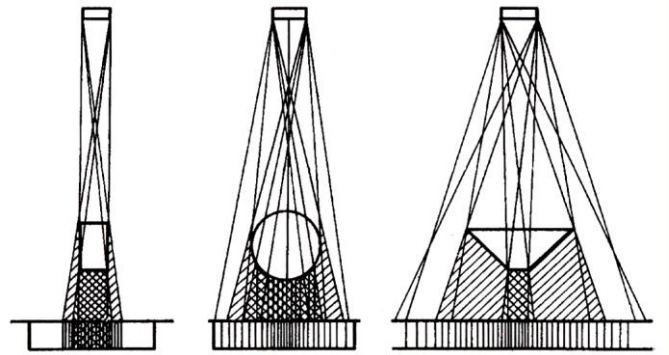
ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ЦЕНТР ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Машины и автоматизация сварочного производства»

РАДИОГРАФИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА В СВАРОЧНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ



Автор
Фомин В.Н.

Ростов-на-Дону, 2012

Аннотация

В учебном пособии рассмотрены: сущность радиографического контроля качества сварных соединений; техника радиографического контроля; расчет и выбор параметров контроля; оборудование и инструменты, применяемые при контроле. Приведены примеры выбора экспозиции, вопросы техники безопасности при выполнении работ. Весь текстовой материал иллюстрируется рисунками, таблицами, схемами.

Материалы, излагаемые в пособии, ориентированы на формирование инженерного кругозора будущих специалистов – студентов, обучающихся по направлению 651400 "Технологические машины и оборудование" по дисциплине «Система обеспечения качества» для специальностей 150202 «Машины и технология сварочного производства» и 050501 «Профессиональное образование».

Автор

Фомин В.Н., доцент, к.т.н.

Оглавление

Предисловие 6

Глава 1. ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТОДОВ РАДИАЦИОННОЙ ДЕФЕКТОСКОПИИ 7

1.1. Физика ионизирующих излучений. Строение атома .. 7
1.2. Строение атомного ядра. Изотопы 9
1.3. Радиоактивность и закон радиоактивного распада. .10

Глава 2. РЕНТГЕНОВСКОЕ И ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ 14

2.1. Источники ионизирующего излучения для радиационной дефектоскопии сварных соединений.....15
2.2. Отечественные рентгеновские аппараты 16
2.3. Конструктивные особенности рентгеновских аппаратов зарубежных фирм 25
2.4. Источники ионизирующих излучений на базе ускорителей 26
2.5. Радиоизотопные источники излучения.....28
2.6. Гамма-дефектоскопы 30
2.7. Отечественные гамма-аппараты 32
2.8. Гамма-аппараты зарубежных фирм.....33
2.9. Методы радиационного контроля.....34
2.10. Методы регистрации и измерения ионизирующего излучения.....35
2.11. Приборы для измерения ионизирующего излучения 39

Глава 3. РАДИОГРАФИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕНТГЕНОВСКОЙ ПЛЕНКИ.....41

3.1. Основные требования к качеству рентгеновского или γ -негатива 41
3.2. Геометрические условия просвечивания.....42
3.3. Характеристика пленок, флуоресцирующих усиливающих экранов и условия фотообработки пленок 44

3.4. Рассеянное излучение и меры защиты от него.....44
3.5. Размеры, форма и вид дефекта и его расположение относительно просвечивания 45
3.6. Жесткость излучения, толщина и плотность просвечиваемого материала 45
3.7. Применение фильтров и компенсаторов 45
3.8. Выбор источника излучения 46

Глава 4. ТЕХНИКА РАДИОГРАФИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ 48

4.1. Выбор экспозиции при радиографировании.....51
4.2. Фотообработка рентгеновских снимков 53
4.3. Процесс проявления пленки 55
4.4. Фиксирование рентгенограмм.....59
4.5. Промывка и сушка рентгенограмм 62
4.6. Оценка качества сварных соединений 64
4.7. Ксерорадиографический (электрорадиографический) контроль 65
4.8. Радиоскопический контроль.....66
4.8.1. Основные системы установок визуального радиационного контроля и их преимущества 66
4.8.2. Чувствительность методов радиационного визуального контроля 68
4.9. Флуроскопический контроль 69

Глава 5. ПРОСВЕЧИВАНИЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ РЕНТГЕНОВСКИХ ЭЛЕКТРОННО-ОПТИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ (РЭОП) 70

5.1. Просвечивание с применением электронно-оптических усилителей видимого света (ЭОУС) 71
5.2. Просвечивание с применением электролюминесцентных преобразователей 71
5.3. Просвечивание с использованием телевизионных систем 72
5.6. Современные методы радиоскопического контроля.73
5.7. Радиометрический контроль 76
5.8. Перспективные методы и средства радиационного контроля.....80

Глава 6. РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ЛАБОРАТОРИИ РАДИАЦИОННОЙ ДЕФЕКТОСКОПИИ 85

6.1. Биологическое воздействие ионизирующего излучения 85

6.2. Основные требования к лаборатории радиационной дефектоскопии.....86

Вопросы для самопроверки.....88

Список литературы 92

Предисловие

Надёжность и долговечность сварных конструкций во многом зависит от качества сварных соединений, поэтому немаловажное значение имеет их технический контроль.

Чтобы своевременно выявить дефекты в сварных соединениях, установить и устранить причины их образования, тем самым предупредив брак и возможные последствия в процессе эксплуатации сварных конструкций, необходимо иметь на вооружении надёжные виды контроля для определения внутренних дефектов в сварном соединении. Одним из наиболее распространённых неразрушающих методов контроля является радиографический контроль, который используется практически во всех отраслях народного хозяйства там, где изготавливают или эксплуатируют ответственные конструкции, разрушение которых может привести к тяжёлым экологическим последствиям или человеческим жертвам.

Глава 1. ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТОДОВ РАДИАЦИОННОЙ ДЕФЕКТОСКОПИИ

1.1. Физика ионизирующих излучений. Строение атома

С точки зрения атомно-молекулярной теории химический элемент есть вид атомов, характеризующийся определенной совокупностью свойств.

Атом представляет собой электродинамическую систему, состоящую из положительно заряженного ядра и окружающих ядро электронов.

Электрон - отрицательно заряженная частица, заряд которой по абсолютной величине равен $4{,}8029 \cdot 10^{-10}$ электростатических единиц. Масса электрона равна $9{,}11 \cdot 10^{-28}$ г.

Ядро атома - по своим линейным размерам примерно на 10^5 раз меньше размера атома (линейные размеры атома порядка 10^{-8} см, а ядра порядка 10^{-13} см.). В ядре сосредоточена почти вся масса атома. Заряд ядра равен Z элементарным положительным электрическим зарядам, где Z-порядковый номер элемента в периодической системе элементов Д.И. Менделеева.

В нормальном состояние атом нейтрален, т.е. число электронов в атоме равно порядковому номеру элемента. Электроны в атоме располагаются на определенных энергетических уровнях (E1,E2, E3, и т.д.) или электронных оболочках.

Ближайшая к ядру оболочка называется К - оболочкой, дальше следует L,M,N,P и Q. Чем ближе электрон расположен к ядру, тем больше величина силы притяжения между электроном и ядром, т.е. тем больше энергия связи электрона в атоме. Следовательно, чтобы вырвать электрон с К - оболочки, необходимо затратить больше энергии, чем с L-оболочки и т.д.

Число электронов, движущихся в атоме вокруг ядра, является важной характеристикой атома. Оно определяет место данного элемента в периодической системе элементов. На К - оболочке может находиться только два электрона; на L-оболочке - 8; на М- 18; на N- 32 электрона и т.д. По мере увеличения атомного номера элемента заполняются новые электронные оболоч-

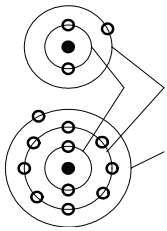


Рис. 1. Расположение электронов в атомах лития и натрия

ки.

Число электронов на внешней оболочке периодически повторяется. Так, атом лития (рис. 1.) содержит три электрона, два из них расположены на К-оболочке и один на внешней.

Атом натрия (см. рис.1) содержит одиннадцать электронов - два располагаются на К-оболочке, восемь на L-оболочке и один на М-оболочке и т.д.

Поскольку электроны внешних оболочек атома менее связаны с ядром и больше подвержены внешним воздействиям, химические свойства атома определяются в основном числом электронов на внешней оболочке. Периодическое повторение электронов на внешней оболочке, по мере заполнения новых электронных оболочек, объясняет периодичность химических свойств в периодической системе элементов. Так, у лития Li, натрия Na, калия K и рубидия Rb на внешней оболочке находится по одному электрону, у галогенов -- фтор F , хлор Cl , бром Br, йод I, астат At по семи и т.д.

Соединение атомов в молекулы сводится к перестройке внешних электронных оболочек. Строение внутренних оболочек и ядра атома при химических реакциях не изменяется.

Запас внутренней энергии атома обуславливается взаимным расположением ядра и окружающих его электронов. Внешним энергетическим воздействием, например, нагреванием или облучением, можно сообщить атому, находящемуся в нормальном состоянии, дополнительную энергию. Получив избыток энергии, атом возбуждается, т.е. переходит в одно из возможных энергетически более высоких состояний. Возбужденное состояние атома неустойчиво и длится короткое время. Путем самопроизвольных переходов на близкие к ядру свободные места в оболочках атом возвращается в нормальное устойчивое состояние. При этом избыток энергии излучается в виде квантов электромагнитного излучения, называемых также *фотонами*. Квант или фотон - это избыток энергии в виде электромагнитного излучения.

Энергия кванта (фотона) пропорциональна частоте электромагнитных колебаний γ и равна

$$h \cdot \gamma , \qquad (1)$$

где h - постоянная Планка, равная $6{,}62 \cdot 10^{-27}$.

Собственная частота колебаний связана с длиной волны следующим соотношением

$$\lambda = \frac{c}{\gamma} , \qquad (2)$$

где с - вид излучения, распространяющегося в пространстве со скоростью света $c = 3 \cdot 10^{10}$ см/с.

На основании зависимостей (1), (2) можно записать, что

$$E = h \cdot \gamma = h\frac{c}{\lambda},$$

т.е. с уменьшением длины волны λ увеличивается энергия E излучения.

Следует отметить, что атом при переходе из возбужденного состояния в невозбужденное испускает кванты (фотоны) вполне определенных величин энергий, составляющих так называемое характеристическое излучение.

Характеристическое излучение – квантовое излучение с дискретным спектром, возникающее при изменении энергетического состояния атома. Энергия испускаемых квантов равна разности энергии связи электрона в атоме на оболочке, которую он занял после перехода атома в невозбужденное состояние, и на оболочке, с которой был совершен переход. С увеличением порядкового номера элемента увеличивается число заполненных энергетических уровней (оболочек) в атоме. Электроны, находящиеся на более высоких энергетических уровнях, обладают более высокой энергией, т.е. с увеличением Z увеличивается энергия характеристического излучения.

1.2. Строение атомного ядра. Изотопы

Ядра атома имеют сложное строение, они состоят из протонов и нейтронов.

Протон (p) - элементарная частица, обладающая единицей положительного заряда. Масса его примерно равна атомной единице массы

$$m_p = 1{,}007593\,\text{а.е.м.}, \text{ или } m_p = 1{,}672 \cdot 10^{-24}\,\text{г.}$$

Нейтрон (n) - элементарная частица, не обладающая зарядом. Масса его приблизительно равна массе протона, точнее

$$m_n = 1{,}00893\,\text{а.е.м.}, \text{ или } m = m_n = 1{,}674 \cdot 10^{-24}\,\text{г.}$$

Протон и нейтрон можно рассматривать как два состояния одной частицы - нуклона.

В действительности свободные нейтроны нестабильны и превращаются в протоны с образованием электронов β^- и антинейтрино

$$\tilde{\gamma}\ \ n \rightarrow p + \beta^- + \tilde{\gamma}.$$

Протоны в поле ядра могут превращаться в нейтроны, при этом образуется позитрон β^+ и нейтрино

$$\gamma\ \ n \rightarrow p + \beta^+ + \gamma.$$

Позитрон - элементарная частица, обладающая той же мас-

сой, что и электрон, но несущая электрический заряд противоположного знака.

Нейтрино - элементарная частица, не имеющая электрического заряда. Масса покоя её точно не известна, но, во всяком случае, она значительно меньше, чем у электрона.

Суммарное число протонов и нейтронов (нуклонов) в ядре называется массовым числом атомного ядра А. Массовое число примерно равно атомному весу элемента, так как атомные веса протона и нейтрона приблизительно равны единице. Число протонов в ядре определяет заряд ядра и численно равно порядковому номеру элемента Z. Число нейтронов N в ряде равно разности между массовым числом и порядковым номером элемента ($N = A - Z$).

Ядра химических элементов принято обозначать соответствующим символом элемента с цифрами внизу слева и вверху справа от символа. Верхняя цифра означает массовое число, нижняя - заряд ядра. Например, ядро железа $^{56}_{26}Fe$ состоит из 26 протонов и $56 - 26 = 30$ нейтронов.

Атомы, ядра которых обладают одинаковыми зарядами, но разными массовыми числами, называются *изотопами*. В химическом отношении изотопы одного и того же элемента одинаковы.

1.3. Радиоактивность и закон радиоактивного распада.

Естественная радиоактивность. Спонтанный самопроизвольный распад неустойчивых ядер называется *радиоактивностью*. Неустойчивые ядра распадаются, испуская α и β -частицы. Испускание этих частиц иногда сопровождается γ -излучением (γ -излучение - квантовое излучение атомных ядер). Выбрасывая α и β -частицы, ядро освобождается от избытка энергии, но может еще остаться в возбужденном состоянии. Излучение энергии в виде γ -кванта переводит ядро из возбужденного состояния в основное с более низким уровнем энергии. Примером радиоактивного превращения, сопровождающегося выбрасыванием α -частиц, может служить распад радия по схеме

$$^{226}_{88}Ra \rightarrow ^{222}_{86}Rn + ^{4}_{2}He + \gamma .$$

В настоящее время известно свыше 40 естественных радиоактивных элементов. Радиоактивностью обладают в основном изотопы очень тяжелых элементов (однако известно несколько радиоактивных изотопов с атомным номером меньше 83, например, $^{40}_{19}K$, $^{87}_{37}Rb$). Различают два типа ес- тественной радиоактивности: α

и β^--активность. В первом случае из каждого ядра вылетает α -частица, во втором - β^- -частица (α-частицы - ядра атомов гелия ^4_2He), испускаемые ядрами некоторых радиоактивных элементов; α-частица состоит из двух протонов и двух нейтронов, поэтому она обладает зарядом, равным двум единицам заряда, и массовым числом, равным 4. Естественным радиоактивным изотопам присущ только β^-распад.

Искусственная радиоактивность. Искусственные превращения ядер элементов могут быть вызваны бомбардировкой их а-частицами, протонами, ядрами тяжелого водорода - дейтронами, нейтронами и γ-квантами высоких энергий.

Атомные ядра искусственных радиоактивных изотопов, так же, как и естественных, претерпевают спонтанные превращения. Основными видами ядерных превращений, наблюдаемых для искусственных радиоактивных изотопов, являются позитронный β^+ и электронный β^- распад.

Наиболее широко распространены реакции под действием нейтронов и дейтронов. Чтобы происходили ядерные реакции, для бомбардировки ядер должны применяться частицы, обладающие высокой кинетической энергией. Сообщение бомбардирующим частицам достаточной кинетической энергии осуществляется в специальных ускорителях заряженных частиц.

Благодаря отсутствию заряда, нейтрон легко проникает в атомное ядро и поэтому может быть наиболее эффективно использован для осуществления ядерных реакций. Источником нейтронов являются ядерные реакторы, которые используют, в частности, для получения высокоактивных источников излучения, применяемых в дефектоскопии.

При бомбардировке атомов нейтронами ядро атома, захватив нейтрон, превращается в изотоп элемента, подвергаемого бомбардировке. В этом случае массовое число возрастает, но атомный вес остается без изменения. Примером может служить реакция превращения нерадиоактивного кобальта $^{59}_{27}Co$ в радиоактивный $^{60}_{27}Co$, сопровождаемая излучением γ-кванта

$$^{59}_{27}Co + n \rightarrow ^{60}_{27}Co + \gamma .$$

Закон радиоактивного распада. При радиоактивном распаде среднее число ядер данного радиоактивного изотопа, распадающихся за единицу времени, всегда составляет определенную, характерную для данного изотопа долю от общего числа ядер и определяется по-

стоянной радиоактивного распада. Эта закономерность является общей для всех радиоактивных изотопов. У различных радиоактивных изотопов доля распадающихся ядер различна, она тем больше, чем больше степень неустойчивости ядер.

Например, из общего числа имеющихся атомов радия ежесекундно распадается $1{,}38 \cdot 10^{-11}$ части, а из общего числа атомов радона примерно $2{,}1 \cdot 10^{-6}$ части. Это значит, что из 10^{13} атомов радия каждую секунду распадается 138 атомов, а из 10^{13} атомов радона 21000000 атомов.

Уменьшение числа радиоактивных атомов при распаде математически можно записать в виде соотношения:

$$-dN = \lambda N dt,$$

где N - первоначальное количество атомов; dN - число атомов из первоначального количества N, распавшихся за малый промежуток времени dt; λ - постоянная распада.

Отрицательный знак в уравнении указывает на то, что процесс распада ведет к уменьшению числа атомов в единицу времени.

Закон радиоактивного распада имеет вид экспоненциальной зависимости:

$$N = N_0 e^{-\lambda t},$$

где t - время; N - число атомов, оставшихся к моменту времени t; e - основание натуральных логарифмов ,численно равное 2,718; λ - постоянная распада; N_0 -число атомов в начальный момент времени t = 0.

Время T, в течение которого число радиоактивных атомов уменьшится вдвое, называется *периодом полураспада*.

За время T число оставшихся атомов станет равным

$$N = \frac{N_0}{2}.$$

Между постоянной распада и периодом полураспада существует простая связь. Подставляя в уравнение $N = N_0 e^{-\lambda t}$ вместо t значение T и вместо $N = \frac{N_0}{2}$, получим:

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda T} \text{ или } \frac{1}{2} = e^{-\lambda T}.$$

Логарифмируя это выражение и подставляя вместо $\ln 2$ его значение, получим окончательное выражение, связывающее период полураспада и постоянную распада,

$$\lambda T = \ln 2 = 0{,}693 .$$

Периоды полураспада различных радиоактивных изотопов меняются в широких пределах: от многих миллионов лет до сотых долей секунды.

Глава 2. РЕНТГЕНОВСКОЕ И ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ

Рентгеновское излучение, открытое в 1895 году физиком Рентгеном, имеет ту же электромагнитную природу, что и γ - излучение, испускаемое ядрами атомов радиоактивных элементов. Эти два вида излучения отличаются от других разновидностей электромагнитных колебаний малой длиной волны, обычно измеряемой в ангстремах ($1\overset{0}{A} = 0{,}1 нМ = 10^{-8} см$).

Рентгеновское и γ-излучения обладают одинаковой природой и подчиняются одинаковым закономерностям при взаимодействии с веществом. Принципиальная разница между этими двумя видами излучений заключается в механизме их возникновения. Рентгеновское излучение - внеядерного происхождения, γ - излучение - продукт распада ядер.

Рентгеновское излучение возникает в результате изменения скорости движения (торможения) электронов, при столкновении с атомами металла анода (мишени).В результате этого возникают характеристическое и тормозное излучения, имеющие соответственно линейчатый и непрерывный спектры

Характеристическое излучение с линейчатым спектром возникает в том случае, когда быстрые электроны, взаимодействуя с веществом анода, обеспечивают переход К - электронов атомов вещества анода на L - оболочку. Мгновенный обратный переход электрона сопровождается характеристическим излучением. *Тормозное* излучение с непрерывным (сплошным) спектром возникает в результате "постепенного" торможения в материале анода электронов разных энергий, испускаемых катодом. Кинетическая энергия электрона у поверхности анода равна:

$$E = e \cdot U,$$

где e - заряд электрона ($e = 1{,}602 \cdot 10^{-19}$ Кл.); U - анодное напряжение трубки, В.

Из курса элементарной физики кинетическая энергия E тела, обладающего массой "m", равна:

$$E = \frac{mV^2}{2},$$

где m - масса электрона; V - скорость электрона в м/с.

На основании выше приведённых зависимостей можно записать:

$$E = \frac{mV^2}{2} = e \cdot U,$$

тогда средняя скорость электронов, тормозящихся на аноде, будет равна:

$$V = \sqrt{\frac{2eU}{m}} = 6 \cdot 10^5 \sqrt{U}\,.$$

Если анодное напряжение $U = 10^4$ В, то средняя скорость электронов $V = 6 \times 10^7$ м/с= 216×10^6 км/ч=0,2 скорости света.

На основании ранее полученной зависимости $E = h\frac{c}{\lambda}$ и зависимости $E = e \cdot U$, соответственно приравняв их можно показать, что:

$$\lambda = \frac{h \cdot c}{e \cdot U},$$

т.е., с увеличением анодного напряжения U длина волны λ уменьшается, что приводит к изменению спектрального состава и повышению максимальной энергии непрерывного спектра - проникающая способность излучения возрастает.

Если рентгеновское излучение возникает в результате торможения быстролетящих электронов, то γ - излучение является результатом ядерных превращений и возникает при переходе ядра из одного энергетического состояния в другое.

Электромагнитная энергия излучается не непрерывно, а определенными порциями, квантами (фотонами). Фотоны не несут электрического заряда, следовательно, они не отклоняются ни электрическим, ни магнитным полями.

Таким образом, γ - излучение подчиняется тем же законам, что и рентгеновское.

2.1. Источники ионизирующего излучения для радиационной дефектоскопии сварных соединений

При определенной ситуации, в результате естественной или искусственной радиоактивности, при бомбардировке атомов направленным пучком электронов энергия атомов может проявляться в виде всевозможных видов излучений, в том числе потока протонов, позитронов α, β^-, γ, x, n - излучений. По тем или иным причинам, например, в результате недолговечности, позитроны, малой проникающей способности - а-частицы оказались малопригодными для дефектоскопии. Наиболее удобными в этом отношении для использования в радиационной дефектоскопии оказались x, γ, n - нейтроны и b - излучения. Чтобы использовать эти виды излучения, необходимо иметь источник излучения.

На рис.2 приводится классификация основных источников ионизирующих излучений.

