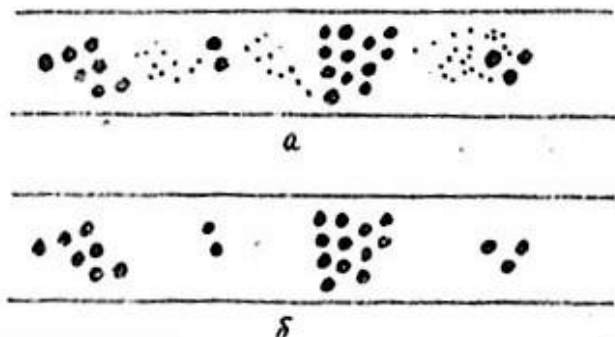


Рис. 14. Схематическое изображение скопления газовых пор участка сварного шва, представленное на снимках: а – повышенной чувствительности в виде сплошного непрерывного скопления; б – допустимой чувствительности в виде отдельных мелких скоплений

Дополнительно в графу «Выявленные дефекты» с помощью соответствующего символа вносятся все остальные дефекты (вариант а рис. 11–14) со знаком «<» по отношению к удвоенной чувствительности контроля без дополнительной записи в графе «Оценка качества или по каждому снимку».

7. УСЛОВНАЯ ЗАПИСЬ ДЕФЕКТОВ ПРИ РАСШИФРОВКЕ СНИМКОВ И ДОКУМЕНТАЛЬНОМ ОФОРМЛЕНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ КОНТРОЛЯ

1. Для сокращенной записи дефектов при расшифровке снимков и документальном оформлении результатов контроля должны использоваться условные обозначения, приведенные в табл. 22.

Таблица 22

Условные обозначения для сокращенной записи дефектов

Вид дефекта	Условное обозначение		Характер дефекта	Условное обозначение	
	Русский алфавит	Латинский алфавит		Русский алфавит	Латинский алфавит
Трещины	Т	Е	Трещина вдоль шва	Тв	Еа
			Трещина поперек шва	Тп	Еб
			Трещина разветвленная	Тр	Ес
Непровары	Н	D	Непровар в корне	Нк	Da
			Непровар между валиками	Нв	Db
			Непровар по разделке	Нр	Dc
Поры	П	А	Отдельная пора	П	Aa
			Цепочка	ЦП	Ab
			Скопление	СП	Ac
Шлаковые включения	Ш	В	Отдельное включение	Ш	Va
			Цепочка	ЦШ	Vb
			Скопление	Сш	Vc
Вольфрамовые включения	В	С	Отдельное включение	В	Ca
			Цепочка	ЦВ	Cb
			Скопление	СВ	Cc
Окисные включения	О	О	—	—	—
Вогнутость корня шва	Вгк	Fa			
Выпуклость корня шва	Впк	Fb			
Подрез	Пдр	Fc			
Смещение кромок	Скр	Fd			

2. Для сокращенной записи максимальной суммарной длины дефектов (на участке снимка длиной 100 мм или на всем снимке при его длине менее 100 мм) должно использоваться условное обозначение Е.

3. После условного обозначения дефектов указываются их размеры в миллиметрах:

- для сферических пор, шлаковых и вольфрамовых включений – диаметр;
- для удлинённых пор, шлаковых и вольфрамовых включений – ширина и длина (через знак умножения);
- для цепочек, скоплений, окисных включений, непроваров и трещин – длина.

4. Для цепочек и скоплений пор, шлаковых и вольфрамовых включений после условного обозначения дефектов, входящих в цепочку или скопление, указываются максимальные диаметр или ширина и длина этих дефектов (через знак умножения).

5. При наличии на снимке изображений одинаковых дефектов (дефектов одного вида с одинаковыми размерами) допускается не записывать каждый из дефектов отдельно, а указывать перед условным обозначением дефектов их число.

6. После условного обозначения максимальной суммарной длины дефектов (на участке снимка длиной 100 мм) указывается эта длина в миллиметрах.

7. При отсутствии изображений дефектов на снимке, а также в случаях, когда длина, ширина и суммарная длина дефектов не превышают заданных максимально допустимых значений, в графе документации «Соответствует требованиям» пишется «да», в противоположном случае «нет».