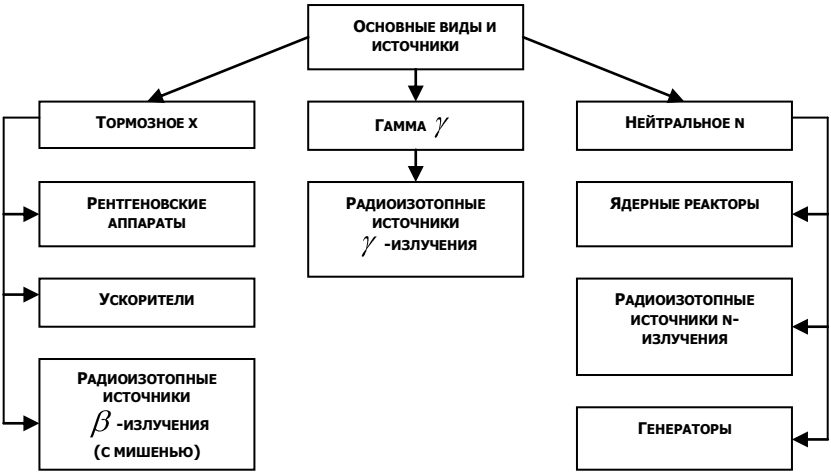


Рис.2. Классификация основных источников ионизирующих излучений

2.2. Отечественные рентгеновские аппараты

Рентгеновские аппараты для промышленной дефектоскопии - важнейшие приборы неразрушающего контроля. Возможности этих аппаратов следующие:

- широкое регулирование энергии излучения;
- малые размеры оптического фокуса;
- большая интенсивность излучения;
- безопасность работ по ремонту и наладке в сравнении с γ - источниками;
- большая маневренность.

Все это обеспечивает преимущественное применение промышленных аппаратов в народном хозяйстве.

В настоящее время в промышленности для рентгеновского просвечивания материалов, деталей и изделий широко используют аппараты с напряжением от 10 до 400 кВ. Однако появление новых материалов и конструкций заставляет расширить этот диапазон напряжений. Так, работа с алюминиево-магниевыми сплавами, высокопрочными пластмассами, материалами очень малых толщин (менее 0,5 мм) требуют применения рентгеновских аппаратов с напряжением менее 10 кВ.3.

Появление крупногабаритных конструкций, толстостенных деталей, изготовляемых из специальных сплавов, включающих значительные добавки тяжелых компонентов, наоборот, требуют изготовление высоковольтных рентгеновских аппаратов, надежных в эксплуатации, с плавной регулировкой напряжения на рентгеновской трубке.

Итак, рассмотрим, какие же рентгеновские аппараты существуют (рис.3).

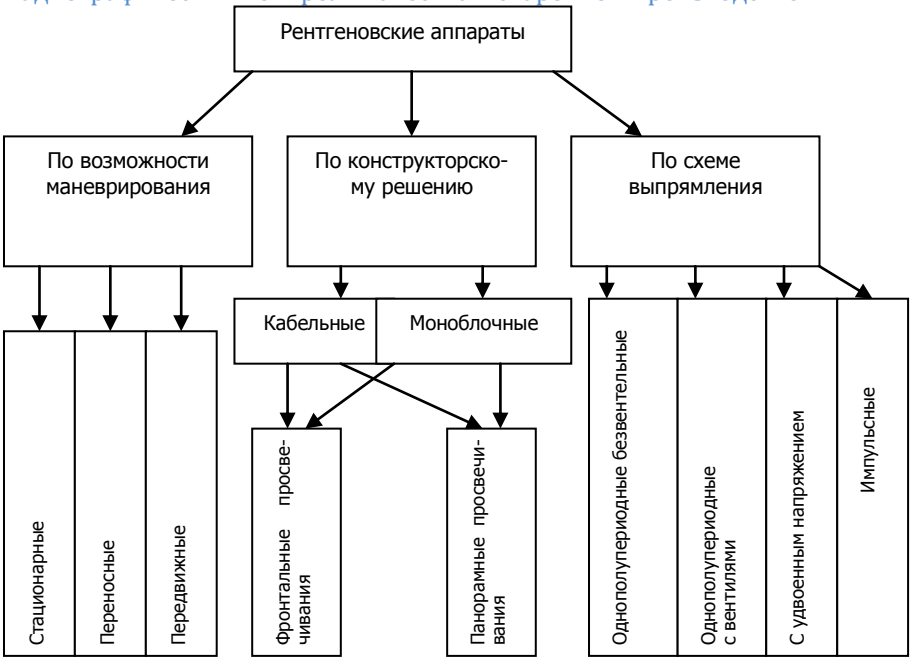


Рис. 3. Классификация рентгеновских аппаратов

Рентгеновские промышленные аппараты по основному назначению и условиям эксплуатации представляют собой группу технологических изделий, объединенных общими требованиями к их функциональным характеристикам:

- напряжению U на входе трубки;
- току I рентгеновской трубки;
- размерам эффективного рабочего пятна трубки;
- массе и габаритам излучателя;
- степени автоматизации выбора экспозиции;
- маневренности штатива.

Блок-схема любой рентгеновской кабельной установки состоит из: пульта управления, высоковольтной части аппарата, высоковольтного кабеля, излучателя, в котором установлена рентгеновская трубка (рис.4). Рассмотрим несколько подробнее каждый из узлов.

Рис.4. Блок-схема кабельной рентгеновской установки

Рентгеновская трубка - это электровакуумный высоковольтный прибор, предназначенный для генерирования рентгеновского излучения путем бомбардировки анода пучком электронов, ускоренных приложенным к электродам трубки напряжением.

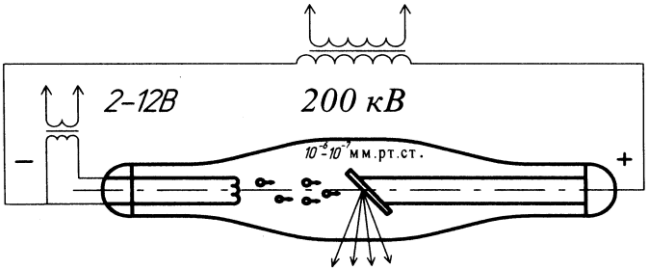


Рис.5. Схема получения рентгеновского излучения в электронной трубке

Простейшая рентгеновская трубка (рис.5) состоит из запаянных в стеклянный баллон катода и анода. Разряжение в баллоне достигает $10^{-6} \div 10^{-7}$ мм рт. ст. По краям баллона на фиксированном расстоянии друг от друга закреплены катодные и анодные узлы. Катод служит источником электронов, анод – мишенью для их торможения.

Катодный узел (рис.6) изготавливается в виде спирали из вольфрамовой проволоки (0,2-0,3мм), размещенной в специальном фокусирующем цилиндре, называемым электронной пушкой.

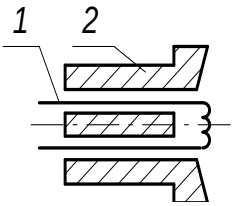


Рис.6. Катодный узел: 1-спираль, 2-катодная чашечка

Направляющиеся от катода к аноду электроны имеют наименьшую скорость непосредственно вблизи катода. Поэтому конст-

рукция катодной чашечки (пушки), в которой расположена спираль катода и глубина расположения в ней спирали определяют форму электрического поля вблизи нити накала и в основном траекторию полета электронов в межэлектродном пространстве.

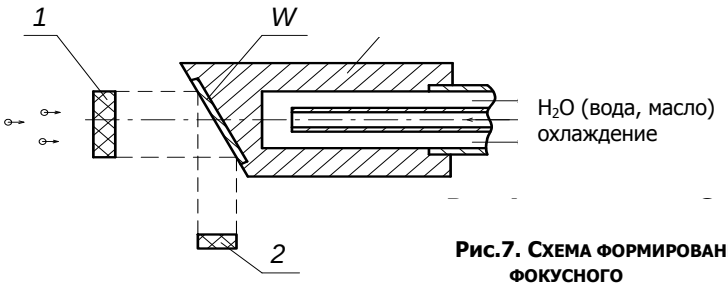


Рис.7. Схема формирования фокусного пятна на анодном узле: 1 –

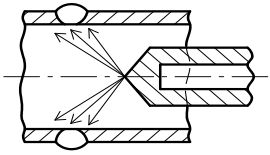


Рис.8. Схема панорамного

Анодный узел (рис.7) представляет собой массивный медный стержень с напаянной на него пластинкой из тугоплавкого металла, например, вольфрама W. Вольфрам W имеет очень высокую температуру плавления (3400°С) и низкую упругость паров при больших температурах. *Вольфрамовая мишень позволяет получать высокую интенсивность рентгеновского излучения и подводить к аноду больше мощности.*

Оптические свойства рентгеновской трубки определяются формой и размерами оптического фокуса трубки. В настоящее время, как правило, применяют трубки с круглым или прямоугольным фокусами. Различают действительные и эффективные фокусные пятна рентгеновских трубок (см. рис.7).

Действительное фокусное пятно – это сечение, в котором анод рентгеновской трубки пересекается с электронным потоком. *Эффективное* фокусное пятно – это проекция действительного фокусного пятна на плоскость, перпендикулярную выбранному направлению Х-излучения. Обычно это направление совпадает с направлением центрального луча излучения, проходящего через центр выходящего окна.

Рассматриваемая конструкция анода позволяет получить направленный пучок рентгеновских лучей. При контроле сварных со-

единений кольцевых швов иногда бывает удобно и необходимо использовать панорамное просвечивание (рис.8). Это позволяет сразу за один прием получить рентгеновский снимок всего кольцевого шва, что способствует производительности процесса.

Для панорамной съемки используют трубки с вынесенным полым анодом (рис.9).

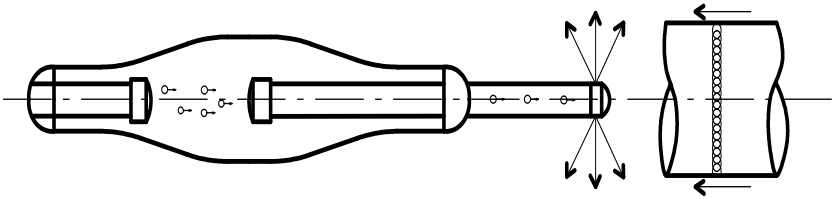


Рис.9. Трубка с вынесенным полым анодом

Рентгеновский излучатель - представляет собой рентгеновскую трубку с кожухом, служащим для защиты от излучения и высокого напряжения (рис.10).

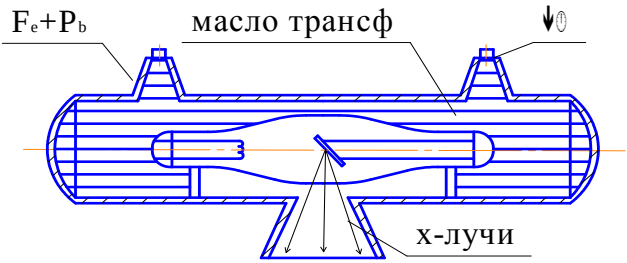


Рис.10. Схема рентгеновского излучателя

Внутренняя поверхность кожуха покрыта листовым свинцом Pb. Внутренний объём кожуха заполнен маслом. Масло от насоса поступает сначала в полость анода, а оттуда в защитный кожух, омывая рентгеновскую трубку. Для выхода Х-излучения в кожухе имеется специальное окно, закрытое материалом, слабо поглощающим мягкое излучение ($\leq$30 кВ), например, пластиной из бериллия.

Высоковольтный рентгеновский кабель. Представляет собой упругий стержень, в центре которого находятся 2 или 3 концентрических жилы, по которым передаются анодный ток и ток накала рентгеновской трубки. Здесь же, в центре - основная резиновая изоляция, далее противокоронный слой, резина, металлическая защитная оплетка и внешняя оболочка. Кабель рассчитан на пульсирующее напряжение 150 - 200кВ. Диаметр кабеля 20÷45 мм, длина - 5÷15 метров.

Высоковольтная часть рентгеновской установки. Рассмотрим типовые электрические схемы цепи высокого напряжения.

Однополупериодная безвентильная схема (рис.11) - наиболее простая.

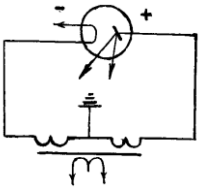


Рис.11. Однополупериодная безвентильная схема

Рентгеновская трубка подключается непосредственно ко вторичной обмотке высоковольтного трансформатора, средняя точка которого заземлена. Вентиль отсутствует. Трубка генерирует рентгеновские лучи лишь в полупериоды, когда потенциал на аноде положительный, а на катоде отрицательный.

Существенный недостаток схемы - падение напряжения на трубке в рабочий полупериод и возможность обратного тока в холостой полупериод. Достоинство - простота схемы.

В *однополупериодной одновентильной схеме* (рис.12) ко вторичной обмотке трансформатора последовательно с трубкой подключен вентиль. Под высоким напряжением находятся только катод трубки. Анод заземлен. Вентиль предназначен для получения выпрямленного высокого напряжения, подведенного на трубку. Генерирование рентгеновского излучения происходит в течение положительного полупериода на аноде трубки.

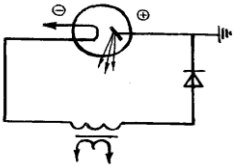


Рис. 12. Однополупериодная одновентильная схема

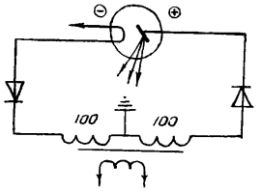


Рис.13. Однополупериодная двухвентильная схема

Однополупериодная двухвентильная схема (рис.13) представляет собой сдвоенную одновентильную схему.

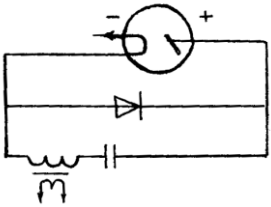


Рис.14. Схема удваивания напряжения

В этой схеме вместо последовательного включения двух одинаковых трансформаторов по 100 кВ используют один трансформатор, у которого средняя точка вторичной обмотки заземлена. Каждая обмотка рассчитана на 100 кВ. Один вентиль включен в анодную часть, другой - в катодную. К трубке приложено напряжение 200 кВ. Генерирование рентгеновского излучения происходит в течение положи-

тельного полупериода на аноде трубки.

Схему удваивания напряжения (рис.14) применяют, когда необходимо получить напряжение 200-300 кВ. Трансформаторы (высоковольтные) на напряжение выше 100-150 кВ не изготовляют.

Новым в этой схеме является применение высоковольтного конденсатора, включенного последовательно со вторичной обмоткой трансформатора и рентгеновской трубкой. Вентиль включен параллельно рентгеновской трубке, но в обратном направлении. Такая схема позволяет получить напряжение, вдвое превышающее максимальное напряжение трансформатора.

Работа схемы состоит из двух чередующихся циклов. Во время отрицательного полупериода на аноде трубки через вентиль заряжается конденсатор до максимального напряжения трансформатора. С приходом положительного полупериода на анод напряжение конденсатора суммируется с напряжением трансформатора и подается на электроды рентгеновской трубки. Таким образом на трубку подается примерно удвоенное напряжение трансформатора.

Аппаратура управления. Пульт управления располагается на лицевой части тумбочки управления, чаще всего на крышке. На пульте имеются ручки регулировки накала трубки, высокого напряжения, размера фокуса. Измерительные приборы показывают силу тока I в мА, напряжение U в кВ. Реле времени также располагается на крышке пульта и служит для задания экспозиции просвечивания. Здесь же располагаются выключатели высокого напряжения, выключатели сети. Внутри тумбочки расположены низковольтные элементы - контакторы, трансформаторы управления схемы блокировок и.т.п. Аппаратура управления с помощью кабеля соединяется с высоковольтной частью аппарата.

Кабельные рентгеновские аппараты. Стационарные и передвижные, рентгеновские аппараты применяются в условиях заводских и цеховых специализированных лабораториях при контроле стационарных сварных деталей и на потоке конвейера. Отечественная промышленность выпускает несколько типов кабельных рентгеновских аппаратов типа РУП (рентгеновская установка промышл.). Однако, наиболее совершенными являются два передвижных аппарата РУП-150/ЗОО-10 и РУП-150-10, из которых первый является базовым.

Рентгеновский аппарат РУП-150-10. Применяется при просвечивании материалов в условиях лаборатории или цеха с t°C от +10° до +35° при относительной влажности 70%. Аппарат работает по схеме удваивания с заземленным анодом.

Питание высоковольтного трансформатора производится через автотрансформатор с плавной регулировкой. Предусмотрено два диапазона плавной регулировки напряжения: от 35 до 80кВ; от 70 до

150кВ. Переключение диапазонов высокого напряжения производится пакетным выключателем на пульте управления. Он же выключает накал рентгеновской трубки.

В аппарате предусмотрены блокировки и автоматические устройства, не позволяющие включать высокое напряжение и автоматически отключающие его при нарушении охлаждения трубки и в случае перегрузки трубки.

В комплекте аппарата РУП-150-10 предусмотрены два защитных кожуха для рентгеновских трубок. Рассмотрим конструктивное исполнение кожухов.

Кожухи заполняются трансформаторным маслом. Температурные изменения трансформаторного масла компенсируются с помощью резиновых маслорасширителей. Охлаждение анода водяное, непосредственно от водопроводной сети. Применение в аппарате РУП-150-10 двух видов рентгеновских трубок расширяет возможности просвечивания им различных материалов и сварных изделий как из легких сплавов, так и из плотных материалов.

Трубка типа 1,5 БПВ 7-150 (безопасная, промышленная, водоохлаждаемая) с заземленным вынесенным анодом. Угол раствора рабочего пучка излучения 360'К 30. Размер эффективного фокусного пятна 5 мм позволяет контролировать качество кольцевых сварных швов, цилиндрических полых тел и т.п. Просвечиваемая толщина стали до 40 мм.

Трубка 0,3 БПВ -150 острофокусная с заземленным анодом. Угол раствора рабочего пучка излучения 55°. Размер эффективного фокусного пятна 0,3-1,4 мм. Просвечиваемая толщина до 40 мм. Повышает интенсивность рентгеновского излучения, уменьшает экспозицию, повышает производительность.

Рентгеновский аппарат РУП-150/300-10. Функциональные возможности аппарата расширены по сравнению с аппаратом РУП-150-10 в связи с тем, что к аппарату РУП 150/300-10 дополнительно придается защитный кожух с трубкой типа 2,5БММ-250. Угол раствора рабочего пучка излучения 40. Размер эффективного фокусного пятна 4 мм. Просвечиваемая толщина до 60 мм. Напряжение на электродах трубки достигает 250 кВ, поэтому анод трубки охлаждается принудительно маслом. В связи с этим в конструкции РУП 150/300-10 имеется дополнительный узел с емкостью для масла и масляным насосом. В емкости масло охлаждается через змеевик проточной водой. Высоковольтное генераторное устройство аппарата состоит из двух элементов: катодного и анодного. Катодный элемент идентичен генераторному устройству типа РУП-150-10. Анодный элемент конструктивно отличается от катодного лишь отсутствием накального трансформатора и последовательностью соединения селеновых выпрямителей для получения высокого напряжения положи-

тельной полярности. Для питания рентгеновской трубки типа 2,5 БПМ-250 на 250 кВ эти элементы соединяются последовательно. Аппарат РУП-150/300-10 обеспечивает плавную регулировку напряжения в пределах: от 35 до 150 кВ, от 70 до 300 кВ. Аппараты РУП-150-10, РУП 150/300-10 относятся к категории лучших образцов отечественного производства, просты и надежны в эксплуатации и пользуются большим спросом.

Моноблочные рентгеновские аппараты. Моноблок - высоковольтное генераторное устройство, объединяющее в заполненном изоляционной жидкостью или газом металлическом корпусе рентгеновскую трубку, трансформатор накала и источник высокого напряжения для питания рентгеновской трубки.

Отечественные моноблочные аппараты выпускаются на напряжение от 60 - 120 кВ (РУП-120-5) до 400 кВ (РУП-400-5).

Качество рентгенографии хуже, чем у кабельных аппаратов. Достоинство в мобильности. Подробно конструкцию моноблочных аппаратов рассмотрим на примере РУП-200-5.

Рентгеновский моноблочный аппарат РУП-200-5. Аппарат (рис.15) предназначен для просвечивания в лабораторных, цеховых и полевых условиях при температуре воздуха от -10 до +30°С. Аппарат работает по безвентильной полуволновой схеме с заземленной средней точкой.

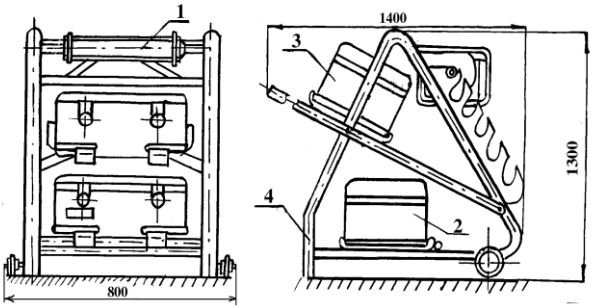


Рис.15. Рентгеновский моноблочный аппарат РУП-200-5: 1 – моноблок;

На пульте имеются органы управления и контрольно-измерительные приборы. Регулируют рабочее напряжение вручную с помощью вариатора.

В моноблоке размещены рентгеновская трубка 0,7БПГДЗ-200, высоковольтный и накальный трансформаторы, насос для принудительной циркуляции масла, змеевик для охлаждения масла водой, маслорасширители и микровыключатель, выключающий главную цепь в случае нагрева масла до температуры выше 60°С.

Штатив - тележка предназначена для перевозки и установки моноблока в позицию для просвечивания на высоту от пола от

400 до 1200мм (с шагом 100 мм). Конструкция штатива и моноблока обеспечивают возможность поворота моноблока вокруг продольной оси с фиксацией в любом положении.

Рентгеновская трубка типа 0,7БПМЗ-200 питается от переменного напряжения. Угол раствора рабочего пучка излучения $40°$. Размер эффективного фокусного пятна 2х2 мм. Просвечиваемая толщина стали 60 мм.

Рентгеновский аппарат РУП 120-5-1. Выполнен аналогично аппарату РУП-200-5-2. Аппарат РУП-120-5-1 снабжен трубкой типа 0,4БПМ2-120. Угол раствора пучка излучения $40°$. Размер эффективного фокусного пятна 2х2 мм. Просвечиваемая толщина стали до 20 мм.

2.3. Конструктивные особенности рентгеновских аппаратов зарубежных фирм

Передовые зарубежные фирмы в области электроаппаратостроения ФРГ, США, Англия, Япония и др. развивают производство рентгеновской аппаратуры в двух направлениях:

1) создание кабельных и моноблочных аппаратов;

2) с целью расширения области применения и повышения чувствительности аппаратов фирма (ФРГ) выпускает передвижные и переносные аппараты с трубками, имеющими размер фокального пятна 1,0; 1,5 мм.