8. При обнаружении на снимке изображений дефектов, не перечисленных в табл. 22, в заключении или журнале регистрации результатов контроля следует указать полное наименование дефектов.

Примеры сокращённой записи дефектов при расшифровке снимков и документальном оформлении результатов контроля:

1. На снимке обнаружены изображения пяти пор с диаметром 3 мм каждая, цепочки пор с длиной 30 мм и максимальными длиной и шириной пор в цепочке 5 и 3 мм и шлакового включения длиной 15 мм и шириной 2 мм. Максимальная суммарная длина дефектов на участке снимка длиной 100 мм составляет 20 мм. Запись в документации: 5ПЗ; Ц30П5×3; Ш15×2; Σ20.

2. На снимке обнаружены изображения двух скоплений пор (длина каждого скопления 10 мм, максимальный диаметр пор 0,5 мм) и скопление шлаковых включений (длина скопления 8 мм, максимальная длина и ширина включений 2 и 1 мм). Максимальная суммарная длина дефектов на участке снимка длиной 100 мм составляет 18 мм. Запись в документации: 2С10П0,5; С8Ш2×1; Σ18.

3. На снимке обнаружены изображения двух непроваров длиной 15 мм каждый и трещины длиной 40 мм. Запись в документации: 2Н15; Т40.

4. На снимке обнаружены изображения пяти пор с диаметром 4 мм каждая и непровара длиной 20 мм. Максимальная суммарная длина пор на участке снимка длиной 100 мм составляет 12 мм. Запись в документации: 5П4; Σ12; Н20.

8. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О РЕНТГЕНОГРАФИЧЕСКОМ КОНТРОЛЕ КАЧЕСТВА МАГИСТРАЛЬНЫХ И ПРОМЫСЛОВЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Общие требования к методу рентгенографического контроля сварных соединений трубопроводов с использованием рентгеновских аппаратов и рентгенографической пленки установлены ГОСТ 7512–82. При рентгенографическом контроле применяют отечественные рентгенографические пленки типа РТ-5, РТ-4М, РТ-2, РТ-3, РНТМ-1, РТ1, РТ-СШ. Для контроля используют: рентгеновские аппараты непрерывного действия, импульсные рентгеновские аппараты.

Если неровности шва, брызги металла и другие внешние дефекты могут затруднить выявления внутренних дефектов в сварном соединении или повредить рентгенографическую пленку, то поверхность этого соединения должна быть зачищена с использованием средств механической обработки. В остальных случаях специальная подготовка поверхности сварного соединения не требуется. Швы, подлежащие контролю, размечают на отдельные участки, длина которых зависит от формата применяемой рентгенографической пленки (кассет), а затем маркируют несмываемой краской, обеспечивающей сохранность маркировки до сдачи трубопровода под изоляцию. Достаточно одна метка, которая соответствует началу мерительного пояса или рулонной пленки в следующих случаях: при использовании вспомогательных мерительных поясов со свинцовыми цифрами, обеспечивающими перенос изображения длины шва на снимки; при панорамном просвечивании на рулонную пленку с получением изображения контролируемого шва на одном снимке. На каждом участке шва, подвергаемом рентгенографическому контролю, закрепляют эталоны чувствительности, имитаторы (если это необходимо) и свинцовые знаки. Для определения чувствительности рентгенографического контроля следует использовать проволочные, канавочные и пластинчатые эталоны чувствительности, форма и размеры которых установлены ГОСТ 7512–82. Допускается использовать канавочные и проволочные эталоны чувствительности, изготовленные по ГОСТ 7512–80.

Для маркировки рентгенограмм следует использовать маркировочные знаки в виде цифр и букв русского или латинского алфавитов, также дополнительные знаки в виде стрелок, тире и т. п., изготовленные из материала, обеспечивающего получение их четких изображений на рентгенографических снимках. Для удобства нахождения дефектных участков шва целесообразно использование мерительных поясов со свинцовыми знаками, обеспечивающих разметку сварного соединения. Системой свинцовых маркировочных знаков обозначают: направление укладки кассет или рулонной пленки, соответствующее направлению, указанному стрелкой на стыке. Для неповоротных стыков в нитке трубопровода – по часовой стрелке относительно направления хода продукта шифр (характеристика) объекта; номер стыка; номер пленки; шифр (клеймо) сварщика, бригады; шифр дефектоскописта, осуществляющего просвечивание стыка. Изображение на снимке маркировоч-