С этой же целью в аппаратах фирмы (Англия) предусмотрены тубусные диафрагмы, применение которых в значительной степени уменьшает отрицательное воздействие вторичного излучения на пленку.

Большое внимание уделяется трубкам с вынесенным анодом для панорамного просвечивания. Аппараты многих фирм отличаются большой маневренностью. Наметилась тенденция к уменьшению веса моноблочных аппаратов.

Интересна конструкция передвижного блочного аппарата типа NEOMAX -300(Англия) на 300 кВ, 8мА. Аппарат питается от мотор - генератора переменного напряжения частотой 400 Гц. Это позволило снизить вес трансформатора на 65,5 кг по сравнению с таким же трансформатором на 50 Гц.

Изолирующей средой является газ под давлением (2,5 атм.) Большим успехом следует считать создание фирмой (США) аппарата MXR-150 на 150 кВ, 7 мА, моноблок которого имеет массу 15 кг (моноблок РУП-120-5-1 масса 45кг). В значительной мере это обусловлено новой, разработанной фирмой металлокерамической трубкой и применением тока с переменным напряжением 1000Гц.

Иностранные фирмы стремятся приблизить качество изображения моноблочных аппаратов к кабельным. Так, фирма Trakus (BHP) в аппаратах типа MXR-150 предварительно выпрямленное сетевое напряжение предложила преобразовывать в напряжение 500 Гц почти прямоугольной формы, что явилось дополнительным преимуществом этих аппаратов. Спектр излучения при питании трубки прямоугольными импульсами приближается к спектру излучения при постоянном напряжении на трубке.

С целью более точной установки анода рентгеновской трубки относительно контролируемого участка изделия аппараты фирмы снабжены специальными компараторами, которые световым пучком имитируют выходной пучок рентгеновского излучения. Одним из интересных решений является применение на некоторых стационарных и передвижных аппаратах дополнительно алюминиевого фильтра (7мм). Это обеспечивает повышенную чувствительность при контроле тонкостенных изделий.

2.4. Источники ионизирующих излучений на базе ускорителей

В виду низкой энергии γ - квантов рентгеновских источников излучения (от единиц до сотен килоэлектронвольт (кэВ) предел толщин просвечиваемых деталей ограничен, так как при их просвечивании нерационально возрастает время просвечивания. Для источника с определенной энергией излучения существует предельная толщина контролируемого изделия, выше которой контроль практически невозможен.

Для дефектоскопии изделий большой толщины и сложной формы применяют источники тормозного излучения с энергией до нескольких десятков МэВ. Такими источниками излучения являются линейные ускорители, микротроны.

Бетатрон. Циклический ускоритель электронов (рис.16). Действие его основано на законе электромагнитной индукции, согласно которому вокруг изменяющегося во времени магнитного потока образуется вихревое электрическое поле, напряженность которого определяется скоростью изме-

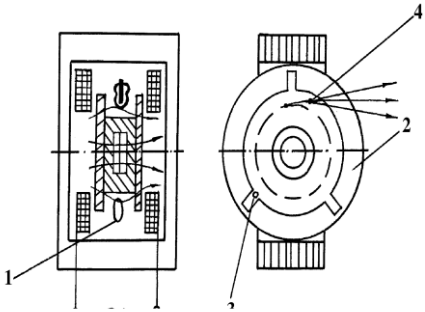


Рис. 16. Схема бетатрона:
1 – камера;
2 – электромагнит;
3 - электронная пушка:

нения магнитного потока. Электроны в бетатроне ускоряются по замкнутой орбите постоянного радиуса под действием силы ческого поля.

Энергия электрона увеличивается до тех пор, пока электрическое вихревое поле не изменит своего направления. По условиям применения бетатроны подразделяют на транспортабельные (передвижные и переносные) и стационарные. Важными характеристиками ускорителя являются размеры фокусного пятна и пространственное распределение мощности экспозиционной дозы излучения в рабочем пучке. Размеры фокусного пятна определяют геометрическую нерезкость. В отличие от рентгеновских аппаратов, линейных ускорителей и микротронов размеры фокусного пятна на мишени бетатрона малы и составляют доли квадратного мм.

Линейный ускоритель. Принцип действия линейного ускорителя (рис.17) электронов основан на том, что электроны ускоряются с помощью электромагнитной волны под действием электрического поля. Линейный ускоритель выполнен в виде вакуумной цилиндрической ускорительной камеры 1 с фокусирующим электромагнитом 2, расположенным на поверхности цилиндра. Высокочастотный генератор 3 обеспечивает получение в волноводе 4, размещенном в камере 1, бегущей электромагнитной волны, электрическое поле которой направлено по оси волновода. Электроны, инжектируемые пушкой 5, ускоряются электрическим полем бегущей волны. Затем ускоренные электроны попадают на мишень 6, в которой возникает тормозное излучение.

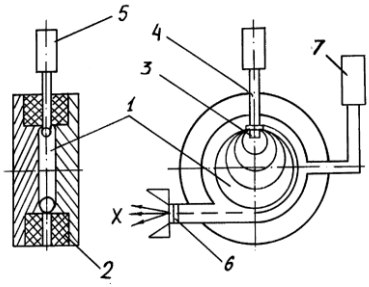


Рис.18.Схема микротрона:
1 – камера;
2 – электромагнит;
3 – резонатор;
4 - электронная пушка;
5 – мишень;
6 - вакуумный насос;
7 - волновод

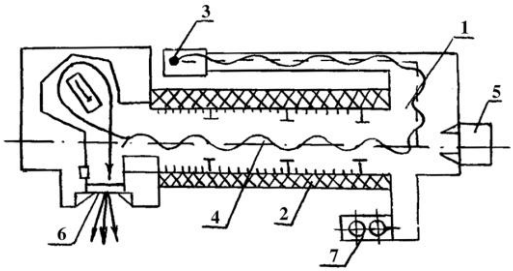


Рис .17. Схема линейного ускорителя: 1–камера;
2–электромагнит;
3 – генератор бегущей электромагнитной волны;
4 – волновод;
5 – электронная пушка;
6 – мишень;
7 – вакуумный насос

Преимущество линейных ускорителей состоит в большой интенсивности тормозного излучения. Так, линейные ускорители с энергией 10-25 МэВ создают тормозное излучение, мощностью экспозиционной дозы 2000-25000 р/мин на расстоянии 1 м от мишени. Создан ряд ускорителей с энергией 6-25 МэВ для промышленной дефектоскопии и радиационных процессов.

Микротрон. Циклический ускоритель (рис.18) с переменной кратностью ускорения. В микротроне частицы движутся в постоянном и однородном магнитном поле. Ускорение происходит под действием переменного электрического поля постоянной частоты. Электроны, находящиеся в вакуумной камере, движутся по орбитам - окружностям, имеющим общую точку касания. В этом месте расположен резонатор, сверхвысокочастотное поле которого ускоряют электроны. Микротрон выполнен в виде ускорительной цилиндрической камеры 1 с фокусирующим электромагнитом 2. Высокочастотный генератор 3 инжектирует электроны, которые по волноводу 7 направляются в центр ускоряющего промежутка резонатора 3. Электрон, попадающий в камеру, под действием магнитного поля начинает двигаться по круговой орбите, испытывая каждый раз ускорение при попадании в зону ускоряющего электрического поля, создаваемого резонатором. При каждом ускорении радиус движения электрона увеличивается и в конце цикла ускорения он попадает на мишень 5, в которой возникает тормозное излучение. Мощность экспозиционной дозы при 12 МэВ для микротрона составляет на расстоянии 1 м 3000 р/мин.

Основное преимущество микротрона - в большой интенсивности излучения. От бетатрона микротрон выгодно отличает его значительно меньшие размеры, дешевизна и простота.

2.5. Радиоизотопные источники излучения

В настоящее время для дефектоскопии применяют исключительно искусственно изготовленные радиоактивные изотопы. Радиоактивные изотопы являются активной частью источника излучения. Их помещают в герметизированные ампулы. Ампулы могут быть заваренными, завальцованными и на резьбе.

Радиоизотопные источники γ - излучения. Представляют собой ампулы, заполненные γ - активным изотопом. Источники можно разделить на следующие группы:

- высокоэнергетические $^{54}Mn, ^{60}Co \geq 0,8$ МэВ;

- среднеэнергетические $^{192}\mathrm{Ir}, ^{137}\mathrm{Cs}$ от 0.3 до 0,8 МэВ;

- низкоэнергетические $^{170}\mathrm{Tm}, ^{75}\mathrm{Se} \leq 0,3$ МэВ.

Радиоизотопные источники тормозного излучения. Представляют собой ампулы, заполненные β^-- активным изотопом и материалом мишени. Испускаемое изотопом β^-- излучение взаимодействует с мишенью и возбуждает тормозное излучение с непрерывным спектром. В качестве мишени используют графит, Al, Mn и др. Изменяя мишени от одного и того же источника, можно получить тормозное излучение с различной максимальной энергией непрерывного спектра.

Радиоизотопные источники быстрых нейтронов. Применяют при нейтронной дефектоскопии, так как с их помощью можно получить поток тепловых нейтронов, пригодных для контроля. Для этого быстрые нейтроны пропускают через замедлитель, выполненный из легких элементов. При пропускании быстрых нейтронов через замедлители получают тепловые нейтроны, интенсивность которых в 1000 раз меньше интенсивности быстрых нейтронов из источника.

Ядерные реакторы. Служат источником в основном тепловых нейтронов для радиационной дефектоскопии. Тепловые нейтроны получаются в результате замедления нейтронов деления, образующихся в активной зоне реактора. Энергия нейтронов составляет от нескольких кэВ до 18 МэВ. В результате замедления в графите нейтроны деления снижают свою скорость до скорости теплового движения атомов замедлителя. При этом потоку нейтронов сопутствуют интенсивное γ - излучение.

Для получения проведения нейтронной дефектоскопии в зоне реактора устанавливают канал-коллиматор. Коллиматор со стороны, примыкающей к замедлителю, снабжают диафрагмой для регулирования размеров пучка нейтронов и фильтром из свинца (Pb) для уменьшения вредного влияния γ - излучения на результаты контроля.

Контролируемое изделие и детектор размещают в непосредственной близости от диафрагмы. Для обеспечения радиационной безопасности персонала, работающего на реакторе, вокруг коллиматора сооружают защитную камеру, внутри которой при просвечива-

нии находятся изделия и детектор.

Генераторы нейтронов. Представляют собой ускорители заряженных частиц, под действием которых мишень ускорителя генерирует потоки быстрых нейтронов. В качестве ускоряемых частиц в них применяют ядра дейтерия, а в качестве мишени тяжелую воду, тритий, бериллий, литий. На рис.19 представлена классификация гамма-аппаратов.

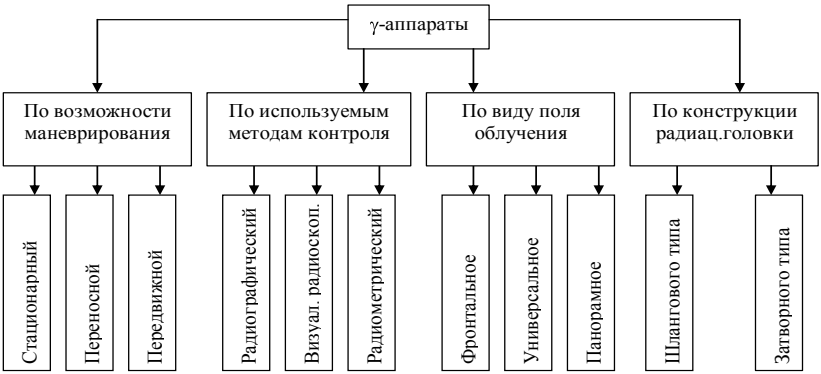
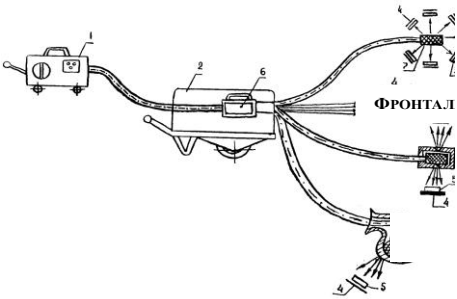


Рис.19. Классификация гамма-аппаратов

2.6. Гамма-дефектоскопы

Гамма-аппараты предназначены для контроля качества материалов и изделий. Применяют их в тех случаях, когда по техническим или экономическим причинам применение рентгеновских аппаратов нецелесообразно или вообще невозможно. Например, для просвечивания деталей в полевых условиях и непосредственно в машинах при ограниченных подходах к объекту контроля, при отсутствии на месте работ электроэнергии, для работы вблизи взрыво и пожароопасных объектов и др.

Гамма-дефектоскоп шлангового типа. Дефектоскоп шлангового типа (рис.20) представляет собой конструкцию, состоящую из привода 1, связанного с помощью тросопровода с тележкой 2, на которой установлена радиационная головка 6. С помощью ампуловода 3 возможно перемещение радиактивной ампулы к коллиматору 7. Это позволяет получить панорамное, фронтальное или объёмное (без коллиматора) излучения.



Пространственное (объемное) просвечивание группо-вых

Панорамное

Фронталь-

Рис.20. Блок-схема универсального шлангового дефектоскопа: 1 – привод; 2 – тележка; 3 – ампулопровод; 4 – плёнка; 5 – деталь; 6 - радиационная головка; 7 - коллимирующая головка

Конструкция радиационной головки. Радиационные головки имеют свинцовую или вольфрамовую (Pb, W) защиту, обеспечивающую снижение мощности дозы излучения на расстоянии 1 м от источника, находящегося в положении хранения, до предельного допустимой дозы 2,8 мр/ч и менее. *Головка шлангового типа* (рис.21) с перемещаемым источником имеет внутри криволинейный канал - лабиринт, в котором держатель источника 2 фиксируется в положении хранения специальным замком 3. После открытия замка источник может быть перемещен в два рабочих положения: к выходному окну головки (фронтальное просвечивание конусным пучком излучения) или за пределы ее (панорамное просвечивание). Перемещение источника может осуществляться ручным (с тросом), электрическим, пневматическим приводами, а управление затвором-электроприводом.

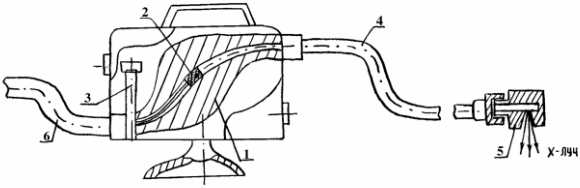


Рис.21. Конструкция радиационной головки дефектоскопа шлангового типа:
1 - блок защиты; 2 - держатель источника излучения; 3 – замок; 4 – ампулопровод; 5 – коллиматор; 6 - шланг для соединения с пультом управления

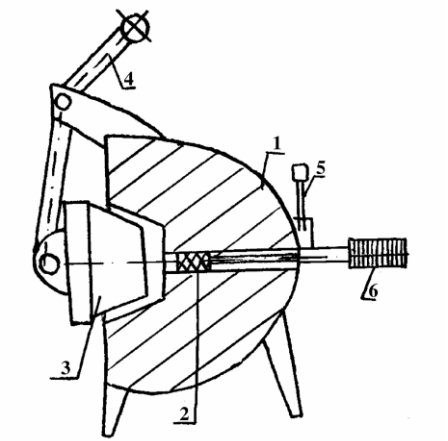


Рис.22. Конструкция радиационной головки дефектоскопа затворного типа:
1 - блок защиты; 2 - патрон с источником излучения; 3 – затвор;
4 - ручка управления затвором; 5 – замок; 6 - рукоятка для выдвижения

Головка затворного типа (рис.22) имеет затвор, дистанционно открываемый и закрываемый при выпуске и перекрытии пучка излучения. Перемещение источника осуществляется ручным, электрическим или пневматическим приводами.

2.7. Отечественные гамма-аппараты

Гамма-дефектоскоп "Газпром". Предназначен для контроля сварных стыковых соединений трубопроводов. Он состоит из радиационной головки с источником ^{137}Cs (цезий), перезарядного контейнера и дистанционного ручного привода управления длиной 5 м. Этот дефектоскоп широко применяется в газовой промышленности для контроля качества сварных соединений магистральных трубопроводов путем их просвечивания через две стенки.

Гамма-дефектоскоп "Магистраль" ("Трасса"). Предназначен для контроля качества сварных стыковых соединений трубопроводов в процессе монтажа и эксплуатации. Просвечивание можно производить изнутри через одну стенку или через две стенки.

Гамма-дефектоскоп "Магистраль-1". Предназначен для контроля сварных соединений магистральных трубопроводов диаметром 1620 мм и с толщиной стенки до 40мм. Он комплектуется реперным источником ^{137}Cs. Электромеханический привод дефектоскопа обеспечивает перемещение радиационной головки внутри трубопровода на расстояние до 1,5 км.

2.8. Гамма-аппараты зарубежных фирм

В отличие от рентгеновских аппаратов конструкции гамма - аппаратов, выпускаемые зарубежными фирмами, более однотипны и отличаются друг от друга лишь некоторыми элементами, связанными с манипулированием источником излучения в зависимости от номенклатуры контролируемых изделий, а также с толщиной защиты, определяемой энергией и активностью используемого источника.

Для контроля качества сварки в труднодоступных местах пара трубопроводов в ФРГ выпускают переносные гамма - установки WK-S-3, WK-S-4. Конструкции этих установок позволяют просвечивать объекты направленным пучком и осуществлять панорамное просвечивание. Эти установки являются рабочими и хранение в них источников излучения по окончании работ не предусмотрено.

Представляет интерес гамма-установка TuRMCo (ФРГ), предназначенная для работы с источником ^{60}Co. По выбору можно использовать изотопы ($^{192}Ir, ^{137}Cs, ^{170}Tm$) всех активностей, практически применяемые для просвечивания материалов. Установка легко транспортируется на тележке с двухметровым дышлом, обеспечивая безопасные условия при транспортировке.

Пневматический телеуправляемый манипулятор МЗ-3 предназначен для Co, Cs, Ir источников, МЗ-3 для работы с источником ^{60}Co. В соответствии с длиной пневматических шлангов дальность управления может быть практически любой -несколько десятков метров. Конструкция манипуляторов позволяет проводить массовый контроль деталей.

Голландские, бельгийские и датские фирмы выпускают гамма - аппараты для источников излучения ^{60}Co и ^{192}Ir. Для работы радиоактивный источник излучения перемещается в контейнере по 5-образному каналу, а затем по препаратопроводу на расстояние до 15 м к месту контроля. Бельгийская фирма Balteam выпускает аппарат переносной затворного типа марки "BOMBER-500". Конструктивно эта установка мало чем отличается от установок, изготовленных в Дании и Голландии. Аппарат "Picker-490" (США) передвижного типа смонтирован на тележке и представляет собой прямоугольный контейнер и барабан с тросовым управлением и препаратоводом длиной 7,5 м.

Аппарат Panatron передвижного типа предназначен для просвечивания стали толщиной от 20 до 300 мм. Аппарат представляет собой шаровидный контейнер на оси двухколесного ската с пневматическими шинами, снабжен тросом управления и препаратопрово-

дом. Аппарат данного типа может поставляться в модификации для подвеса его на поворотной крановой балке.

2.9. Методы радиационного контроля

На рис.23 представлена классификация методов радиационного контроля по типу индикатора.

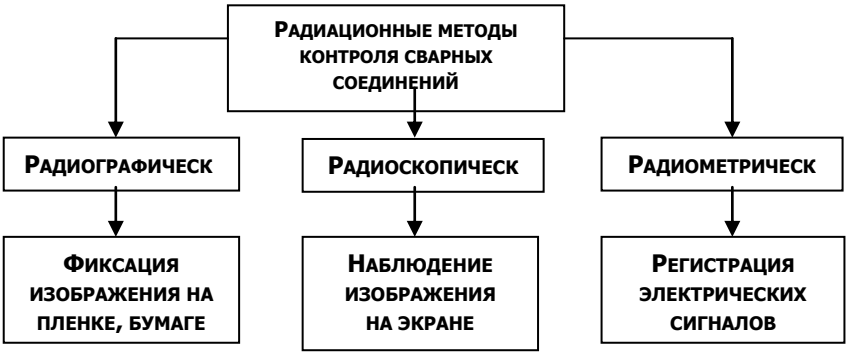


Рис.23. Классификация методов радиационного контроля по типу индикатора

Промышленная радиография. Метод получения на детекторах статического видимого изображения внутренней структуры изделия, просвечиваемого ионизирующим излучением. На практике этот метод наиболее распространен в связи с его простотой и документальным подтверждением получаемых результатов.

В зависимости от используемых детекторов различают пленочную радиографию и ксерорадиографию (электрорадиографию). В первом случае детектором скрытого изображения служит фоточувствительная пленка; при ксерорадиографии детектором служит полупроводниковая пластина, в качестве регистратора используют обычную бумагу.

Промышленная радиоскопия. Метод получения на экране видимого динамического изображения внутренней структуры изделия, просвечиваемого ионизирующим излучением. Чувствительность этого метода несколько меньше, чем радиографии. Области применения радиоскопии в промышленности непрерывно расширяются.

Радиометрическая дефектоскопия. Метод получения информации о внутреннем состоянии контролируемого изделия, просвечиваемого ионизирующим излучением, в виде электрических сигналов. Этот метод обеспечивает наибольшие возможности автоматической обратной связи контроля и тех- нологического процесса изготов-

ления изделия. По чувствительности этот метод не уступает радиографии.

2.10. Методы регистрации и измерения ионизирующего излучения

Прибор для регистрации и измерения обычно состоит из детектора и измерительной аппаратуры. Детектор представляет собой чувствительный элемент, в котором энергия ионизирующего излучения вследствие взаимодействия с веществом преобразуется в другой вид энергии, удобный для регистрации.

Измерительная аппаратура состоит обычно из:

- регистрирующего устройства;
- усилителя;
- источника питания.

Методы дозиметрии рентгеновского излучения. В дозиметрии рентгеновского излучения для количественной и качественной оценки излучения используют различные эффекты, вызываемые излучением в облучаемом веществе. Существуют следующие эффекты, возникающие при облучении:

- ионизационный,
- калориметрический,
- химический,
- фотографический,
- сцинтилляционный,
- полупроводниковый.

Эти эффекты используют в различных установках и приборах для измерения ионизирующих излучений.

Ионизационный метод. Ионизационный метод основан на способности рентгеновского излучения производить ионизацию в облучаемой среде. Ионизация создается главным образом электронами, освобожденными излучением при его взаимодействии с атомами облучаемого вещества. В качестве детектора излучения при ионизационных методах дозиметрии используется ионизационная камера.