ных знаков должно быть четким и не накладываться на изображение сварного шва. При просвечивании сварных швов без усиления (или со снятым усилением) на их границах необходимо устанавливать свинцовые стрелки или другие ограничители, помогающие определить расположение шва на рентгенографическом снимке. Для измерения глубины дефектов методом визуального (или с помощью фотометров и денситометров) сравнения потемнений изображения дефектов с эталонными канавками или отверстиями следует использовать канавочные эталоны чувствительности или имитаторы, при этом необходимым условием является то, что высота усиления сварного шва должна быть не больше толщины эталона чувствительности или толщины имитатора.

Форма имитаторов может быть произвольной, глубину и ширину (диаметр) канавок и отверстий следует выбирать по табл. 23 (количество канавок и отверстий не ограничивается). Имитаторы должны иметь паспорта или сертификаты (на партию) со штампом предприятия изготовителя, в которых обязательно указывается материал, из которого они изготовлены, их толщина, глубины всех канавок (отверстий) и их ширина (диаметр отверстий). С целью более точного распознавания дефектов (типа шлаковых включений) допускается заполнение отверстий имитаторов жидким стеклом.

Таблица 23

Форма и размеры имитаторов

Толщина имитатора h , мм	Глубина канавок и отверстий h_1 , мм	Предельное отклонение глубины, м	Ширина канавок (диаметр отверстий), мм
$h \leq 2$	$\leq h \leq 0,50$	-0,05	1,0 0,1
$\leq h \leq 4$	$\leq h \leq 2,70$	-0,10	2,0 0,1

Проволочные эталоны чувствительности следует устанавливать непосредственно на сварной шов с направлением проволок поперек шва. Канавочные эталоны и имитаторы необходимо помещать рядом со швом с направлением их вдоль швов. Пластиночные эталоны должны быть размещены рядом со швом с направлением эталона вдоль шва или непосредственно на шве с направлением эталона вдоль шва или непосредственно на шве с направлением эталона поперек шва. При просвечивании кольцевых швов трубопроводов малого диаметра на эллипс допускается устанавливать канавочные и пластиночные эталоны чувствительности и маркировочные знаки рядом со швом вдоль оси трубы, а не вдоль сварного шва.

При просвечивании трубопроводов с расшивкой только прилегающих к пленке (к кассетам) участков сварного соединения эталоны чувствительности помещают между контролируемым изделием и кассетами с пленкой. При просвечивании «на эллипс» эталоны чувствительности располагают между контролируемым изделием и источником излучения.

При фронтальном просвечивании за несколько экспозиций эталоны чувствительности устанавливают таким образом, чтобы их изображение было расположено на более светлой части снимков на расстоянии 25–50 мм от их краев. При панорамном просвечивании кольцевых швов трубопроводов за одну установку источника излучения изображение эталонов чувствитель-

ности может располагаться в любой части снимка по его длине. Аналогично эталонам чувствительности должны быть размещены имитаторы. При панорамном просвечивании кольцевых швов трубопроводов на рулонную рентгенографическую пленку за одну установку источника излучения располагают не менее четырех эталонов чувствительности (а в случае необходимости и имитаторов) – по одному на каждую четверть длины окружности сварного соединения. Суммарная разностенность толщин, просвечиваемых за одну экспозицию, не должна превышать следующих величин (для оптических плотностей 1,5–3,0 единиц оптической плотности (е.о.п.)): 5,5 мм – при напряжении на рентгеновской трубке 200 кВ; 7,0 мм – при напряжении на рентгеновской трубке 260 кВ; 15 мм – при наличии оборудования для просмотра снимков, имеющих почернение до 4 е.о.п. Суммарная разностенность не должна превышать: 7,5 мм – при напряжении на трубке 200 кВ; 9,0 мм – при напряжении на трубке 200 кВ.

Схемы просвечивания представлены на рис. 15–24.

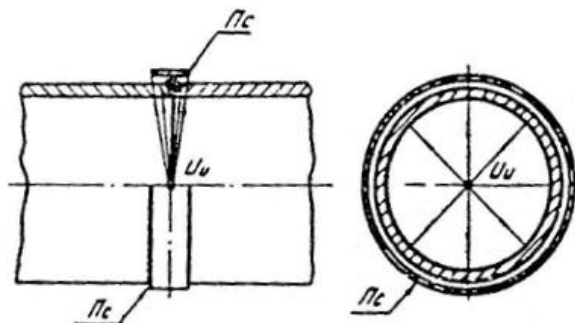


Рис. 15. Схема панорамного просвечивания изнутри трубы за одну установку источника излучения

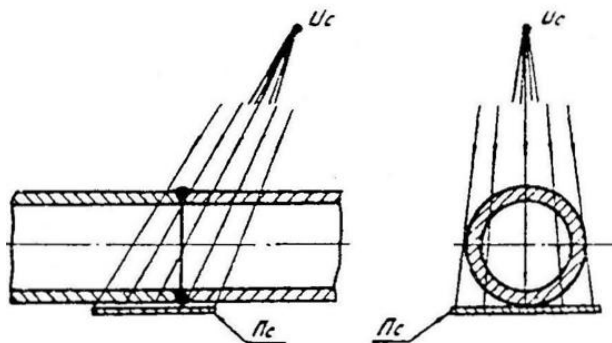


Рис. 16. Схема фронтального просвечивания через две стенки за одну или две установки источника излучения на плоскую кассету

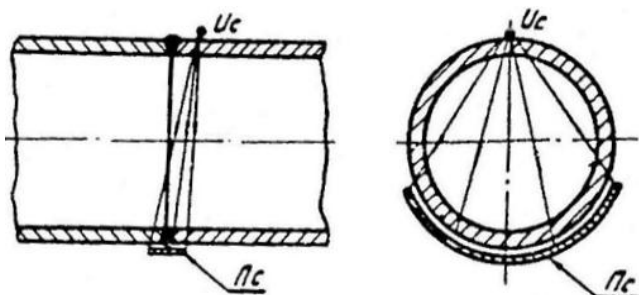


Рис. 17. Схема фронтального просвечивания через две стенки за три установки источника излучения

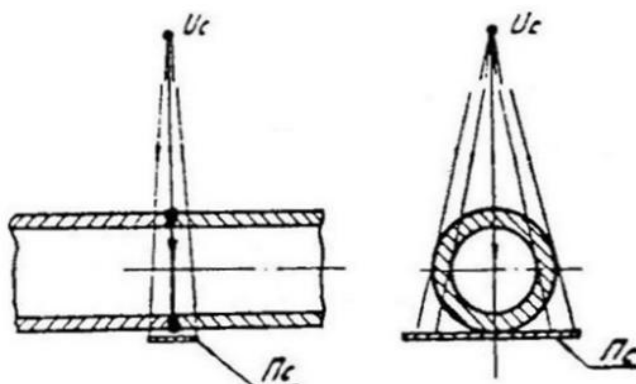


Рис. 18. Схема фронтального просвечивания через две стенки за одну установку для соединения труб

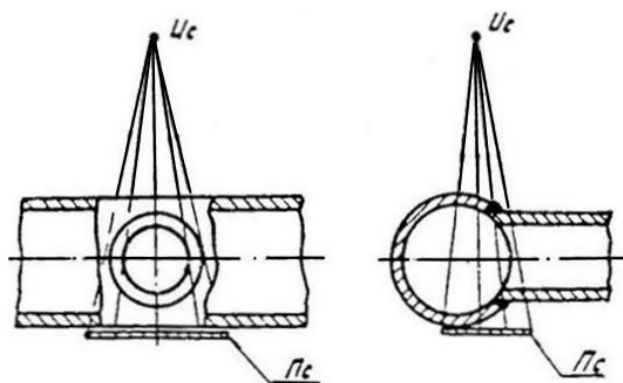


Рис. 19. Схема фронтального просвечивания через две стенки за одну установку для соединения врезок

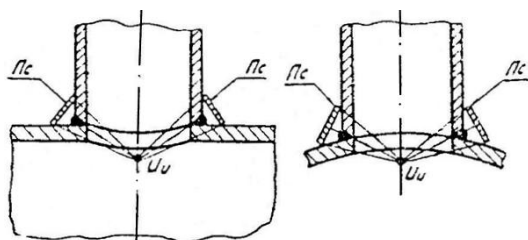


Рис. 20. Схема просвечивания криволинейного шва изнутри трубы за одну установку источника излучения