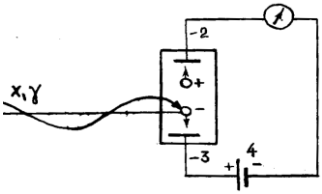


Рис.24. Схема ионизирующей камеры: 1 - металлический баллон (камера); 2,3 – электроды; 4 - источник питания; 5 - измерительный прибор

Ионизационная камера (рис.24) – прибор (конденсатор), состоящий из двух пластин, пространство между которыми заполнено газом (воздухом). При попадании в камеру излучения в

ней образуются пары - ион-электрон, которые под действием электрического поля перемещаются к соответствующим электродам. Для регистрации слабого ионизационного тока на выходе камеры в приборах высокой чувствительности обычно имеются усилительные устройства.

Детектирование α, β - частиц ионизационными камерами происходит за счет непосредственной ионизации этими частицами газа в камере; детектирование γ -квантов обусловлено в основном вторичными электронами, освобождаемыми при взаимодействии этого излучения со стенками камеры. Для детектирования потока нейтронов, которые непосредственно не ионизируют газ, в материал камеры или газ, наполняющий объем камеры, вводят добавки (кадмий Cd, бор Br), обеспечивающие ядерную реакцию, в результате которой образуются заряженные частицы.

Калориметрический метод. Калориметрический метод основан на измерении количества тепла, выделяемого в облучаемом веществе под действием излучения. При полном поглощении рентгеновского излучения количество выделяемого тепла пропорционально поглощаемой энергии излучения.

Температуру поглощающего излучения тепла измеряют термисторами очень высокой чувствительности, обеспечивая полную тепловую изоляцию.

Химический метод. Основан на количественной оценке химических изменений, происходящих в облучаемом веществе под действием излучения. Выход радиационно-химических реакций оценивают числом молекул, атомов, ионов, претерпевающих изменения или образующихся на 100эВ энергии, поглощенной в химической дозиметрической системе. В настоящее время имеется целый ряд химических дозиметрических систем, из которых распространение получили ферросульфатная и цериевая.

Фотографический метод. Фотографический метод основан на фотографическом действии рентгеновского излучения, т.е. на его способности вызывать почернение в облучаемых фотоматериалах.

Оптическая плотность почернения пленки

$$S = \lg \frac{I_0}{I},$$

где I_0 - интенсивность видимого света, падающего на пленку; I - интенсивность света, прошедшего через нее.

Плотность почернения пленки измеряется денситометрами; она зависит от экспозиции, или произведения интенсивности излучения на время облучения. При постоянном качественном соста-

ве излучения экспозиция прямо пропорциональна дозе излучения.

Сцинтилляционный метод. Сцинтилляционный метод основан на возникновении вспышек света (сцинтилляций) в некоторых веществах - сцинтилляторах - при поглощении ионизирующих излучений. Возникновение сцинтилляций связано с тем, что при взаимодействии электронов, образованных ионизирующим излучением, с веществом сцинтиллятора, возбужденные и ионизированные атомы возвращаются в нормальное состояние с испусканием видимого - света.

В качестве сцинтилляторов используют люминофоры ZnS, CdS, $CdWO_4$; кристаллы NaI - активированные Tl (теллуром); сцинтилляторы - антрацен, нафталин и др.

Для регистрации световых вспышек используют фотоэлектронные фотоумножители (ФЭУ) с регистрирующей электронной схемой (рис.25).

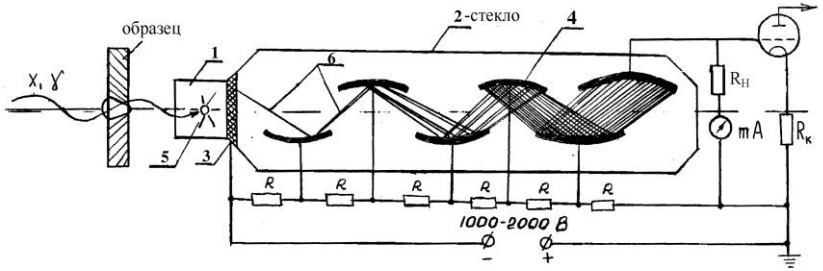


Рис.25. Схема сцинтилляционного счетчика: 1 – сцинтиллятор; 2 - фотоэлектронный умножитель (ФЭУ); 3 – фотокатод; 4 - электроды-умножители (диноды); 5 – фотоны; 6 – фотоэлектроны; R_H – нагрузочное сопротивление; R_K – катодное сопротивление

Для питания ФЭУ используют стабилизированное высоковольтное напряжение 1000-2000В. При попадании ионизирующего излучения сцинтиллятор 1 испускает фотоны 5 видимого света в виде отдельных вспышек. Под воздействием этих фотонов с катода ФЭУ вырываются фотоэлектроны 6, которые электрическим полем направляются на диноды. Здесь они (фотоэлектроны) в результате вторичной эмиссии электронов усиливаются. Общий коэффициент усиления ФЭУ может составлять $10^5 \div 10^9$. Выходные значительные импульсы тока регистрируются электронной аппаратурой. Амплитуда импульса тока пропорциональна интенсивности излучения, падающего на сцинтиллятор.

К достоинствам сцинтилляторных счетчиков относятся:

1) высокая чувствительность к рентгеновскому излучению и

ко всем видам ядерных излучений (до 100% - α и β и до 50÷90% рентген и γ -излучений;

2) большая разрешающая способность 10^{-9} сек;

3) способность различать частицы по энергии и измерять её.

Недостатки:

1) наличие шумов фона, снижающих разрешающую способность ФЭУ;

2) зависимость амплитуды импульса от скорости счета;

3) явление "утомления" динодов - это сокращает срок службы ФЭУ;

4) зависимость коэффициента усиления ФЭУ от напряжения на динодах.

Полупроводниковый метод. Находит широкое применение в дозиметрии. При облучении в полупроводниковых детекторах возникает ток, по величине которого можно определить мощность дозы излучения, воздействовавшего на детектор. Механизм ионизации в полупроводниках под действием излучения аналогичен ионизации в ионизационных камерах.

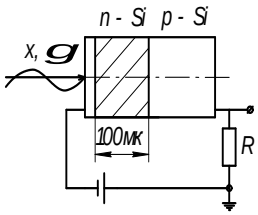


Рис.26. Схема полупикового

Если на полупроводниковый детектор (кремний или германий), обладающий, например, n--p переходом, попадают ионизирующие частицы или γ - кванты, то в его чувствительной области (непосредственно в области объемного заряда n–p перехода) возникают пары электрон – дырка, подобно парам электрон - ион в ионизационной камере (рис.26) .

Число образованных электронов и дырок пропорционально энергии, потерянной излучением в чувствительной области детектора. При приложении запорного напряжения в цепи счетчика протекает ток, аналогичный ионизационному. Этот ток значительно больше тока ионизационной камеры, так как тормозящая способность x,g-излучений твердого вещества в сотни раз больше тормозящей способности газа. При этом на образование пары электрон-дырка затрачивается меньше энергии, чем на образование пары электрон-ион.

Счетчики с полупроводниковыми детекторами широко используют для регистрации α, β - частиц и γ - квантов, а также регистрации нейтронов и других частиц высоких энергий, испускаемых при ядерных реакциях.

2.11. Приборы для измерения ионизирующего излучения

Основными приборами для измерения рентгеновского излучения являются дозиметры. Дозиметрическим прибором или дозиметром называется прибор для измерения ионизирующих излучений, измеряющий перенос и передачу энергии излучением. По виду измеряемой величины дозиметры разделяются:

на измеритель дозы - дозиметр, измеряющий экспозиционную или поглощенную дозу ионизирующего излучения;

на измеритель мощности дозы - дозиметр, измеряющий мощность экспозиционной или поглощенной дозы ионизирующего излучения;

на интенсиметр - дозиметр, измеряющий интенсивность ионизирующего излучения;

на универсальный прибор для измерения ионизирующих излучений - прибор для одновременного или последовательного измерения нескольких величин, характеризующих различные виды и параметры ионизирующих излучений.

В зависимости от используемых методов дозиметрии различают следующие основные виды дозиметров:

- ионизационные;
- калориметрические;
- сцинтилляционные;
- полупроводниковые;
- химические;
- фотохимические.

Рассмотрим некоторые из них.

Ионизационные дозиметры. Детектором ионизационных дозиметров является ионизационная камера, содержащая два (или более) электрода, между которыми приложено постоянное напряжение, обеспечивающее измерение ионизационного тока в режиме тока насыщения в камере. Ионизационный ток, возникающий в камере под действием рентгеновского излучения, усиливается и регистрируется микро- или миллиамперметром или выводится на цифровой отсчет (рис.27).

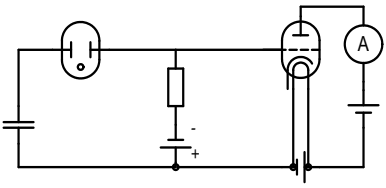


Рис.27. Принципиальная схема измерителя мощности дозы

Сила тока в камере пропорциональна энергии излучения, поглощенной в единицу времени в газе, заполняющим камеру, что позволяет отградуировать прибор в единицах мощности экспозиционной дозы.

Дозиметр типа ДК-50 предназначен для измерения интегральной (суммарной) дозы излучения при индивидуальном дозиметрическом контроле в лабораторных и полевых условиях. Диапазон измерений от 0 до 50 р. Саморазрядка дозиметра за 24 часа не более 10%. Нормальное условие работы для дозиметра - 40÷50°С. Относительная влажность 98%. В комплект индивидуального дозиметрического контроля входят зарядное устройство ЗДМ-1 и 55 дозиметров ДК-50.

Приборы подобные этому выпускают различные фирмы ФРГ, США. Существуют дозиметры, позволяющие измерять дозы и мощности дозы типа ИДМД-1. Это более совершенный прибор, имеющий сменные ионизационные камеры, снабжен контрольным β - источником, прибор переносной.

Сцинтилляционные дозиметры. Детекторами сцинтиляяционных дозиметров являются сцинтилляторы Cs (Te), Na (Te), сцинтиллирующие пластмассы. Возникающие под действием излучения сцинтилляции вызывают появление фототока на катоде умножителя, находящегося в оптическом контакте со сцинтиллятором.

Сила фототока, возникающая в фотоумножителе, пропорциональна мощности дозы излучения. Ток на катоде фотоумножителя усиливается с помощью усилителя постоянного тока и регистрируется микроамперметром.

Выпускаются дозиметры со сцинтилляционными детекторами ДРРЗ-02 и ДРГЗ-03 ("Аргунь"), ДРГ-3О1 ("Араке"), ДРГЗ-04("Катунь").

Фотопленочный дозиметр ИФК. Предназначен для измерения доз рентгеновского β и γ - излучений, а также для контроля дозы облучения нейтронами. Диапазон энергий х и γ - излучений $20\text{кэВ} \div 3\text{МэВ}$. Диапазон измеряемых доз 0,01-50р. Детектором излучения является рентгеновская пленка типа РМ-5-1; РМ-5-3, находящаяся в специальной упаковке и помещенная в кассету, которая снабжена булавкой для крепления ее к одежде.

Корпус кассеты разделен на четыре секции. При этом три секции имеют разные фильтры для определения эффективной энергии излучения. Комплект индивидуальных дозиметров ИФК позволяет производить индивидуальный дозиметрический контроль облучения персонала, работающего с рентгеновским излучением.

Методика индивидуального фотоконтроля (ИФК) основана на сравнении оптической плотности почернения экспонированных и контрольных пленок, подвергшихся облучению с определенной дозой излучения. Фотометрирование пленок осуществляется на денситометре, шкала которого отградуирована в единицах плотности почернения.

Глава 3. РАДИОГРАФИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕНТГЕНОВСКОЙ ПЛЕНКИ

3.1. Основные требования к качеству рентгеновского или γ -негатива

Выявляемость дефектов при контроле с использованием рентгеновской пленки зависит от качества негатива. Качество негатива определяется:

- оптической плотностью;
- контрастностью;
- резкостью (четкостью) изображения.

Оптическая плотность различных участков изображения на негативе должна находиться в диапазоне 1,2÷1,8 единиц.

Контрастность негатива - это резкость в почернении наиболее темного и светлого участков изображения. Наименьшая контрастность, воспринимаемая глазом, составляет 0,02 единицы оптической плотности.

Резкость изображения на негативе определяется шириной переходной зоны от одной плотности почернения к другой. Граница перехода от изображения дефекта к окружающему фону должна быть резкой, четкой. Ширина переходной зоны (нерезкость) должна составлять не более 0,2 мм.

Качество негативов оценивается с помощью эталонов чувствительности (рис.28) Чувствительность радиографических методов, определяемую наименьшим размером выявляемого дефекта в направлении просвечивания, обычно выражают по отношению к толщине просвечиваемого материала:

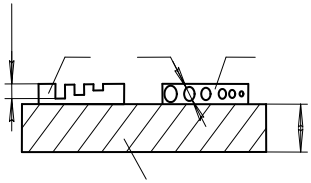


Рис.28. Виды эталонов чувствительности: 1 - эталон пластинчатый; 2 - эталон проволочный; 3 - просвечиваемая деталь

$$S = \frac{\Delta h \cdot 100}{d + h}\,(\%); \qquad S = \frac{d_0 \cdot 100}{d + d_o}\,(\%),$$

где Δh - глубина наименьшей видимой канавки пластичного эталона; h - толщина пластинчатого эталона; d_o - диаметр наименьшей видимой проволоки проволочного эталона; d - толщина кон-

тролируемого металла в месте установки эталона.

Эталон чувствительности (пластинчатый или проволочный) помещают на контролируемый участок детали при её просвечивании со стороны источника излучения.

Для стали наивысшая чувствительность рентгенографического метода составляет 1,5 ÷ 3 % от просвечиваемой толщины, а гамма-графического 2 ÷ 4 %.

Основные факторы, влияющие на качество снимка

Чтобы получить снимок высокого качества и обеспечить требуемую чувствительность методов просвечивания, необходимо учитывать взаимосвязанные факторы, влияющие на резкость и контрастность изображения - это:

1) геометрические условия просвечивания - фокусное пятно источника излучения, фокусное расстояние, поле облучения и расстояние между пленкой и деталью (дефектом);

2) характеристики пленок, флуоресцирующих усиливающих экранов и условия фотообработки пленки;

3) интенсивность рассеянного излучения и принимаемые меры защиты пленки от этого излучения;

4) размеры, форму и вид дефекта и его расположение относительно направления потока излучения;

5) жесткость излучения, толщину и плотность просвечиваемого материала;

6) применение металлических фильтров и компенсаторов.

Первые три фактора (1,2,3) влияют преимущественно на резкость изображения, а остальные три (4,5,6) больше на контрастность, причем факторы 2,3,4 одновременно влияют на резкость и контрастность.

Общая нерезкость негатива складывается:

$$H = H_г + H_с + H_р,$$

где $H_г$ - геометрическая нерезкость; $H_с$ - собственная(внутренняя) нерезкость пленки; $H_р$ - нерезкость от рассеянного излучения.

3.2. Геометрические условия просвечивания

Геометрическую нерезкость (Нг), связанную с линейными размерами фокусного пятна источника излучения «Ф» , расстоянием «b» от дефекта до плёнки и фокусным расстоянием «F» можно определить по формуле:

$$H_г = \frac{b \cdot Ф}{a} = \frac{b \cdot Ф}{F - b}.$$

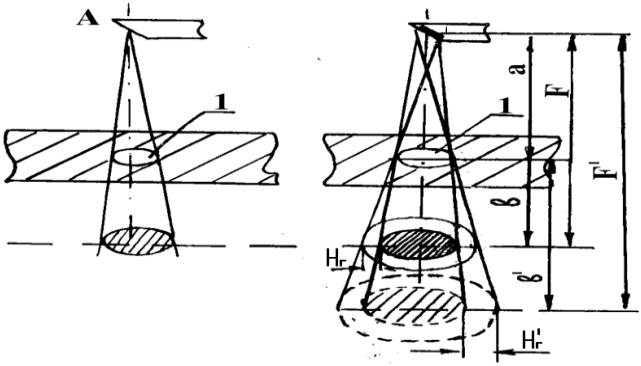


Рис.29. Схема влияния фокусного расстояния и расстояния от дефекта до пленки на резкость изображения: А – точечное пятно; Б – линейное пятно; Ф – линейный размер пятна; F – фокусное расстояние; а – расстояние от фокуса источника излучения до дефекта; в – расстояние от дефекта до пленки; Нг – геометрическая нерезкость изображения дефекта; Нг' - ВОЗРАСТАЕТ ПО МЕРЕ УВЕЛИЧЕНИЯ РАССТОЯНИЯ В'

Из приведенной формулы и рис.29 можно заключить, что геометрическую нерезкость можно уменьшить применением источников излучения с меньшим линейным размером фокусного пятна, уменьшением расстояния между деталью (дефектом) и пленкой и увеличением фокусного расстояния.

Если расстояние от дефекта до пленки велико (контролируемый объект имеет большую толщину или пленку нельзя приложить вплотную к поверхности контролируемого участка), то изображение дефекта получается увеличенным (см. рис.29) с размытыми краями. Чрезмерное увеличение фокусного расстояния с целью уменьшения нерезкости ведёт к увеличению экспозиции. Это снижает производительность контроля и может привести к ухудшению качества снимка в результате продолжительного действия на эмульсию рассеянного излучения. При работе на рентгеновских аппаратах фокусное расстояние F можно рассчитать по формуле:

$$F = K_з \cdot b' + b',$$

где b' - расстояние между верхней поверхностью просвечиваемого участка и кассетой (с пленкой); $K_з = \frac{a'}{b'}$ - коэффициент, зависящий от размера фокусного пятна трубки (a' - расстояние от пятна трубки до детали).

Оптимальное фокусное расстояние определяем по таблице.

Например, для аппарата РУП-200-5 трубка 0,7БПМ-200 2х2мм эффект $F \rightarrow K_з = 12$.

3.3. Характеристика пленок, флуоресцирующих усиливающих экранов и условия фотообработки пленок

Пленка любого типа имеет собственную нерезкость (H_c), обусловленную пробегом электронов, которые образуются в эмульсионном слое под действием излучения. Чем больше жесткость излучения, толщина слоя эмульсиии и зернистость пленки, тем больше H_c.

Флуоресцирующие усиливающие экраны по сравнению с пленкой имеют большую зернистость и в результате сильно рассеянного излучения флуоресценции снижают резкость изображения (H_c для пленки с экраном составляет от 0,3 до 0,8 мм). Поэтому не рекомендуется применять флуоресцирующие экраны в тех случаях, когда можно получить снимок нормальной плотности при экономически допустимых выдержках (5-10 мин.) без экранов.

При рентгеноконтроле их целесообразно применять для просвечивания деталей из стали толщиной >d=12 мм меди (Cu) – 8 мм, алюминиевых сплавов (Al) – 40 мм, магниевых (Mg) – 60 мм. Эффективная зернистость пленки определяется также составом проявителя и временем проявления. Увеличение скорости и времени проявления пленок по сравнению с рекомендованными заводом-изготовителем приводит к увеличению зернистости, а следовательно, нерезкости изображения.

3.4. Рассеянное излучение и меры защиты от него

Рассеянное излучение, исходящее от контролируемого объекта и окружающих предметов (стол, пол, стены и т.п.), может попадать на пленку под различными углами и вуализировать ее, снижая тем самым резкость и контрастность изображения дефектов. Если не принимать никаких мер защиты пленки от этого излучения, то качество снимка может настолько ухудшиться, что на нем не будут видны даже относительно крупные дефекты.

Отрицательное воздействие рассеянного излучения на качество изображения можно снизить следующим образом:

1) выбрав оптимальное анодное напряжение или γ - излучение, исходя из свойств материала и толщины детали, при которых не образуется интенсивное беспорядочно рассеянное излучение;

2) поместив пленку при зарядке её в кассету между двумя металлическими экранами (Pb, Sn, Cu), толщину которых выбирают в зависимости от энергии излучения;

3) ограничив зону облучения длиной детали с помощью диафрагм, коллиматоров или свинцовых листов;

4) установив свинцовые листы непосредственно за кассетой для защиты от рассеянного излучения, идущего со стола, пола, окружающих предметов.

3.5. Размеры, форма и вид дефекта и его расположение относительно просвечивания

Хорошо раскрытые и глубокие дефекты, имеющие прямолинейные границы на снимке выявляются лучше, чем округлые дефекты (поры, раковины), что объясняется различием резкости и контрастности изображения. Трещины очень трудно выявлять методом просвечивания, если неизвестно направление их распространения в глубь металла.

3.6. Жесткость излучения, толщина и плотность просвечиваемого материала

Наибольшая чувствительность метода обеспечивается при просвечивании плотных материалов небольшой толщины с использованием мягкого излучения и высококонтрастной пленки. С увеличением энергии излучения и толщины просвечиваемого материала растет фактор накопления вуализации пленки, следовательно, снижается чувствительность.

3.7. Применение фильтров и компенсаторов

При просвечивании деталей, имеющих переходы от тонких сечений к толстым, получаются очень контрастные негативы. Изображение тонких частей получается слишком темным, а толстых частей - слишком светлым.

Для того чтобы получить качественный снимок деталей с большим перепадом толщин, принимают следующие меры:

- проводят просвечивание при более высоких напряжениях по сравнению с оптимальными;
- у окна защитного кожуха или радиационной головки устанавливают металлические фильтры;
- пользуются менее контрастными пленками (РМ-1 или РМ-2 без усиливающего флуоресцирующего экрана);

- применяют две пленки с различной чувствительностью и плотностью почернения;
- применяют специальные компенсаторы.

Назначение металлических фильтров - отфильтровать мягкое излучение и получить более жесткое излучение.

Применение компенсаторов в сочетании с фильтрами позволяет почти полностью сгладить разницу в почернении негатива при просвечивании деталей с большим перепадом толщин за одну экспозицию.

Компенсаторы - подкладки из материала детали, дополняющие сечение, мелкая дробь, металлические опилки, мастика (смесь сурина с воском и т.п.), водные растворы хлористого или йодистого бария.

3.8. Выбор источника излучения

Источник излучения выбирают в зависимости от толщины и плотности контролируемого материала. При выборе рентгеновских пленок нужно исходить из того, что лучшее качество снимка обеспечивается пленками 1 и 2 классов (РТ-4, РТ-5). Чувствительность пленки повышается соответственно переходу от 1 к 4 классу.

Экспозиция - это величина, характеризующая степень облучения рентгеновской пленки в процессе радиографирования. Она равна произведению интенсивности излучения на время просвечивания. Так как интенсивность излучения определяется током на катоде трубки при данном напряжении на аноде (или активностью радиоактивного источника) в зависимости от толщины просвечиваемого материала, то экспозиция изменяется либо в миллиампер - метрах (миллиампер - секундах) в рентгенографии или в грамм-эквивалентах радия, умноженных на часы (минуты) в гаммаграфии.

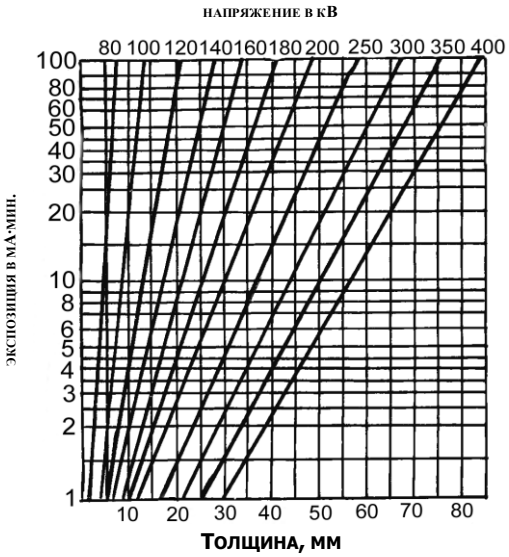


Рис.30. Номограмма для определения экспозиции

Наиболее простой способ варьирования экспозиции в небольших пределах - это изменение времени просвечивания или, как говорят иногда, продолжительности экспозиции.

Экспозиции определяют по номограммам (рис.30), которые построены для определенного рентгеновского аппарата, определяемого материала, заданной пленки, заданного фокусного расстояния, определенного типа экрана.

При использовании пленок других типов время просвечивания определяют по формуле:

$$t = K \cdot t_0,$$

где t_0 - время, найденное по графику экспозиций; K-переходный коэффициент, определяемый по справочным таблицам.

При просвечивании деталей с фокусными расстояниями, отличающимися от приводимых на номограммах, время просвечивания приближенно можно определить по формуле:

$$t = t_0 \frac{F^2}{F_0^2},$$

где t и t_0 - время просвечивания соответственно при выбранном фокусном расстоянии F и указанном на графике F_0.

Точно также с помощью пересчетов можно переходить от материалов одной плотности к другой, от одних экранов к другим и т.п. В последнее время при массовом контроле деталей находят применение экспонометры, основанные на полупроводниковых кристаллах. Приборы имеют позиции для различного вида пленок и перед просвечиванием настраиваются на экспозиционную дозу, обеспечивающую оптимальную плотность снимка. После сообщения этой дозы прибор автоматически выключает источник излучения.

Глава 4. ТЕХНИКА РАДИОГРАФИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

Технику радиографического контроля сварных швов рассмотрим на примере радиографии трубопроводного транспорта.

Швы, подлежащие контролю, размечают на отдельные участки, длина которых зависит от формата применяемой радиографической плёнки, затем маркируют несмывающейся краской, обеспечивающей сохранность маркировки до сдачи трубопровода под изоляцию. Достаточна одна метка, которая соответствует началу мерительного пояса или рулонной плёнки в следующих случаях:

при использовании вспомогательных мерительных поясов со свинцовыми цифрами, обеспечивающими перенос изображения длины шва на снимки;

при панорамном просвечивании на рулонную плёнку с получением изображения контролируемого шва на одном снимке.

На каждом участке шва, подвергаемом радиографическому контролю, закрепляют эталоны чувствительности, имитаторы (если это необходимо) и свинцовые знаки.

Для определения чувствительности радиографического контроля используются проволочные, канавочные и пластинчатые эталоны чувствительности, форма и размеры которых установлены ГОСТ 7512 - 82.

Для маркировки радиограмм следует использовать маркировочные знаки в виде цифр и букв русского или латинского алфавитов, а также дополнительные знаки в виде стрелок, тире и т.п., изготовленные из материала, обеспечивающего получение их чётких изображений на радиографических 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 плёнки, соответствующее направлению, указанному стрелкой на стыке;

шифр (характеристика) объекта;

номер стыка;

номер плёнки;

шифр (клеймо) сварщика или бригады;

шифр дефектоскопа, осуществляющего просвечивание стыка.

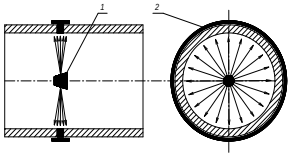


Рис.31. Схема панорамного просвечивания: 1 – источник излучения; 2 – рентгеновская пленка

Изображение на снимке маркировочных знаков должно

быть чётким и не накладываться на изображение сварного шва.

При панорамном просвечивании кольцевых швов трубопроводов за одну установку источника излучения изображение эталонов чувствительности может располагаться в любой части снимка по его длине. Аналогично эталонам чувствительности должны быть размещены имитаторы.

При панорамном просвечивании кольцевых швов (рис.31) трубопроводов на рулонную радиографическую 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.

Ширина околошовной зоны (ОШЗ) при радиографии должна быть при толщине стенки трубы:

- до 5мм., не менее 5мм;
- от 5 до 20мм., не менее δ ;
- свыше 20мм., не менее 20мм.

При малых диаметрах труб, когда панорамное просвечивание невозможно, производят просвечивание через две стенки.

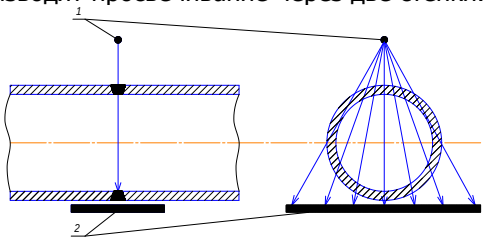


Рис.32. Схема фронтального просвечивания через две стенки за одну установку источника без его смещения относительно сварного шва:
1 – источник излучения; 2 – рентгеновская пленка

Рекомендуется при диаметрах труб от 18 до 28 мм производить съемку в «лоб» (рис.32), а для диаметров от 32 до 76 мм на «эллипс» (рис.33). При этом угол между направлением излучения и плоскостью сварного шва должен быть минимальным и в любом случае не превышать $45°$.

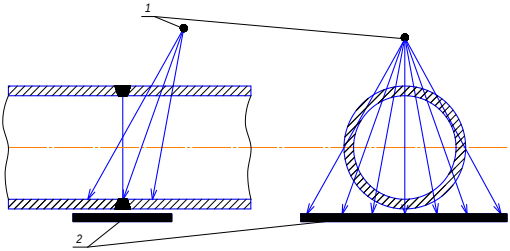


Рис.33. Схема фронтального просвечивания через две стенки:
1 – источник излучения; 2 – рентгеновская пленка

При экспонировании на «эллипс» фокусное расстояние F (расстояние от источника излучения до рентгеновской пленки) для данных диаметров определяют по формуле

$$F = f_{min} + D,$$

где D – диаметр трубы;

$$f_{min} \geq 2 \cdot C \cdot D \geq \frac{2\Phi}{K} \cdot D,$$

здесь $C = \frac{\Phi}{K}$; Ф – размер фокусного пятна, мм; К – требуемая чувствительность контроля, мм.

Ориентировочно фокусное расстояние можно определить как $F = 15D$.

Для выше приведенных диаметров количество контролируемых участков для одной трубы должно быть не менее 2.

При экспонировании на «эллипс» при $F \approx 300$ мм труб диаметром от 42 до 159 мм количество снимаемых участков сварного шва не менее 4, для диаметров от 159 мм и выше не менее 3.

Для труб диаметром 57, 76, 89, 108, 133, 159 мм при фокусном расстоянии F=300 м предпочтительной является схема (см. рис.33). При этом экспонируется не менее 4 участков сварного шва.

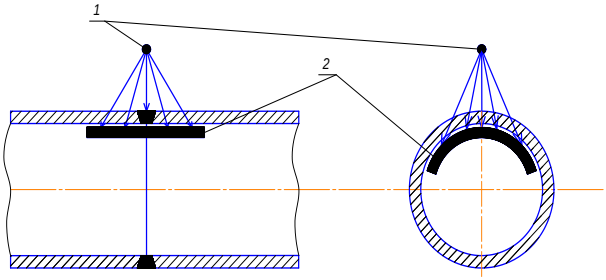


Рис.34. Схема просвечивания в «лоб» через одну стенку:
1 – источник излучения; 2 – рентгеновская пленка

Для труб диаметром 219, 273, 325 мм и выше при F=D+80 мм по схеме (рис.34) экспонируется не менее 4 участков сварного шва. При F = 500 мм для труб диаметром 219 мм и выше не менее 6 участков сварного шва.

С увеличением диаметра труб >219 мм, ранее предложенные схемы могут оказаться нерацио- нальными. В этом случае рацио-

нально использовать схему просвечивания через одну стенку (см. рис.34).

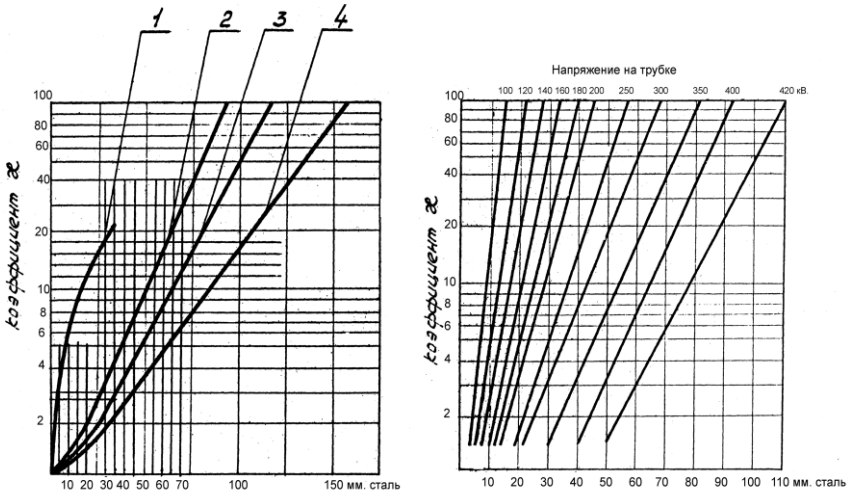
Длина снимков должна обеспечивать перекрытие изображений смежных участков сварных соединений при длине контролируемого участка до 100 мм и менее 0,2 длинн участка, при длине контролируемого участка свыше 100 мм – не менее 20 мм.

4.1. Выбор экспозиции при радиографировании

Вариант 1. Экспозиция t_0 при использовании радиоактивных изотопов для контроля сварных соединении определяется по формуле:

$$t = t_0 * \left(\frac{f + \delta + H}{F} \right)^2 * \frac{P_0}{P} * \chi ,$$

где t - величина экспозиции, мин.; t_0 - экспозиция, необходимая для получения заданной оптической плотности плёнки при нулевой толщине поглотителя, определяемого для данного типа плёнки и мощности изотопа опытным путем, мин.; f - расстояние от источника до поверхности сварного соединения, мм; δ - номинальная толщина сваренной детали, мм; P_0, P - мощность экспозиционной дозы источника излучения на расстоянии 1 метра при радиографическом контроле и при определении t_0 соответственно $\frac{\text{Ампер}}{\text{кг}}\left(\frac{\text{А}}{\text{кг}}\right)$ или $\frac{\text{Рентген}}{\text{с}}\left(\frac{\text{Р}}{\text{с}}\right)$; H - расстояние от плёнки до поверхности металла, мм; F - расстояние от источника излучения до плёнки при определении t_0 мм; χ - коэффициент, определяемый по номограмме, приведенной на рис.35.



а б

Рис.35. Номограмма для определения коэффициента χ при использовании излучения изотопов: 1 – тулий-170; 2 – иридий-192; 3 – цезий-137; 4 – кобальт-60 (а); номограмма для определения коэффициента χ при просвечивании рентгеновским аппаратом (б)

Вариант 2. Экспозиция при использовании рентгеновского излучения определяется как произведение анодного тока I рентгеновской трубки в миллиамперах на величину экспозиции $t_{эксп}$ в минутах по формуле:

$$I \cdot t_{эксп} = 90\chi * \frac{(f+\delta+H)^2}{S_{0,85\rho^{-1}}},$$

где I - ток трубки, мА; $t_{эксп}$ - величина экспозиции, мин.; χ - коэффициент, определяёмый по номограмме, приведенной на рис.35,б; *f*- расстояние от источника излучения до поверхности сварного соединения, м; δ - номинальная толщина сваренной детали, м.

Пример определения экспозиции при рентгенографии

Исходные данные. Стыковое сварное соединение (рис.36) листов толщиной $\delta = 8мм$, усиление шва $b = 2мм$, просадка корня шва $c = 2мм$.

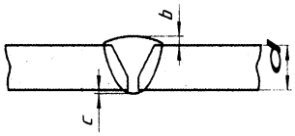


Рис.36. Стыковое соединение

Тип пленки:

$PT-1 \rightarrow S_{0,85\rho^{-1}} = 20 \div 30$; $D-4\ ACFA-CEVAERT\ S_{0,85\rho^{-1}} = 3,0$.

Тип кассеты - гибкая пластиковая 360×80. Усиливающие экраны Pb + Sn. Просвечиваемая толщина $\delta_{рентг} = \delta + b + c = 12мм$, F = 400мм. Длина облучаемого объекта

$$l = 0,8f = 0,8(F-\delta) = 0,8 \cdot (400-8) \approx 320мм.$$

Напряжение U = 120кВ, ток I = 4,5mA.

$$t_{эксп} = 90\chi * \frac{(f+\delta+H)^2}{I * S_{0,85\rho^{-1}}}$$

$$t_{эксп} = 90 \cdot 10 \cdot \frac{(0,392+0,008+0,001)^2}{4,5 \cdot 3} \approx 11 \text{ мин}$$

для D-4, для $PT \approx 1мин$.

4.2. Фотообработка рентгеновских снимков

Для получения рентгенограмм высокого качества необходимо тщательно соблюдать условия фотообработки рентгеновской пленки. Фотообработку пленки производят при неактивном освещении или в полной темноте. При нарезке пленки, зарядке кассет и фотообработке необходимо избегать облучения пленки видимым светом. Различные виды пленки обладают различной чувствительностью к видимому свету. Так, экранные пленки значительно более чувствительны к свету, чем безэкранные.

При обработке пленки в фотокомнате трудно избежать ее некоторого вуалирования. Степень вуалирования зависит от освещенности фотокомнаты, времени облучения и типа пленки. В фотокомнате следует иметь несколько фонарей, предназначенных для неактивного освещения различных типов пленки.

Если используются светофильтры, следует учитывать, что они со временем стареют и начинают пропускать значительно больше света. Для подбора и проверки нужного освещения необходимо контролировать пленку на наличие вуали. Для этого половину полоски, отрезанной от пленки, плотно завертывают в черную бумагу, затем укладывают эту полоску на рабочее место в фотокомнате и включают неактивное освещение на 2—4 мин. После этого освеще-

ние выключается, пленку вынимают из бумаги и подвергают стандартной фотообработке. Высушенную пленку рассматривают на негатоскопе или на листе белой бумаги. Если между закрытой и открытой частями пленки не наблюдается границы, освещение считается нормальным. Регулировка освещения достигается путем замены светофильтра, уменьшения интенсивности или времени работы с пленкой. Проверку качества неактивного освещения следует производить не реже двух раз в месяц.

Химикаты, используемые при фотообработке рентгеновской пленки, применяют в виде водных растворов. Характерная особенность растворов заключается в том, что в них при неизменной температуре и отсутствии испарения не образуются осадки, т. е. они остаются однородными и прозрачными.

Растворителем при получении растворов является вода. Вода, встречающаяся в природе, не бывает химически чистой. Растворенные в ней минеральные соли являются причиной жесткости воды. Временная жесткость устраняется кипячением, постоянная — дистилляцией. При дистилляции или кипячении воды удаляются также растворенные в ней газы. Соли и газы, растворимые в воде, могут взаимодействовать с применяемыми химикатами, в результате чего срок годности проявителя значительно сокращается. Вода, применяемая для приготовления растворов, должна быть совершенно чистой и прозрачной. При химической обработке рентгеновской пленки необходимо использовать дистиллированную воду.

Для приготовления растворов воду следует нагревать, поскольку в горячей воде увеличивается не только растворимость, но и скорость растворения химических веществ. Однако слишком горячая вода может привести к разложению некоторых химикатов. Вследствие этого температура воды, применяемая для растворения, недолжна превышать 50°С. Нагревание воды необходимо еще потому, что некоторые химические вещества, например, гипосульфит, при растворении поглощают тепло, что снижает температуру раствора.

Посуда для приготовления растворов должна быть чистой, совки должны быть изготовлены из нержавеющей стали, дерева или пластмассы. Нельзя применять железные или медные совки, так как даже незначительные следы меди, попавшие в проявитель, приводят к образованию вуали на рентгенограмме. Для каждого вида химиката необходимо применять отдельный совок.

При фотообработке в первую очередь проявляются облученные зерна бромистого серебра. В необлученных зернах содержатся небольшие скопления металлического и сернистого серебра, образующиеся при изготовлении чувствительной эмульсии. Они являются основой при формировании скрытого изображения, т. е. служат центрами светочувствительности. Чем больше в пленке таких центров,

тем больше ее светочувствительность. Под действием ионизирующего излучения происходит разложение бромистого серебра и вследствие этого увеличение количества металлического серебра в центрах светочувствительности. В центрах светочувствительности, накопивших определенное количество серебра, появляется возможность проявления.

4.3. Процесс проявления пленки

Процесс *проявления пленки* заключается в том, что содержащиеся в растворе проявляющие вещества, реагируя с галоидным серебром, превращают его в металлическое серебро. Металлическое серебро, образовавшееся в кристалле при облучении, служит катализатором в реакции восстановления серебра. Чем большая доза ионизирующего излучения действует на чувствительный слой, тем больше металлического серебра образуется в каждом кристалле и быстрее происходит проявление таких кристаллов.

Проявление осуществляется в специальном растворе - проявителе. Основной составной частью проявителя является вещество, которое восстанавливает серебро при взаимодействии с экспонированными зернами галоидного серебра. Эта реакция записывается следующим образом: AgBr + проявляющее вещество AgBr + продукты окисления +HBr. В качестве проявляющих веществ чаще других применяются метол и гидрохинон.

В случае использования гидрохинона проявление происходит медленно, однако оно дает хорошую проработку всей толщины эмульсии. Это обеспечивает удовлетворительную контрастность рентгенограммы. При проявлении с помощью метола процесс идет весьма быстро, однако прорабатываются главным образом поверхностные слои и слои с низкой контрастностью изображения. Для получения высокой контрастности и малой вуали при обработке рентгенограмм используют проявители, в которые входят одновременно метол и гидрохинон (табл.1).

Таблица 1.

Составы проявителей рентгеновских пленок

Номер проявителя	Масса, г.				
	Метол	Сульфат натрия кристаллический	Гидрохинон	Натрий углекислый кристалл	Калий бромистый
1	3,5	120	9,0	108	3,5
2	2,0	180	8,0	118	5,0
3	5,0	120	7,5	135	4,5
4	2,2	144	8,8	130	4,0

Реакция восстановления серебра в водных растворах этих веществ протекает крайне медленно. Для ускорения реакции в раствор

вводят щелочи: соду, поташ, едкий натр или едкий калий. Применение щелочи способствует размягчению эмульсии и ускоряет проникновение проявителя в глубинные слои эмульсии. Кроме того, щелочь взаимодействует с бромисто-водородной кислотой, которая вводится для стабилизации процесса проявления. В результате взаимодействия образуется бромистый калий или бромистый натрий. Уменьшение содержания бромисто-водородной кислоты способствует ускорению проявления и проявлению неэкспонированных зерен бромистого серебра. Это приводит к появлению вуали. Чтобы замедлить процесс образования вуали пленки, в проявитель вводят бромистый калий. При его добавлении скорость проявления несколько уменьшается. Скорость проявления неэкспонированных зерен уменьшается во много раз больше, чем экспонированных. Добавление щелочей, водных растворов метола и гидрохинона ускоряет этот процесс. Продукты окисления вызывают порчу проявителя. Они окрашивают пленку, значительно снижая ее контрастность. Для предотвращения этого явления в проявляющий раствор добавляют некоторое количество сульфата натрия, который легко соединяется с кислородом. Если в растворе находится сульфат натрия вместе с проявляющим веществом, например метолом, то кислород воздуха в первую очередь соединяется с ним, что предохраняет от окисления проявляющее вещество. Проявитель содержит четыре группы веществ: проявляющие, ускоряющие, консервирующие и антивуалирующие.

Химикаты при изготовлении проявителя растворяют в объеме воды, равном 2/3 количества приготовляемого раствора. Растворяют их поочередно, при этом каждый последующий добавляют после полного растворения предыдущего. После окончания растворения последнего химиката раствор разбавляют водой при температуре 20° С до получения полного объема проявителя и фильтруют.

Как видно из табл.1, в состав различных проявителей входят преимущественно одни и те же химические вещества в различных количествах. С увеличением концентрации проявляющих веществ скорость проявления повышается, но при этом снижается чувствительность и возрастает зернистость рентгенограмм.

Свойства проявителя зависят от качества используемых химических веществ и правильности его подготовки. Для проверки качества проявителя используют способ определения времени проявления по коэффициенту индукции. Для этого пленку, по которой определяют коэффициент индукции, проявляют в эталонном проявителе с применением химических веществ, качество которых предварительно проверено.

Чтобы определить качество свежего проявителя, в нем про-

являют одну из проэкспонированных пленок и определяют время проявления. При качественных химикатах и правильной методике изготовления проявителя разница между временем проявления в испытуемом проявителе и временем проявления в эталонном при одинаковой их температуре не должна превышать 15%.

На практике встречаются случаи, когда из-за некачественных химикатов, применения горячей воды (более 50° С) или введения следующего химиката до растворения предыдущего время проявления в свежем проявителе в 1,5 — 2 раза превышает нормальное.

Для проявления пленку помещают в горизонтальном положении в сосуд с проявителем — кювету или в специальный бак, где она крепится на рамках и проявляется в вертикальном положении.

В кювету следует помещать по одной пленке, так как в противном случае слипание пленок может привести к неравномерному проявлению по всей поверхности. Для равномерного проявления кювету покачивают, а пленку несколько раз переворачивают. Кювета должна иметь гладкие стенки, так как любые углы или выступы могут повредить пленку. Для укладки и переворачивания пленки следует пользоваться пинцетом.

При проявлении в вертикальных баках пленку навешивают на рамку и погружают в бак. При погружении следует 2-3 раза резко поднять и опустить рамку, чтобы стряхнуть приставшие к пленке воздушные пузырьки.

Выбор способа проявления зависит, в первую очередь, от объема работ. Кюветное проявление применяется лишь при очень небольшом объеме работы (не более 3-6 рентгенограмм в смену). Способ бакового проявления применяется при проведении непрерывного контроля в течение всей смены.