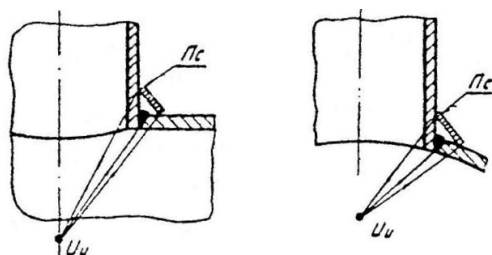


Рис. 21. Схема просвечивания криволинейного шва изнутри трубы за несколько установок источника излучения

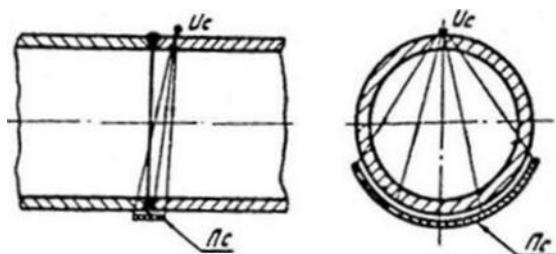


Рис. 22. Схема фронтального просвечивания криволинейных швов врезок малого диаметра за одну установку источника излучения

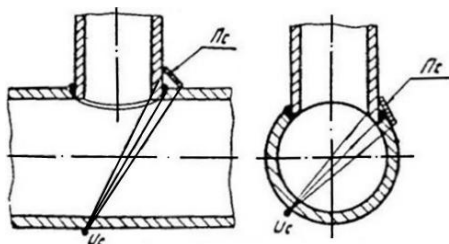


Рис. 23. Схема фронтального просвечивания криволинейных швов врезок большого диаметра за несколько установок источника излучения

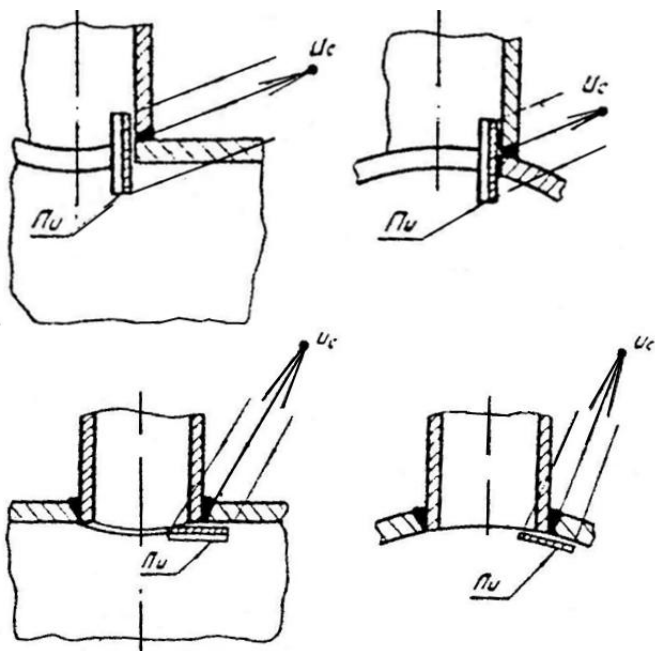


Рис. 24. Схемы просвечивания криволинейных швов врезок снаружи за несколько установок источника излучения

Снимки, допущенные к расшифровке, должны удовлетворять следующим требованиям: длина каждого снимка должна обеспечивать перекрытие изображения смежных участков сварного соединения на величину не менее 20 мм, а его ширина – получение изображения сварного шва и прилегающих к нему околошовных зон шириной не менее 20 мм с каждой; на снимках не должно быть пятен, полос, загрязнений, следов электростатических разрядов и других повреждений эмульсионного слоя, затрудняющих их расшифровку; должны быть видны изображения эталонов чувствительности и маркировочных знаков, ограничительных меток, имитаторов и мерительных поясов, если они использовались; оптическая плотность изображений основного металла контролируемого участка должна быть не менее 2 е.о.п. При использовании высокочувствительных экранных рентгенографических пленок снимки должны иметь потемнение, находящееся в пределах 1 е.о.п. (на участках с изображением основного металла). Разность оптических плотностей изображений канавочного эталона чувствительности и основного металла в месте установки эталона должны быть не менее 0,3 е.о.п. Размеры дефектов при расшифровке снимков следует округлять до ближайших значений из ряда чисел: 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,5; 2,0; 2,5; 2,7; 3,0.