Для увеличения срока хранения проявителя при небольшом объеме работ, когда расход его невелик, целесообразно готовить его в виде двух растворов. Для приготовления первого раствора в 400 см3 воды растворяют количество метола, сульфита натрия и гидрохинона, приведенное в табл.2. Затем раствор доливают до объема 500 см³. Для приготовления второго раствора также в 400 см3 воды растворяют необходимое количество щелочи и бромистого калия и доливают раствор до 500 см³.

Такие растворы, приготовленные на дистиллированной воде, могут храниться около года. В случае использования кипяченой воды срок хранения не должен превышать 3 мес. При проявлении смешивают равные количества обоих растворов. В процессе проявления предохранить проявитель от окисления значительно сложнее, чем при его хранении. Окисление проявителя в баках происходит менее

интенсивно, так как отношение поверхности к объему у них значительно меньше, чем у кювет.

Активность проявителя уменьшается по мере проявления в нем пленок. Для поддержания активности в него следует добавлять свежие порции вновь приготовленного проявителя или восстанавливающий раствор.

Состав восстанавливающего раствора для приготовления проявителя № 1 (табл.1) представлен в табл.2.

Таблица 2.

Состав восстанавливающего раствора

Компонент	Масса, г
Метол	4,0
Сульфат натрия кристаллический	144,0
Гидрохинон	16,0
Натрий углекислый кристаллический	130,0

Обычно на практике готовят на 30% больше проявителя, чем входит в бак для проявления. При проявлении его количество уменьшается и бак доливают свежим проявителем до первоначального уровня.

При добавлении 1 л восстанавливающего раствора можно дополнительно проявить 1м2 пленки. Когда количество добавленного раствора становится равным первоначальному, дальнейшее восстановление проявителя невозможно. На пакете с пленкой указывается время проявления, которое соответствует времени обработки свежим проявителем при температуре 18°С.

При увеличении температуры активность возрастает, поэтому время проявления следует уменьшить. С уменьшением температуры активность понижается, следовательно, время проявления следует увеличить. В табл.3 указано, во сколько раз следует увеличить время проявления при изменении температуры по мере увеличения количества проявленной пленки.

Таблица 3

Зависимость времени проявления от количества пленки

Номер проявителя	Относительное изменение времени при температуре проявителя, °С				
	16	18	20	22	24
0	1,3	1	0,8	0,7	0,6
0,6	1,6	1,2	1,0	0,9	0,8
0,9	1,8	1,4	1,2	1,1	1
1,2	2	1,6	1,3	1,2	1,1

Примечание. Время проявления в свежем проявителе при 18 0С принято за единицу.

С изменением температуры проявителя ухудшается качество рентгенограммы, даже если время проявления скорректировано. При увеличении температуры возрастает величина вуали. Контрастность рентгенограммы при увеличении и при уменьшении температуры уменьшается. Наилучшее качество изображения достигается при температуре проявителя 17-22°С. Обрабатывать пленки в обычном проявителе с температурой ниже 16 и выше 24° С не следует, так как это приводит к ухудшению качества рентгенограммы. Если в 1 л проявителя проявлено 1,4 м2 пленки, он приходит в негодность. Существуют специальные проявители, позволяющие обрабатывать пленку при низких и высоких температурах. На практике их используют в тех случаях, когда поддержание температуры в указанном диапазоне затруднительно.

4.4. Фиксирование рентгенограмм

Фиксирование рентгенограмм производится после проявления. Перенесение пленки из проявляющего раствора в фиксажный приводит к быстрой порче последнего. Это происходит вследствие того, что проявитель, остающийся на пленке, взаимодействует с фиксажным раствором. Чтобы предотвратить преждевременную порчу фиксажа, пленку после проявления в течение 1-2 мин промывают проточной водой. Такая промывка почти целиком удаляет проявитель с поверхности пленки, однако внутри желатина он остается. Желательно после проявления ополаскивать пленку в восстанавливающей ванне со слабым 1%-ным раствором уксусной кислоты. Так как проявитель нейтрализует кислоту, необходимо периодически проверять ее наличие в восстанавливающей ванне синей лакмусовой бумагой и в случае необходимости добавлять кислоту.

В эмульсионном слое после проявления остается 40-75% не восстановленного галоидного серебра. Это те зерна бромистого серебра, которые не облучены и подвергались проявлению. Такое серебро, сохраняя чувствительность к свету, с течением времени разлагается и портит изображение.

Для удаления галоидного серебра применяют различные вещества, которые, не действуя на металлическое серебро, растворяют галоидное или переводят его в соединения, растворимые в воде. Этот процесс называют фиксированием видимого изображения. В качестве фиксажа для закрепления изображения используется водный раствор тиосульфата натрия (гипосульфит).

В фиксаже происходит реакция между галоидным серебром и

гипосульфитом. При этом сначала образуется прозрачная соль - серноватистое серебро. Иногда при этом делается ошибочный вывод о том, что пленка отфиксирована. Серноватистое серебро не растворяется в фиксажной ванне и воде, поэтому при прекращении фиксирования эта соль остается в эмульсии пленки. Со временем при хранении рентгенограммы она разлагается на сернистое серебро Ag2S и серную кислоту H2SO4. Сернистое серебро имеет темно-коричневый или бурый цвет. Образовавшиеся на рентгенограмме бурые пятна и кислота со временем уничтожают изображение.

При продолжении фиксирования образовавшееся первоначально нерастворимое серноватистое серебро взаимодействует с гипосульфитом. В результате реакции образуется комплексная соль серебра и натрия. Эта соль неустойчива, разлагается на свету, но хорошо растворима в воде. Большая часть ее растворяется в фиксажной ванне, а остатки — при окончательной промывке.

Растворение галоидного серебра происходит в две стадии: сначала вследствие взаимодействия бромистого серебра и гипосульфита образуются нерастворимые в воде соли (просветление), затем — растворимые.

Фиксаж представляет собой 20% -ный раствор кристаллического гипосульфита. В фиксажах с повышенной скоростью реакции его содержание увеличивают до 40%. Водный раствор гипосульфита нестабилен: разлагаясь, он приобретает коричневый цвет и может окрасить эмульсию. Окраска рентгенограммы снижает контрастность.

Раствор гипосульфита имеет слабощелочную реакцию, что может также ухудшить качество рентгенограммы, поэтому в фиксажный раствор вводят кислоты, например, серную кислоту. Кислота, входящая в состав фиксажа, вступает в реакцию с продуктами окисления проявителя и обесцвечивает их.

Продолжительность нормального фиксирования должна в два раза превышать время просветления. С изменением температуры фиксажного раствора время просветления пленки изменяется следующим образом (время просветления пленки при 18° С принято за 100%) (табл.4).

Таблица 4.

Время просветления пленки в зависимости от температуры фиксажного раствора

Температура, ° С	Время, %
18	100
20	90
22	80
24	70

По мере истощения фиксажного раствора время просветления увеличивается. Истощение вызывается уменьшением концентрации тиосульфата натрия или аммония, а также увеличением количества воды в фиксаже, которая попадает в кювету вместе с пленкой.

Процесс фиксирования происходит нормально только в фиксаже с нужной концентрацией гипосульфита при небольшой концентрации продуктов фиксирования. Признаки непригодности фиксажа следующие: выпадение серы и образование пелены на поверхности фиксажа; потемнение раствора и окрашивание пленок в коричневый цвет; увеличение времени просветления по сравнению с нормальным в 1,5-2 раза. Появление белого или зеленоватого осадка указывает на нейтрализацию кислоты в фиксажном растворе, содержащем алюминиево-калиевые квасцы.

Для обнаружения серы в фиксаже следует взять пипеткой со дна бака пробу и налить ее в пробирку. Бледно-желтый осадок серы хорошо виден при рассматривании пробирки в отраженном свете на фоне черного листа бумаги. Недопустимым является наличие даже следов серы.

С целью проверки годности фиксажа, в котором содержится примесь проявителя, полоску фильтровальной бумаги, смоченную фиксажем, выставляют на свет. Если бумага окрашивается в коричневый цвет, фиксаж непригоден; годный фиксаж не дает окраски.

При определении истощенности фиксажа берут химическую пробу. Для этого наливают фиксаж в пробирку до половины и доливают примерно 10 мл 4%-ного раствора йодистого калия. Если раствор остается прозрачным, фиксаж годен; если раствор временно мутнеет, а после встряхивания светлеет, фиксаж находится на грани истощения, но еще может быть использован; если раствор мутнеет и после встряхивания, фиксаж непригоден.

Помимо определения истощенности фиксажа, целесообразно производить контроль содержания металлического серебра в фиксажном растворе. Для этого используется специальный прибор - аргентометр. Каждый грамм серебра в составе фиксажного раствора соответствует уменьшению гипосульфита на 3 г. Годный фиксаж должен быть прозрачным, без мути. Допускается наличие лишь светло-коричневого осадка. Восстановление фиксажных растворов является сложной процедурой и поэтому оно нецелесообразно. В процессе фиксирования, как и при проявлении, необходимо периодически покачивать кювету с раствором.

4.5. Промывка и сушка рентгенограмм

Промывка и сушка рентгенограмм осуществляются с целью удаления остаточных продуктов проявления и фиксирования после извлечения пленки из фиксажа.

Если в процессе фиксирования или промывки соли, содержащие серебро, не удалить полностью из пленки, они со временем будут разлагаться, вследствие чего изображение на рентгенограмме пропадет и восстановить его невозможно. Этот процесс называется выцветанием. Скорость процесса выцветания пропорциональна количеству оставшихся в обработанной пленке солей и зависит от влажности и температуры хранения рентгенограммы.

Длительность промывки пленки зависит от объема воды в промывочном баке, скорости ее протекания и перемешивания, а также от температуры. Время промывки в проточной ванне должно составлять не менее 30 мин. При интенсивном перемешивании воды время окончательной промывки сокращается до 4-5 мин.

Для проверки качества промывки готовят раствор, содержащий 0,1% перманганата калия и 0,2% едкого натра. В один стакан набирают воду из водопровода, а во второй - воду из промывочного бака. Водопроводная вода служит для сравнения растворов по цвету. В оба стакана добавляют по 1 мл указанного раствора. Если в течение 30 с промывочная вода не превращается из фиолетовой в оранжевую, промывка считается удовлетворительной. После промывки пленку следует сушить, развесив ее в помещении, где нет пыли.

Для того чтобы пленка не коробилась, при подвешивании к нижнему ее концу следует прицепить зажим с грузом. Сушка продолжается 3-6 ч. Для сокращения времени сушки применяются сушильные шкафы. Для сушки в шкафу пленки натягивают на рамки, на которых производится фотообработка. При ускоренной сушке воздух захватывается *с* помощью вентилятора, прогоняется через нагреватель, содержащий рамки с пленкой. Время сушки зависит от температуры воздуха и составляет обычно не более 20 мин.

При быстрой сушке увеличиваются плотность и контрастность рентгенограмм. Для ускорения сушки пленку после окончательной промывки погружают на несколько минут в метиловый или этиловый спирт. Спирт удаляет из эмульсии воду, а при сушке, вследствие летучести, быстро испаряется. Время сушки при этом сокращается до 4—8 мин. Вместо спирта для сушки могут быть использованы отходы спиртового производства. Контрастность и плотность пленок при такой сушке увеличиваются. При сушке спиртом в некоторых случаях образуется сине-белая вуаль.

Ошибки при обработке рентгенограмм приводят к появлению на снимке различных линий и пятен. Эти дефекты рентгенограмм могут быть приняты за несплошности в изделии, вследствие чего оно

может быть ошибочно забраковано. Дефекты пленки могут возникнуть в процессе изготовления, хранения и транспортировки и в процессе ее экспонирования и фотообработки. По виду рентгенограммы трудно определить причину их возникновения. Как следует из опыта, большинство дефектов рентгенограммы возникает из-за неправильной фотообработки пленки. Они делятся на две группы. К первой относится вуаль на всей поверхности пленки, а также плохая резкость и контрастность снимка. Эти дефекты не всегда могут быть обнаружены при просмотре рентгенограммы, что обязывает дефектоскописта тщательно следить за правильностью процесса фотообработки. Наличие скрытых дефектов пленки приводит к пропуску дефектов просвеченного изделия.

Ко второй группе дефектов относятся различные линии и пятна на пленке, а также изменение структуры эмульсионного слоя. По снимкам с такими дефектами, если их размер невелик и они находятся не на контролируемом сварном соединении, в большинстве случаев может быть дано заключение о годности изделия.

Чтобы отличить дефекты рентгенограммы от изображений дефектов в изделии, следует сомнительные места пленки просматривать с двух сторон в отраженном свете. Дефекты рентгенограммы при просмотре в отраженном свете видны обычно лишь с одной стороны.

При превышении сроков хранения или нарушении правил хранения пленки, а также при ее засвечивании возникает однородная серая вуаль. Кроме того, пленка может быть засвечена дневным светом или ионизирующим излучением. Мраморовидная серая вуаль возникает, если пленку при проявлении вынимают из проявителя и держат на воздухе в течение более 0,5 мин, например, при просмотре. Такая вуаль может появиться также вследствие длительного проявления или несоблюдения условий фиксирования. Наличие вуали можно установить при наблюдении изображений свинцовых цифр на пленке в проходящем свете.

Появление на пленке двухцветной вуали: желто-зеленой в отраженном свете и красной - в проходящем может быть вызвано загрязнением проявителя, фиксажа или недостаточной промежуточной промывкой пленки. Светлые полосы или пятна появляются на рентгенограмме вследствие попадания инородных тел между усиливающим экраном и пленкой, химикатов или капель на усиливающий экран или повреждения усиливающих экранов и фольги.

При механическом давлении на пленку ее чувствительность изменяется; небольшое давление на пленку, или ее деформация до экспонирования снижает чувствительность и вызывает появление светлых пятен. Сильное давление и изгибы до и после экспонирования пленки вызывают появление темных пятен. Для предотвращения появления пятен от пальцев пленку следует держать в вертикальном положении двумя пальцами или в горизонтальном положении двумя руками.

4.6. Оценка качества сварных соединений

Оценку качества сварных соединений узлов изделий по результатам радиографического контроля необходимо производить в соответствии с требованиями технических условий на изготовление и приемку контролируемых изделий и производственных инструкций по сварке и контролю сварных соединений.

При оценке качества сварных изделий учитывают влияние технологических дефектов на эксплуатационные свойства контролируемых деталей. Методы оценки влияния дефектов на эксплуатационные свойства контролируемых объектов должны включать характеристику влияния дефектов на прочность деталей в связи с чувствительностью швов к дефектам, расположением и ориентацией их в поле напряженного состояния и условиями работы (режим, длительность и величина нагрузки, влияние среды, концентрация напряжений и т.п.).

Наиболее опасны сильно вытянутые и острые дефекты в напряжении перпендикулярном силовому потоку. Особенную опасность подобные дефекты представляют при усталостном нагружении. При симметричных циклах опасность наибольшая.

Влияние дефектов увеличивается с увеличением времени работы сварного соединения в напряженном состоянии и особенно в условиях коррозионного, температурного воздействия и других факторов.

Более подробную информацию о технике радиографического контроля можно найти в ГОСТ7512-82 «Контроль неразрушимый. Сварные соединения. Радиографический метод».

Расшифровка снимков. После фотообработки рентгеновских пленок приступают к расшифровке радиографических снимков (негативов). Процесс расшифровки состоит из трех этапов:

- оценка качества изображения;
- анализ изображения и отыскание на нем дефектов;
- составление заключения о качестве контролируемого изделия.

Составлять заключение по результатам просвечивания можно только по снимкам, на которых четко видны изображения просвечиваемого объекта, эталона чувствительности и цифр маркировочных знаков. На снимке не должно быть никаких дефектов пленки - тени, полос и механических повреждений эмульсионного слоя пленки, затрудняющих выявление дефектов. Плотность почернения снимка должна быть не менее 1,2 единиц оптической плотности. Наиболее распространенный способ расшифровки - сравнение негатива с контрольными снимками. Расшифровка производится в проходящем свете на негатоскопах.

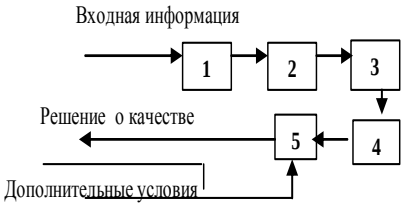


Рис.36. Блок-схема для расшифровки радиографических снимков: 1-считывающее устройство; 2-блок

В настоящее время создан автомат для расшифровки снимков (рис.36). Рентгеновские снимки поступают на вход считывающего устройства 1, на выходе которого снимаются видеосигналы, отражающие оптическую плотность рентгеновской пленки в каждой точке. Значения видеосигналов, выдаваемые блоком квантования 2, поступают в блок обнаружения 3, который определяет наличие или отсутствие дефектов. Полезная информация поступает в блок распознавания 4, в котором вычисляются данные о характере дефектов и т.д. Последний блок 5 дает заключение о качестве и т.д.

Недопустима оценка дефекта по протяженности в направлении просвечивания сравнением почернения дефекта и канавки эталона на снимке.

4.7. Ксерорадиографический (электрорадиографический) контроль

Ксерорадиография - просвечивание объекта на ксерорадиографические пластины, которые состоят из алюминиевой подложки и нанесенного на нее слоя фотопроводникового материала. В качестве фотопроводникового материала используют аморфный селен.

Чтобы сделать пластину чувствительной к ионизирующим излучениям, поверхности селенового слоя сообщают электрический заряд, после чего её, подобно рентгеновской пленке, помещают в светонепроницаемую кассету.

При воздействии на заряженную пластину рентгеновским или гамма - излучением селеновый слой становится проводником и поверхностный заряд стекает через слой селена на подложку. Степень разрядки пластины зависит от дозы падающего на нее излучения.

Поэтому при просвечивании детали на поверхности селенового слоя образуется скрытое электростатическое изображение, представляющее собой картину распределения на ней зарядов. Скрытое изображение проявляют опылением селенового слоя мелким наэлектризованным порошком. Частицы порошка, заряженные электричеством противоположного знака по отношению к заряду пластины, прилипают к поверхности селенового слоя, образуя видимое изображение просвечиваемого объекта. Это изображение при ксерогра-

фическом контроле обычно переносится на бумагу и фиксируется.

Селеновая пластина может использоваться многократно (до 1000 раз). Фотографическая чувствительность ксерорадиографических пластин зависит от энергии излучения, толщины селенового слоя и заряда пластины. С увеличением энергии излучения чувствительность пластин уменьшается, с увеличением толщины селенового слоя - повышается.

Заряженная пластина с течением времени теряет заряд, что объясняется воздействием на нее ионов окружающей среды. Практически заряженную пластину при 20°С можно хранить в кассете 1 час без существенной потери её заряда.

Чувствительность метода примерно равна чувствительности радиографического метода и для стали составляет 1,5-2%. При переносе изображения на бумагу разрешающая способность уменьшается в 1.5-2 раза. Ксерорадиографическое изображение отличается высокой локальной контрастностью. Основные преимущества ксерорадиографической съемки:

1) сокращение времени контроля в 10-15 раз по сравнению с фоторентгенографией;

2) дешевизна применяемых материалов;

3) возможность многократного использования пластин;

4) отсутствие необходимости в воде, химикатах, рентгеновской пленке и специальной фотолаборатории.

Недостатки:

5) наличие высокого напряжения (8-15кВ.);

6) хрупкость селенового слоя;

7) недостаточная прочность порошкового изображения.

4.8. Радиоскопический контроль

4.8.1. Основные системы установок визуального радиационного контроля и их преимущества

Визуальный радиационный (радиоскопический) контроль состоит в преобразовании скрытого рентгеновского или γ - изображения просвечиваемого объекта в видимое световое, анализируемое на экранах преобразователей или телевизионных приемников.

На практике применяют установки визуального контроля с непосредственным наблюдением изображений на экранах преобразователей или с использованием телевизионных систем (рис.37).

Преобразователи ионизирующих излучений подразделяют на:

- флуороскопические;
- рентгеновские электронно-оптические преобразования (РЭОП);

- электронно-оптические усилители видимого света (ЭОУС);
- электролюминесцентные.

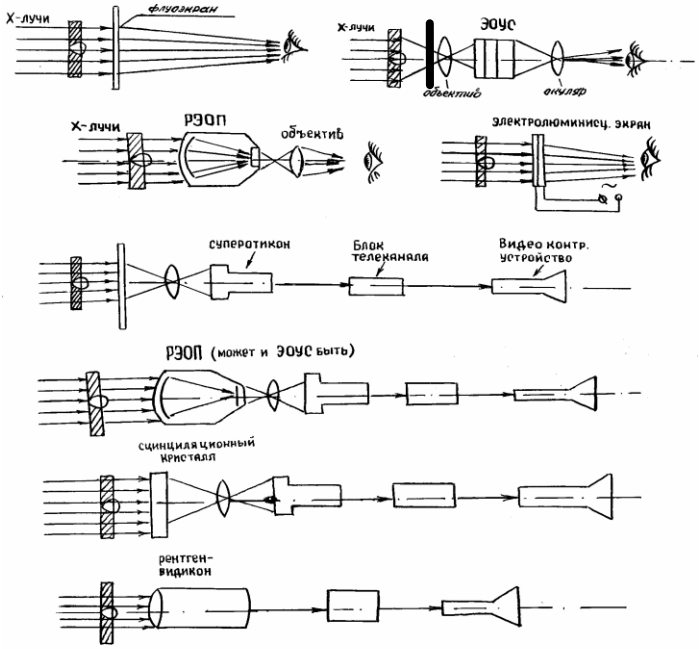


Рис.37. Основные системы визуального радиационного контроля

В свою очередь, телевизионные системы подразделяют на две группы:

- установки, действие которых основано на использовании рентгеновидиконов;
- установки, передающие изображение с флуороскопических экранов РЭОП и ЭОУС.

Установки визуального контроля с непосредственным наблюдением изображения отличаются простотой в изготовлении и эксплуатации. Но она имеет низкий уровень яркости и невысокую разрешающую способность. Кроме того, при их применении затруднена защита персонала от ионизирующего излучения.

Установки с использованием телевизионных систем сложнее и дороже, но имеют ряд преимуществ:

- позволяют увеличивать яркость изображения до уровня, исключающего необходимость предварительной адаптации глаза к темноте;
- получать негативное или позитивное изображения контролируемых объектов с большой разрешающей контрастностью, чувствительностью, способностью и возможностью видеозаписи;

- полностью исключается случай переоблучения персонала ионизирующим излучением, так как телевизионные приемники можно удалить на значительное расстояние от места получения изображения.

К достоинствам визуального контроля также относится:

- более высокая производительность и экономичность по сравнению с радиографией;
- возможность рассматривать просвечиваемый объект под разными углами, что облегчает выявление дефектов;
- изображение на экране может наблюдать одновременно несколько специалистов;
- объект можно получить со значительным увеличением;
- процесс легко автоматизировать.

К основным недостаткам визуальных методов контроля можно отнести:

- более низкую чувствительность по сравнению с радиографией;
- в результате контроля не остается документа (снимка).

В случае необходимости фиксирования обнаруженных дефектов на практике прибегают к фотографированию изображения с экрана. Этот способ называется флюорографией.

4.8.2. Чувствительность методов радиационного визуального контроля

Чувствительность методов визуального контроля зависит от фокусного пятна источника излучения, фокусного расстояния, расстояния от дефекта до преобразования, геометрической и собственной нерезкости преобразователя, зрительного восприятия дефекта.

Чувствительность визуального метода близка к чувствительности радиографического при рентгеновском просвечивании материалов малой плотности и небольшой толщины, когда сравнительно велика яркость свечения экрана преобразователя и интенсивность рассеянного излучения.

4.9. Флуроскопический контроль

Основан на использовании в качестве преобразователя излучения флуороскопического экрана. Размеры экрана 40х40, 18х24 см. и др. Толщина слоя люминофора (ZnS, CdS) характеризуется 8-120 мгр/см² , а плотность 4,5г/см³. Свечение зеленого цвета. Чем крупнее зерна и больше интенсивность, тем выше яркость свечения экрана.

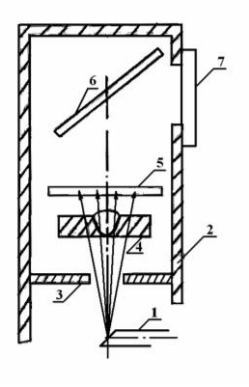


Рис.38. Схема просвечивания на флуороскопический экран: 1 - источник излучения; 2 - защитный кожух; 3 - диафрагма; 4 - деталь (сварное соеди-нение); 5 -

Схема просвечивания (рис.38) на флуороскопический экран аналогична просвечиванию на рентгеновскую пленку. На экране образуется видимое позитивное изображение объекта: менее яркое свечение экрана соответствует толстым и более плотным участкам сварного соединения, а более яркое - тонким участкам и различным несплошностям материала.

Трещины, непровары, подрезы выявляются на экране в виде более светлых линий. Чувствительность метода колебания в широких пределах: для тонких изделий - 2÷10 %, а при просвечивании толстых около 20%.

ГЛАВА 5. ПРОСВЕЧИВАНИЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ РЕНТГЕНОВСКИХ ЭЛЕКТРОННО-ОПТИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ (РЭОП)

Просвечивание позволяет усилить яркость изображения в 100-3000 раз. На рис.39 показана схема просвечивания с использованием РЭОП. Последний представляет собой стеклянный баллон (вакуум порядка 10-7мм рт.ст), внутри которого размещены входной флуоресцирующий экран 2 и выходной экран 5. Входной экран (от 135 до 230 мм) состоит из слоя флуоресцирующего вещества, нанесенного на алюминиевую основу 3. На поверхность этого слоя нанесен полупрозрачный сурмяно-цезиевый фотокатод 4, чувствительный к свету экрана. Выходной экран (13÷23 мм) 5 в виде стеклянной пластины, покрытой флуоресцирующим составом, расположен в конусообразном алюминиевом аноде с отверстием 11 . Между входным экраном и анодом создается рабочее напряжение 25 кВ. При просвечивании объекта 1 на входном экране возникает его световое изображение.

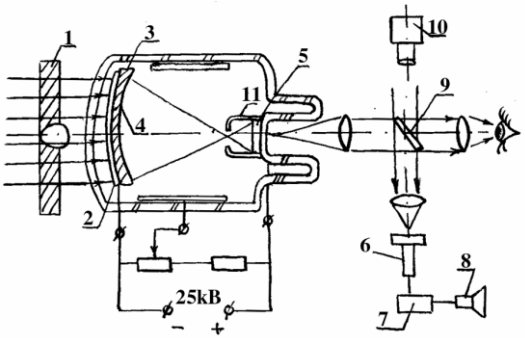


Рис.39. Схема просвечивания с использованием электронно-оптического преобразователя: 1 – контролируемое изделие; 2 – входной флуоресцирующий экран; 3 – основа входного экрана; 4 – фотокатод; 5 – выходной экран; 6 – суперортикон; 7 – блок телеканала; 8 – видеоконтрольное устройство; 9 – перекидное зеркало; 10 – киноаппарат; 11 – конусообразный анод

Под действием квантов видимого света фотокатод испускает фотоэлектроны, число которых пропорционально яркости свечения входного экрана. Электроны, выходящие из какой-либо точки фотокатода, фокусируются электрическим полем в соответствующей точке выходного экрана, вызывая его свечение. В результате на выходном экране опять возникает видимое изображение объекта, но уменьшенное в 7÷10 раз и во много раз более яркое. Усиление яркости достигается в результате ускорения электронов в электрическом поле и уменьшении площади выходного экрана. Чувствительность ме-

тода просвечивания с применением РЭОП выше, чем метод просвечивания на флуороскопический экран и составляет для стальных деталей 5÷12мм - 3÷5 %.

5.1. Просвечивание с применением электронно-оптических усилителей видимого света (ЭОУС)

ЭОУС применяют для усиления яркости изображений, полученных на флуороскопическом или сцинтилляционном экранах. Схема однокаскадного ЭОУС показана на рис.40.

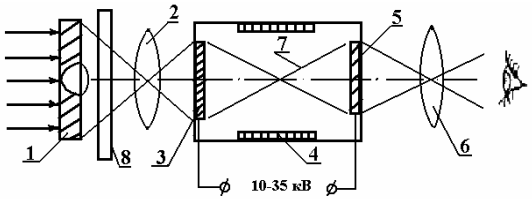


Рис.40. Схема однокаскадного электронно-оптического усилителя света: 1 – контроль свариваемых соединений; 2 – объектив; 3 – фотокатод; 4 – фокусирующая система электродов; 5 – выходной сцинтилляционный экран; 6 – окуляр; 7 – траектория фотоэлектронов; 8 – флюороэкран

Внутри стеклянной трубки с вакуумом имеется фотокатод 3, электронная оптика 4 и выходной сцинтилляционный экран 5. Световое изображение сварного соединения с экрана 8 проектируется на фотокатод 3, который преобразует его в электронное. Фотоэлектроны 7, ускоренные электрическим полем, с помощью электронной оптики (электростатической или магнитной) фокусируются на выходной экран 5. На последнем получается яркое изображение.

Для увеличения усиления в трубке размещают 2-3 таких ступени. Однако дальнейшее их увеличение приводит к уменьшению контраста, снижению чувствительности.

5.2. Просвечивание с применением электролюминесцентных преобразователей

Преобразователи - устройства, позволяющие преобразовывать радиационное изображение в видимое, а также усиливать его контрастность. Работа преобразователя основана на явлении электролюминесценции, т.е. на явлении свечения некоторых кристаллов (электролюминофоров) под влиянием приложенного к ним переменного электрического поля. Яркость свечения электролюмиофора

сильно растет с увеличением напряжения переменного тока и его частоты.

Преобразователь состоит из слоев фотопроводника и электролюминофора, между которыми находится промежуточный непрозрачный слой, который служит защитой фотопроводника от света люминофора. Слои фотопроводника и люминофора последовательно включены в цепь переменного тока. Принцип работы этого преобразователя прост: входное рентгеновское или γ - излучение уменьшает сопротивление фотопроводника, что приводит к увеличению его яркости. Существенным недостатком такого преобразователя является большое послесвечение, а также свечение в теневом режиме. Яркость свечения экранов электролюминесцентных преобразователей больше, чем яркость флуорескопических в 30-100 раз, более контрастное изображение, больше рабочее поле.

5.3. Просвечивание с использованием телевизионных систем

Рентгеновский аппарат 1 (рис.41) с трубкой 2 и телевизионную камеру с рентгеновидиконом 4 размещают в комнате просвечивания, а блок телевизионного канала 6,телевизионный приемник 7 и пульты управления манипулятором 8 и рентгеновским аппаратом 9 - в другой комнате, которая может быть расположена рядом с комнатой просвечивания или удалена от неё. Рентгеновидикон соединен с блоком телевизионного канала кабелем. В процессе контроля расположение детали по отношению к рентгеночувствительному слою (фотокатоду) видикона изменяют дистанционно с пульта управления манипулятором.

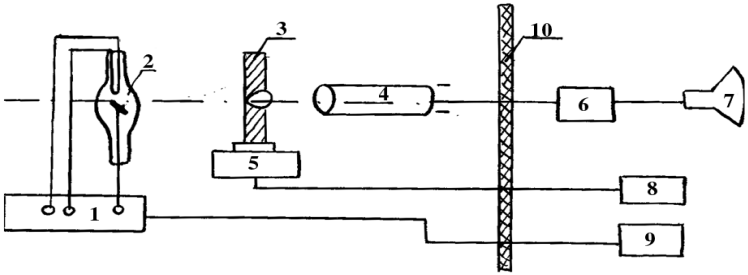


Рис.41. Блок-схема рентгенотелевизионной установки на базе рентгеновидикона: 1 – высоковольтная часть рентгеновского аппарата; 2 – рентгеновская трубка; 3 – сварное соединение; 4 – рентгеновидикон; 5 – манипулятор; 6 – блок телевизионного канала; 7 – видеоконтрольное устройство; 8 – пульт управления манипулятором; 9 – пульт управления рентгеновским аппаратом; 10 – защитная барритовая штукатурка

Работа установки состоит в следующем. Теневое рентгеновское изображение контролируемого объекта создается на поверхности фотокатода видикона, где оно преобразуется в распределение электрического потенциала. Электронный луч видикона, сканируя поверхность катода, последовательно элемент за элементом преобразует распределение потенциала в электрический сигнал. Этот сигнал, усиленный и обработанный в телевизионном канале модулирует электронный луч приемной телевизионной трубки. В результате на экране создается яркое изображение объекта. Это изображение наблюдается визуально. При необходимости его можно сфотографировать или сделать видеозапись. При контроле деталей телевизионная установка позволяет получить негативные или позитивные изображения. Четкость и контрастность изображения зависят от интенсивности и жесткости излучения.

5.6. Современные методы радиоскопического контроля

Стереоскопический и стереотелевизионный контроли основаны на свойстве глаза человека воспринимать пространственный образ объекта при одновременном рассмотрении его двух светотеневых изображений, полученных на экране преобразователя излучения или телевизионного приемника при просвечивании под двумя различными углами.

Основной целью стереоскопического просвечивания является определение глубины залегания дефекта в изделии.

Стереотелевизионный дефектоскоп. В стереотелевизионном дефектоскопе (рис.42)

Просвечивание контролируемого изделия осуществляется двумя источниками излучения на два разделенных экрана. Флуороскопическое изображение, полученное под различными углами, передается с помощью двух телевизионных установок на два экрана – правый и левый. Оба изображения рассматриваются через специальную стереоскопическую систему.

Перед наблюдателем возникает объемная картина внутреннего строения просвечиваемого объекта. Соотно-

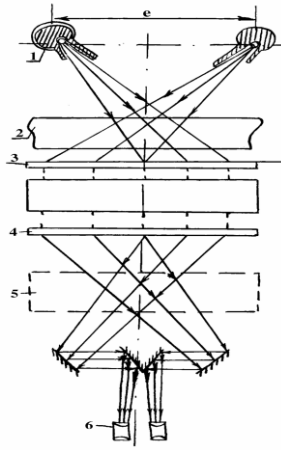


Рис.42. Схема стереоскопического изображения в стереотелевизионном дефектоскопе:
1-источник излучения;
2-контролируемый предмет; 3-передающие флуороскопические экраны; 4-приемные экраны; 5-объемное изображение изделия; 6-стереоскопическая система

шение между фокусным расстоянием и расстоянием между ками излучения и положением просвечиваемого объекта определяется из условий оптимального стереоскопического видения.

Рентгеновская стробоскопия. Рентгеновские стробоскопы позволяют наблюдать неподвижное изображение объектов, совершающих периодическое движение. Рентгеновское излучение можно модулировать механическим способом. Так, Британским институтом радиоинженеров разработан рентгеновский стробоскоп, в котором рентгеновское излучение модулируется системой обтюраторов - дисков с отверстиями (рис.43). Для наблюдения стробоэффекта частота рентгеновского излучения подстраивается с помощью дисков с отверстиями под частоту колебания объекта на вибростенде. Приемником излучения является рентгеновский электронно-оптический преобразователь (РЭОП). Напряжение на рентгеновской трубке до 150 кВ.

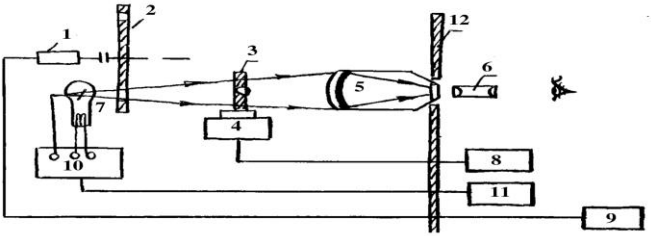


Рис.43. Рентгеновский стробоскоп: 1 - электродвигатель; 2 - обтюратор; 3 - сварной шов; 4 - вибратор; 5 - рентгеновский электронно-оптический преобразователь (РЭОП); 6 - лупа; 7 - рентгеновская трубка; 8 - генератор импульсов, управляющий вибратором; 9 - блок управления обтюратором; 10 - высокая часть рентгеновского аппарата; 11 - пульт управления аппарата; 12 - защитная стенка

Рентгеновское излучение моделируется в диапазоне частот от 0 до 150Гц. При работе стробоскопа в режиме кратных частот можно исследовать объекты, колеблющиеся с частотой до 600 Гц. Система стробоскопии предусматривает визуальный контроль. Здесь из-за модуляции механический телеконтроль невозможен или затруднен. Основным недостатком устройства являются механический принцип модуляции, отсутствие синхронизации вибратора с модулятором излучения, что приводит к «плаванию» изображения.

Оригинальная схема рентгеновского стробоскопа (РСБ-1), лишенная вышеуказанных недостатков и имеющая большой размер рабочего поля контроля, предложена отечественными специалистами (рис.44).

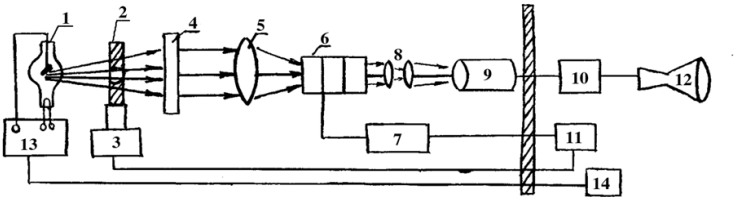


Рис.44. Схема рентгеновского стробоскопа РСБ-1: 1 - рентгеновская трубка; 2 - сварное соединение; 3 – вибростенд; 4 - малоинерционный рентгеновский экран; 5 - светосильный объектив; 6 - трехкамерный усилитель света (электронно-оптический усилитель света (ЭОУС); 7 - генератор высоковольтных управляющих импульсов; 8 - тандем объективов; 9 - телекамера (видикон); 10 - управляющий блок телевизионного устройства; 11 - блок синхронизации;12 - видеоконтрольное устройство (телеэкран);13 - высоковольтная часть рентгеновского аппарата; 14 - пульт управления рентгеноаппарата

Рентгеновский стробоскоп РСБ-1 состоит из рентгеновского аппарата типа РУП-150-10 и собственно стробоскопа, в который входит малоинерционный рентгеновский экран 4, светосильный объектив 5, трехкамерный усилитель света 6, блок синхронизации 11, и генератор высоковольтных управляющих импульсов 7. Контролируемый объект 2 находит на вибростенде 3, где совершаются периодические колебания с заданными амплитудой и частотой.

Переменное напряжение, питающее электродвигатель вибростенда, поступает в блок синхронизации, состоящий из нормального закрытого тиратрона, на катодном сопротивлении нагрузки которого формируется положительный импульс при определенном напряжении на входе (сетке). Положительный импульс подается на ждущий одновибратор, выходным импульсом которого запускается схема импульсного питания камеры усилителя света. Последний поэтому включается только в момент нахождения контролируемого объекта в определенной фазе движения.

Изображение с выходного экрана усилителя света 6 тандемом объективов 8 передается на телевизионную систему 9 и наблюдается по видеоконтрольному устройству 12.

Рентгеновские вычислительные томографы. Рентгеновская вычислительная томография - новое направление в рентгенодиагностической технике. Оно основано на оригинальном принципе получения изображений, заключающемся в послойном поперечном сканировании контролируемого изделия коллимированным рентгеновским пучком.

В ходе измерения интенсивности излучения, прошедшего сквозь контролируемое изделие при движении копирующего устройства, в памяти ЭВМ накапливается массив данных, по которым вы-

числяются коэффициенты ослабления излучения или значения плотности материала во всех элементарных ячейках слоя. По рассчитанным коэффициентам ослабления на экране и формируется двухмерное полутоковое изображение исследуемого сечения контролируемого изделия.

Вычислительная томография принципиально отличается от традиционно рентгеновского теневого метода. Фундаментальное отличие состоит в том, что томографическое (послойное) изображение не связано непосредственно с принятым излучением, а является результатом точных измерений и вычислений, использующих данные, относящиеся только к выбранному слою. Отсюда вытекает три особенности, имеющие важные диагностические значения:

- изображение сечения контролируемого объекта не имеет теней или помех от структур, неоднородностей, несплошностей, содержащихся в других слоях объекта, и не зависит от порядка следования материала с различной плотностью;

- результаты исследования представляются в количественной форме в виде распределения величины линейного коэффициента, ослабления изучения по воспроизводимому сечению. Таким образом, субъективная (на глаз) оценка изображения заменена точными объективными данными, которые можно использовать для дальнейшего анализа;

- высокая точность измерений и вычислений позволяет при анализе изображений различать вещества, весьма мало отличающиеся друг от друга по плотности. По плотности объем информации, содержащейся в томограмме, при прочих равных условиях, примерно в 100 раз больше, чем в обычной рентгенограмме.

5.7. Радиометрический контроль

Радиометрическая дефектоскопия основана на просвечивании изделий ионизирующим излучением с последующим преобразованием плотности потока, прошедшего через объект или его спектрального состава в пропорциональный или электрический сигнал (постоянное напряжение, ток или число, выраженное в каком-либо коде). Любая система радиометрического контроля содержит источник излучения, детектор, электронную схему обработки информации, регистрирующий или показывающий прибор. В качестве источников излучения применяют в основном радиоизотопные источники γ-излучения, ускорители, реже рентгеновские аппараты и источники

нейтронов.

В качестве детекторов излучения используют в основном сцинтилляционные кристаллы с фотоэлектронными умножителями (ФЭУ), реже ионизационные камеры, газоразрядные и полупроводниковые счетчики.

При радиометрическом контроле источник и детектор обычно остаются неподвижными во время просвечивания, а изделие перемещается.

На практике применяются следующие основные системы радиометрической дефектоскопии (рис.45).

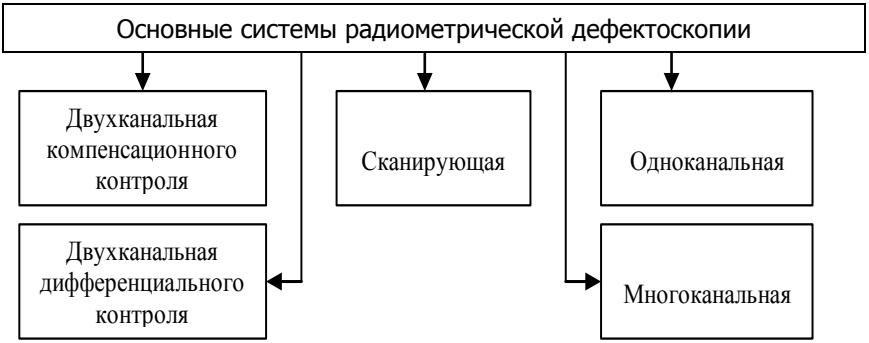
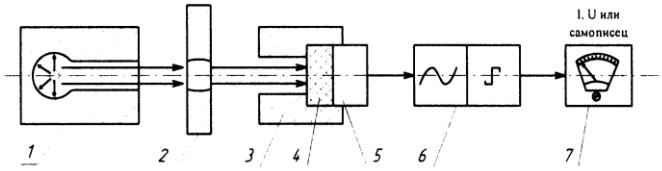


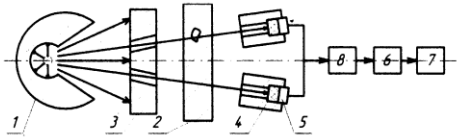
Рис.45. Основные системы радиометрической дефектоскопии

По сравнению с одноканальной системой (рис.46) применение дифференциальной системы контроля позволяет одновременно сравнить дефектный и бездефектный участки изделия, при этом чувствительность метода повышается.

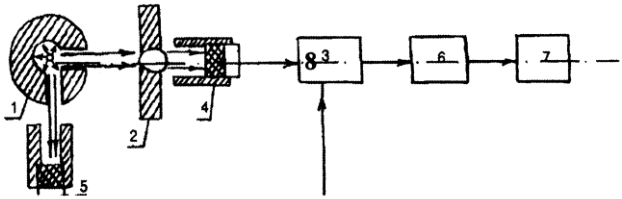
По сравнению с дифференциальной системой контроля система компенсационного контроля, когда сравнивается исходный сигнал от источника и "послеобъективный" сигнал, хуже, однако в сравнении с одноканальным позволяет повысить чувствительность метода. При использовании сканирующей системы осуществляется развертка всего участка изделия за счет его перемещения и вращения коллиматора блока источника 1, который формирует пучок γ-излучения шириной "в", пробегающий зону контроля по всей толщине образца “е” (см. рис.46) .