Результаты расшифровки снимков с указанием их чувствительности и всех выявленных дефектов заносят в заключение установленной формы. Каждый дефект должен быть отмечен отдельно и иметь подробное описание в соответствии с критериями оценки качества сварных соединений, с указанием: символа условного обозначения типа дефекта; размера дефекта или суммарной длины цепочки и скопления пор или шлаков в миллиметрах (с указанием преобладающего размера дефекта в группе); количества однотипных дефектов на снимке; глубин дефектов в миллиметрах или процентах от толщины металла свариваемых элементов трубопровода. Допускается вместо записи глубины дефектов в миллиметрах или процентах указывать с помощью знаков «>», «=» или «<» величину дефекта по отношению к максимально допустимой для данного сварного соединения.

Заключение по результатам контроля следует давать отдельно по каждому отрезку снимка длиной 300 мм для рулонных снимков и по каждому снимку (для форматных); после анализа всех отрезков или снимков составляют заключение о качестве сварного стыка в целом. В тех случаях, когда снимки имеют одинаковую чувствительность, а на изображении сварного шва отсутствуют дефекты, их можно группировать и записывать в заключении одной строкой.

Расшифровку снимков можно во многом упростить, если использовать универсальный шаблон инженера-радиографа. Универсальный шаблон инженера-радиографа (УШР) является вспомогательным инструментом для оценки качества сварных трубопроводов по результатам рентгенографического контроля. Применение УШР при расшифровке рентгеновских снимков способствует точному и оперативному определению видов размеров дефектов сварки согласно ГОСТ 7512-82.

УШР выпускается в трех вариантах и предназначен для расшифровки рентгенографических снимков сварных соединений следующих объектов:

- Комплект № 1 – для магистральных и промышленных трубопроводов (по СНиП Ш.42-80 и ВСН 012-88).
- Комплект № 2 – для трубопроводов компрессорных и насосных станций (по ВСН 012-88).
- Комплект № 3 – для трубопроводов систем газоснабжения (по СНиП Ш.05.02-88). Аналогичные комплекты разработаны для объектов энергетики.

Каждый шаблон из комплекта представляет собой гибкую прозрачную пленку размером 297×210 мм. Наложение шаблона на рентгенографическую пленку при осмотре последней позволяет производить ее оперативную расшифровку.

9. ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАБОТЕ С РЕНТГЕНОВСКИМ АППАРАТОМ

К работе с рентгеновскими аппаратами допускаются лица не моложе 18 лет, не имеющие медицинских противопоказаний для работы с ионизирующим излучением, при наличии соответствующей квалификации, прошедшие инструктаж и проверку знаний правил безопасности при работе с источниками рентгеновского излучения и электроустановками напряжением свыше 1000 В не ниже II группы электробезопасности. Все лица должны быть отнесены к группе А (персонал), в том числе временно привлекаемые.

Измерение мощности эквивалентной дозы рентгеновского излучения от импульсных рентгеновских аппаратов требует применения дозиметров с быстродействующим детектором.

Дозиметры с газоразрядными детекторами не пригодны, т.к. у них большое время восстановления и они детектируют вспышку рентгеновского излучения как один квант. Также не все сцинтилляционные детекторы пригодны для этой задачи, поскольку время высвечивания у неорганических сцинтилляторов от 50 нс до 1 мкс.

Принцип действия быстродействующего дозиметра основан на использовании органического (пластмассового) сцинтиллятора и быстродействующего фотоэлектрического умножителя.

Быстродействующие приборы, такие как ДКС-АТ1123, ДКС-96 с блоком детектирования БДКС-96, позволяют проводить измерения параметров импульсного наносекундного рентгеновского излучения.

Например, дозиметр рентгеновского и гамма-излучения ДКС-АТ1123 измеряет среднюю мощность эквивалентной дозы импульсного излучения при мощности дозы в импульсе до 1,3 Зв/с и длительностью импульса не менее 10 нс в диапазоне от 1 мкЗв/ч до 30 Зв/ч, эквивалентную дозу в диапазоне от 50 нЗв до 10 Зв с погрешностью $\pm 30\%$. Диапазон энергий регистрируемого рентгеновского и гамма излучений от 15 кэВ до 10 МэВ.

Основными видами опасности для персонала при рентгенографическом контроле являются воздействие на организм ионизирующего излучения, вредных газов, образующихся в воздухе под воздействием излучения, и поражение электрическим током.

Рентгенографический контроль должен проводиться только с использованием специально предназначенной для этих целей и находящейся в исправном состоянии аппаратуры. Электрооборудование действующих стационарных и переносных установок для рентгенографического контроля должно соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.007.0-75 и Правил устройства электроустановок.

При проведении рентгенографического контроля должна быть обеспечена безопасность работ в соответствии с требованиями «Основных санитарных правил работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений» ОСП 72/87/80 № 2120-80, «Норм радиационной безопасности» НРБ-76 № 141-76. 7.

При эксплуатации подключенных к промышленной электросети стационарных и переносных установок для рентгенографического контроля должна быть обеспечена безопасность работ в соответствии с требованиями «Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей» и «Правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей».

Предприятия, выполняющие рентгенографический контроль сварных соединений, разрабатывают в соответствии с требованиями безопасности настоящего раздела документацию, определяющую правила и методы безопасной организации работ, объем и средства рентгенографического контроля с учетом местных условий производства и доводят их в установленном порядке до работающих.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 24034-80. Контроль неразрушающий радиационный. Термины и определения.
2. ГОСТ 26011-84. Сварка металлов. Основные понятия. Термины и определения.
3. ГОСТ 20426-82. Контроль неразрушающий. Методы дефектоскопии радиационные. Область применения.
4. ГОСТ 23055-78. Контроль неразрушающий. Сварка металлов плавлением. Классификация сварных соединений по результатам радиографического контроля.
5. Методы и средства промышленной радиографии: справочник. М.: Компания Аргус Лимитед, 1995.
6. ГОСТ 15843-79. Принадлежности для промышленной радиографии. Основные параметры.
7. ГОСТ 7512-82. Контроль неразрушающий. Сварные соединения. Рентгенографический метод.
8. ГОСТ 102-51-85. Контроль неразрушающий Сварные соединения трубопроводов. Рентгенографический метод. М.: Изд-во стандартов, 1985.
9. ГОСТ 2611-03-84. Рентгенографический контроль сварных соединений сосудов и аппаратов, работающих под давлением.
10. ГОСТ 108.004-87. Отраслевой стандарт. Соединения сварные оборудования атомных электростанций. Рентгенографический контроль. М.: Изд-во стандартов, 1987.
11. ГОСТ 28277-89. Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Электрорадиографический метод. Общие требования.
12. Нормы ВСН-012-1988. Контроль качества магистральных и промысловых трубопроводов.
13. ОСТ 25541-82. Электрорадиография. Термины и определения.
14. В.В. Ключев. Система международных стандартов и современное состояние европейской стандартизации неразрушающего контроля сварных соединений // Контроль. Диагностика. №12.
15. Неразрушающий контроль и диагностика: справочник / под ред. В.В. Ключева. М.: Машиностроение, 1995.
16. Практика радиографического контроля / В.К. Кулешов, Ю.И. Сертаков, П.В. Ефимов, В.Ф. Шумихин. Томск: изд-во Томского политех. ун-та, 2009.
17. Р.А. Назипов, А.С. Храмов, Л.Д. Зарипова Основы радиационного неразрушающего контроля. Казань, 2008.
18. Ю.П. Кочкин, А.Ю. Солнцев, Е.Н. Астапов. Радиационные методы контроля. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2010.

Учебное издание

Евгений Николаевич АСТАПОВ

РАДИАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ. РЕНТГЕНОГРАФИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ

Учебное пособие

Редактор Н.П. Боярова
Компьютерная верстка К.В. Гаврусевой

Подписано в печать 04.09.2015. Рег. № 80-15. Формат 60×84/16. Бумага тип. № 1.
Плоская печать. Усл.печ.л. 3,25. Тираж 50 экз. Заказ 582



Издательский центр ФГБОУ ВПО «МГТУ»
455000, Магнитогорск, пр. Ленина, 38
Полиграфический участок ФГБОУ ВПО «МГТУ»