Одноканальная схема



Двухканальная дифференциальная схема



Двухканальная схема компенсационного контроля

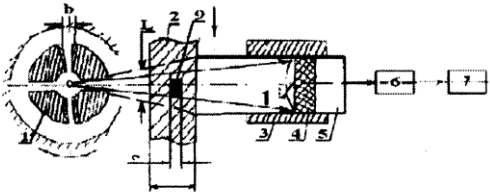


Схема сканирующего контроля

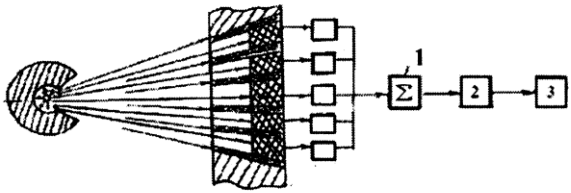


Схема многоканального контроля

Рис.46. Схемы радиометрической дефектоскопии: 1 – блок источника γ-лучей; 2 – исследуемая деталь; 3 – коллиматор; 4 – сцинтиллирующий кристалл; 5 – фото-электронный умножитель (ФЭУ); 6 – электронный блок; 7 – регистрирующий прибор; 8 – схема сравнения; 9 – дефект; b – ширина пучка γ-излучения; L – ширина зоны контроля; e – толщина изделия

В сканирующих системах достигается производительность сварного шва контроля до 200 м/час. Чувствительность радиометрической дефектоскопии превышает чувствительность промышленной радиографии и зависит от вида используемого детектора излучения, при этом лучшие результаты достигаются при использовании

сцинтилляционных счетчиков.

Радиометрический метод по сравнению с радиографическим более экономичный (за счет сокращения обслуживающего персонала и экономии пленки), более производительный (за счет непрерывности и автоматизации контроля,например, швов электрошлаковой сварки) и более чувствительный (0,3÷2%). Кроме того, благодаря бесконтактному контролю этим методом можно проверять металл, нагретый до высоких температур.

Обязательное условие применения радиометрической дефектоскопии при контроле качества сварных соединений - отсутствие поверхностных неровностей шва. Это определяется интегрирующими свойствами детекторов, одинаково регистрирующими информацию как о внутренних дефектах, так и о поверхностном рельефе изделия. Для устранения влияния рельефа усиление сварного шва снимается и зачищается.

Отрицательно влияет на чувствительность рассеянное излучение в изделии. Эти два фактора затрудняют расшифровку полученной информации о наличии дефектов. Стремление к повышению чувствительности приводит к резкому сокращению производительности контроля. Указанные недостатки частично устраняются при использовании источников высокой удельной энергии и электронной аппаратуры повышенного быстродействия. Влияние рассеянного излучения уменьшается при использовании жесткой коллимации пучка излучения. Радиометрические дефектоскопы типа ИМ-1-114, КДС-2 проще в эксплуатации, чем рентгенотелевизионные установки, но область применения их ограничена однотипными деталями простой формы (табл.5).

Таблица 5.

Радиометрические дефектоскопы

Тип дефектоскопа	Источник излучения	Размеры контрольного изделия		Чувствительность %	Производительность м2/час
		диаметр	толщина		
ИМ-1-114	РУП-150/300-10	750	25	0,5 - 1 3	
КДС-2	Кобальт-60	Не огран.	8-70	1 -	
БД-2	Бетатрон Б-25	850-1800	250	0,5 – 1	-
БД-1	Кобальт-60	-	80	1	1,5

5.8. Перспективные методы и средства радиационного контроля

Просвечивание потоком тепловых нейтронов. Нейтроны ($^{1}_{0}n$) образуются при ядерных реакциях, происходящих при бомбардировке мишеней (бериллия или бора) α - частицами, протонами, дейтронами или γ-квантами очень высокой энергии. Для нейтронографии в интроскопии используют преимущественно тепловые нейтроны энергий до 0,3эВ путем замедления быстрых.

Основными источниками нейтронов являются ядерные реакторы, нейтронные и радиоизотопные источники.

Указанные источники дают поток тепловых нейтронов (после замедления) интенсивностью $10 \div 10^4 \frac{\text{нейтрон}}{\text{см}^2 \cdot \text{с}}$. Для дефектоскопии перспективны радиоизотопные источники нейтронов со спонтанным распадом.

Тепловые нейтроны, рентгеновские и γ-излучение поглощаются материалом детали по-разному. В общем случае ослабление рентгеновского излучения растет с увеличением плотности материала. *Проникающая способность нейтронов практически не зависит от плотности материала. Они свободно проходят через Fe, Cu, Pb, но в большей степени поглощаются легкими элементами - H, Li, B, Cd, In* и материалами, содержащими эти элементы (водой, взрывчаткой, эпоксидной смолой и др.) Поэтому поток тепловых нейтронов эффективно используют для просвечивания изделий, которые не могут быть исследованы с помощью рентгеновского и γ - излучений.

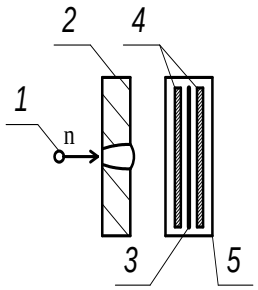


Рис.47. Прямой метод: 1 – по-ток нейтронов; 2 - контролируемый объект; 3 - рентгеновская высокочувствительная пленка; 4 - металлическая фольга; 5 - кассета

Рентгеновская пленка не чувствительна к потоку нейтронов, поэтому при нейтронографировании она применяется в комбинации с фольгой. Существует два основных метода нейтронографии:

- прямой;
- метод переноса.

При *прямом методе* (рис.47) пленка в комбинации с фольгой гадолиния (Gd) (лантаноид) толщиной до 25мкм находится непосредственно за просвечиваемым объектом. При попадании нейтронов фольга благодаря реакции (n-γ) испускает γ - из-

лучение, воздействующее на эмульсию. В случае использования нейтронов с энергией менее 0,1эВ вместо фольги применяют сцинтилляторы в смеси с бором (B) и литием (Li). Облученные нейтронами бор и литий возбуждают сцинтиллятор, свечение которого воздействует на пленку.

Метод переноса изображения (рис.48) заключается в том, что сначала деталь просвечивают на металлическую фольгу из индия (толщиной 125-250 мкм), диспрозия Dy, родия Rh (толщиной 125-250мкм), в которых легко наводится радиоактивность с коротким периодом полураспада (соответственно 54 мин, 2,3 и 4,4 мин). Затем экспонированную фольгу помещают в кассету с пленкой, где скрытое изображение в фольге вследствие наведенной радиоактивности переносится на пленку. После проявления пленки получают на ней видимое изображение.

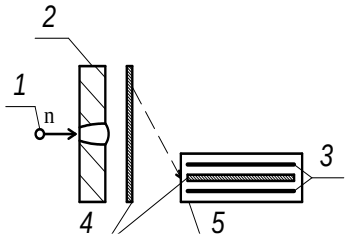


Рис.48. Метод переноса изображения: 1 - поток нейтронов; 2 - контролируемый объект; 3 - рентгеновская высокочувствительная пленка; 4 - металлическая фольга; 5 - кассета

Методом переноса можно получать качественные снимки при наличии высокого γ-фона, а также при контроле радиоактивных объектов, так как γ - излучение не влияет на работоспособность фольги из индия, диспрозия, иридия. По чувствительности и разрешающей способности методы нейтронографии аналогичны методам γ-рентгенографии.

Телевизионные системы обеспечивают безопасность работы и позволяют использовать источники со средней интенсивностью потока нейтронов.

Методы нейтронографии могут быть эффективно применены для контроля легких материалов на основе водорода, лития, бора, экранированных более тяжелыми материалами (состояние резиновых накладок, взрывчатых веществ, твердого топлива и т.п.) для определения нагара в каналах охлаждаемых турбинных лопаток; контроля состояния композиционных материалов, исследования потоков масел и топлива в системах; просвечивания материалов с высокой радиоактивностью, изделий большой толщины из свинца, урана, висмута, вольфрама и др.

Использование радиоизотопных источников β^--излу-чения в радиографии. β^--излучением радиоактивных изотопов $^{90}Sr-^{90}Y$ (стронций-иттрий) и $^{144}Ce-^{144}Pr$ (церий - празеодим) можно кон-

тролировать в стальных соединениях швы толщиной не более $0{,}7 \div 0{,}8$ мм (пленка РТ-5).

Сварные детали из стали толщиной до 1 мм или алюминиевые до 10 мм можно эффективно контролировать низкоэнергетическим характеристическим тормозным излучением, возникающим при попадании β^--излучения изотопов ^{147}Pm (прометий) в мишень из графита (С) ,бериллия, алюминия, или магния.

Протонная радиография. Применяют для контроля фольги толщиной не более среднего пробега протонов в материале, например, Al - толщиной не более 0,75 мм. Источником быстрых протонов с энергией до 11 МэВ и интенсивностью не менее $10^8 \frac{\text{протон}}{\text{см}^2 \cdot \text{с}}$ служат ускорители заряженных частиц.

В качестве детекторов протонов применяют рентгеновские и авторадиографические пленки, сцинтилляционные экраны и телевизионные системы.

Радиографическая чувствительность контроля с применением протонов достигает 0,1%, в то время как рентгенография позволяет обнаруживать изменение толщины объекта не менее 1÷2%.

Метод неразрушающего контроля с использованием позитронов. Новый метод радиографии с использованием позитронов может быть применен для определения не только качества сварных швов, но и для определения величины и степени пластической деформации в процессе нагружения, а также для определения усталостных напряжений в металлах до появления усталостных трещин.

В начальной стадии усталостного разрушения (предразрушения) металла происходит образование в нем дислокации. В областях дислокаций до появления трещин накапливаются отрицательные заряды. При облучении металла позитронами, последние притягиваются к дислокациям, где они в результате аннигиляции (это взаимодействие частицы и античастицы, при котором они исчезают, превращаясь в другие формы материи) со скопившимися электронами образуют γ - излучение. Поэтому среднее время жизни позитронов можно связать с наличием области усталости в металле.

Цветная радиография. Обычный черно-белый рентгеновский снимок содержит только один оценочный параметр - яркость серого оттенка. Цветное изображение в отличие от чёрно-белого позволяет получить два добавочных параметра: цвет и насыщенность.

Цветовые оттенки могут быть получены путём смешения различных цветов и в определённых пропорциях. Для этого достаточно использовать два способа смешения цветов- трёх основных (синего, зелёного, красного) или трёх дополнительных (зелёного, пурпурного,

голубого). При использовании косвенных методов преобразования изображения сначала получают три обычные чёрно-белые рентгенограммы с различной энергией и интенсивностью излучения. Затем каждый из них окрашивают один - в красный, второй – в зелёный, третий - в синий цвета и составляют вместе. Расшифровку полученного цветного изображения производят на негатоскопе.

При использовании методов прямой экспозиции применяют как цветные фотоматериалы для дневного видимого света, так и специальные цветные фотографические плёнки.

Преимущество цветной радиографии:

- дефекты материала выявляются как за счёт различия яркости, так и одновременного различия яркости тонов дефектного и без дефектного участков изображения;
- изменение цвета показывает изменение толщины, а также плотности материала;
- цветная дифференциация допускает определение размеров дефекта в направлении просвечивания;
- возможен контроль изделий с большим перепадом толщин, чем при обычной радиографии;
- за счёт увеличения числа оценочных параметров (яркость, цвет, насыщенность) улучшается выявляемость дефектов.

Недостаток: большая трудоёмкость при экспонировании и обработки плёнки.

Метод проникающих радиоактивных газов. Для обнаружения мельчайших поверхностных и подповерхностных трещин и пор шириной раскрытия менее 0,013мм может быть использован радиоактивный газ, например криптон ^{85}Kr. Сущность метода заключается в следующем (рис.49). Контролируемую деталь обезжиривают, очищают в вакууме от следов растворителей и адсорбированных газов, затем обрабатывают радиоактивным газом 85Kr. Диффундируя с поверхности, газ остаётся в порах и на стенках трещин. К поверхности детали, обработанной таким способом, прикладывают специальную авторадиографическую (мелкозернистую, высокочувствительную) плёнку и выдерживают в течение не менее 6 часов. После фотообработки получают криптонограмму, на которой видно изображение дефекта.

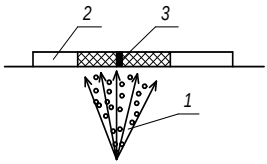


Рис.49. Схема выявления трещин с применением радиоактивных газов; 1 - газ ^{85}Kr; 2 - авторадиографическая плёнка; 3 - изображение дефекта

Этот метод в 100 раз более чувствителен, чем капиллярный метод (цветной), и позволяет выявлять поверхностные и подповерх-

ностные поры и трещины шириной раскрытия 0,025 мкм и глубиной 25 мкм. Трещины с большой шириной раскрытия (20÷30 мкм), хорошо выявляемые капиллярным методами, этим методом не обнаруживаются, так как из них легко диффундирует радиоактивный газ.

Метод контроля деталей проникающими радиоактивными газами применяют в случаях, когда требуется сверхвысокая чувствительность, например, при контроле прецизионных подшипников, исследования материала лопаток газовых турбин и др.

ГЛАВА 6. РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ЛАБОРАТОРИИ РАДИАЦИОННОЙ ДЕФЕКТОСКОПИИ

6.1. Биологическое воздействие ионизирующего излучения

Использование в промышленности методов и средств радиационной дефектоскопии связано с применением разнообразных источников ионизирующего излучения, которые оказывают вредное биологическое действие на организм человека, так как поглощённая живой тканью энергия излучения вызывает ионизацию атомов и молекул вещества, что приводит к разрушению клеток. Вызванные излучением изменения могут быть обратимыми (при малых поглощённых дозах) и необратимыми (при больших дозах), причём эти изменения могут происходить как в отдельных органах, так и во всём организме.

Биологический эффект существенно зависит от длительности излучения. Однократное облучение большой дозой приносит больший вред, чем длительное облучение малыми дозами, так как в последнем случае организм успевает частично восстановить функции повреждённых тканей.

При строгом соблюдении действующих санитарных норм и правил вредное действие ионизирующих излучений можно свести к минимуму и выполнение работ по радиационной дефектоскопии становится практически безопасным для здоровья.

Поскольку при радиационной дефектоскопии используются закрытые источники излучения, практически исключающие попадание внутрь организма радиоактивных веществ и их накопление в костях и тканях (внутреннее поражение), рассмотрим требования к ограничеию техногенного облучения в контролируемых условиях при внешнем облучении организма.

В соответствии с «Нормами радиационной безопасности (НРБ-99)» устанавливаются следующие категории облучаемых лиц:

- персонал (группы А и Б);
- всё население, включая лиц из персонала, вне сферы и условий их производственной деятельности.

Для категорий облучаемых лиц устанавливаются три класса нормативов:

- основные пределы доз (ПД), приведённые в табл.6;
- допустимые уровни монофакторного воздействия, являющиеся производными от основных пределов доз;

- контрольные уровни (дозы, уровни, активности, плотности потоков и др.).

Их значения должны учитывать достигнутый в организме уровень радиационной безопасности и обеспечивать условия, при которых радиационное воздействие будет ниже допустимого (табл.6).

Таблица 6

Допустимый уровень радиационной безопасности

Нормируемые величины	Персонал группа А	Население
Эффективная доза	20 мЗв в год в среднем за любые последующие 5 лет, но не более 50 мЗв в год	1 мЗв в год в среднем за любые последующие 5 лет, но не более 5 мЗв в год
Эквивалентная доза за год: - в хрусталике глаза - коже - кистях и стопах	 150 мЗв 500 мЗв 500мЗв	 15 мЗв 50 мЗв 50 мЗв

Эффективная доза для персонала не должна превышать за период трудовой деятельности (50 лет) – 1000 мЗв, а для населения за период жизни (70 лет) – 70 мЗв. Начало периодов вводится с 1 января 2000 года.

Все перечисленные факторы обусловливают тщательную регламентацию норм радиационной безопасности и правил работы с источниками ионизирующих излучений, обязательную дозиметрию и защиту от их воздействия на обслуживающий персонал.

Облучение эффективной дозой свыше 200 мЗв в течение года должно рассматриваться как потенциально опасное. Лица, подвергшиеся такому облучению, должны немедленно выводиться из зоны облучения и направляться на медицинское обследование.

6.2. Основные требования к лаборатории радиационной дефектоскопии

Для лаборатории радиационной дефектоскопии следует выделять отдельное помещение, удовлетворяющее требованиям:

-«Нормам радиационной безопасности» (НРБ—99);

-«Основным санитарным правилам обеспечения радиационной безопасности» (ОСПОРБ—99);»

- Санитарным нормам проектирования» (СН-245-71);

- «Санитарным правилам при проведении рентгеновской дефектоскопии»;

- Правилам технической эксплуатации электроустановок потребителей (ПТЭ).

Размещать такие лаборатории в подвальных помещениях запрещается.

В состав лаборатории должны входить: помещение для

просвечивания, пультовая, фотокомната и помещение для расшифровки снимков.

Площадь помещений для рентгеновских аппаратов с анодным напряжением до 100 кВ должна быть не менее 30 от 100 до 300 кВ – не менее 40м²; высота от потолка до пола – не менее 3 м; до электрической проводки-2,5 м.

Пол в помещении рентгеновского просвечивания должен быть из изолирующего материала: дерева или линолеума по деревянному настилу. Допускается эксплуатация защищенных аппаратов в помещениях с плиточным или асфальтовым полом, покрытым у рабочих мест персонала, обслуживающего аппарат. Ширина защитных дверей должна быть не менее 0,9м, а высота не менее 2м.

Двери должны блокироваться с пультом управления так, чтобы исключить возможность включения аппарата при незакрытой или неплотно закрытой двери. При просвечивании у пульта управления и у входа в помещение должны автоматически включаться световые сигналы. Помещение для рентгено-дефектоскопов должно быть оборудовано сигнализацией о положении источника рентгеновского излучения и превышения заданной мощности излучения.

Помещение для просвечивания и фотокомната должны быть обеспечены искусственной приточно-вытяжной вентиляцией с трёхкратным обменом воздуха в час.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Роль российских ученых в развитии неразрушающих методов контроля качества.

2. Каковы перспективы развития неразрушающих методов контроля качества?

3. Каким образом неразрушающие методы контроля качества оказывают влияние на экономичность?

4. Целесообразность применения неразрушающих методов контроля качества сварных соединений.

5. Что понимают под термином "планетарное" строение атома?

6. Протон, нейтрон, позитрон, электрон - в чём отличие этих частиц друг от друга?

7. Что такое квант, фотон? Отличаются ли они друг от друга?

8. От каких факторов зависит энергия кванта?

9. Массовое число атомного ядра - из каких частиц оно слагается?

10. Характеристическое и тормозное излучение - их отличие друг от друга?

11. Приведите формулу радиоактивного распада. Проанализируйте её.

12. Что называется периодом полураспада? Взаимосвязь периода полураспада с постоянной радиоактивностью распада.

13. Интенсивность излучения - суть его.

14. Что такое фотоэлектрон? Чем он отличается от фотона?

15. Фотоэлектрический эффект - что это такое?

16. Объясните механизм возникновения электрического тока в газах и жидкостях при прохождении ионизационного излучения.

17. Люминесценция и какие вещества используют в качестве люминесцентных?

18. Объясните общепринятую теорию образования скрытого изображения.

19. Ионизационная камера - принцип её работы.

20. Расскажите о принципе работы сцинтилляционного счётчика.

21. Опишите механизм ионизации в полупроводниках под действием ионизационного излучения.

22. В чем преимущество и недостатки фотопленочного дозиметра ИФК?

23. Что лежит в основе работы сцинтилляционных дозиметров?

24. Из каких основных блоков состоят рентгеновские аппараты кабельного и моноблочного типов?

25. Перечислите элементы, входящие в блок управления. Их назначение.

26. Перечислите элементы, входящие в высоковольтную часть кабельного аппарата. Их назначение.

27. Излучатель кабельного аппарата. Его конструкция.

28. Конструкция и назначение рентгеновской трубки с вынесенным анодом.

29. В чем существенное отличие рентгеновского кабельного аппарата РУП 150-10 от РУП 150/300-10?

30. Чем отличается кабельный рентгеновский аппарат от моноблочного?

31. Почему моноблочные аппараты получили широкое распространение? В чем их существенный недостаток?

32. Перечислите элементы, входящие в моноблок. Их назначение.

33. Почему для просвечивания больших толщин использует источники излучения на базе ускорителей, а не рентгеновские аппараты?

34. На чем основана работа бетатрона? Чем он отличается от микротрона?

35. Принцип действия линейного ускорителя. Его преимущества и недостатки по сравнению с микротроном.

36. Почему характеристическое излучение имеет дискретный (прерывистый) спектр, а тормозное - непрерывный?

37. Природа рентгеновского излучения.

38. В чем отличие и сходство рентгеновского излучения и дневного света?

39. Как понимать термины "жёсткое", "мягкое" рентгеновское излучение?

40. Принцип получения рентгеновского излучения.

41. Почему в качестве мишени рационально брать металлы с большим порядковым номером?

42. Какой параметр рентгеновской трубки необходимо регулировать, чтобы изменить проникающую способность рентгеновского излучения?

43. Какой параметр рентгеновской трубки необходимо изменять, чтобы получить разную интенсивность рентгеновских лучей?

44. Почему анод делают массивным и из меди?

45. Почему оголовок анода рентгеновской трубки закрыт массивной сферой с отверстием?

46. Действительный и аффективный фокусные пятна рентгеновской трубки.

47. Как появляется изображение на фотопленке?

48. Оптическая плотность почернения. Что это?

49. Что такое разрешающая способность пленки, контрастность негатива?

50. Как оценивается чувствительность рентгенографического метода?

51.Назовите факторы, влияющие на контрастность негатива.

52. Почему рационально пленку максимально приблизить к предполагаемому дефекту?

53. Какими способами можно уменьшить геометрическую нерезкость?

54. Как зависит нерезкость плёнки от «жёсткости» излучения?

55. Если флуоресцирующие экраны снижают резкость изображения, тогда зачем их применяют?

56. Перечислите дефекты сварных соединений, которые возникают в процессе сварки.

57. Какие дефекты можно выявлять с помощью рентгенографии?

58. Почему при расшифровке рентгенограммы необходимо знать, как изображаются на негативе видимые наружные дефекты?

59. Почему непровары точечной сварки плохо выявляются с помощью рентгенографии?

60. Как отличить на рентгенограмме поры от шлаковых включений?

61. Чем отличается электрорадиография от радиографии?

62. Какие фоточувствительные материалы применяют в электрорадиографии?

63. Как понимать выражение "скорость спада потенциала"?

64. Как осуществляется зарядка селенового слоя?

66.Почему экспозиция оценивается в А•с; А•мин?

67. В чем сущность радиоскопического метода?

89. Какие материалы используют для преобразователей ионизирующего излучения в видимое?

69. В чем физический смысл радиационно-оптических преобразователей?

70. Какие типы радиационно-оптических преобразователей применяются для контроля?

71. Принципы работы усилителя изображения?

72. Как оценить чувствительность радиационного метода интроскопии?

73. Чем отличается абсолютная чувствительность от относительной?

74. Каким образом обеспечивается неподвижная "картинка" в стробоскопе, когда исследуемая деталь находится в движении?

75. В чем преимущество Российского стробоскопа в сравне-

нии с английским?

76. В чем достоинство стереотелевизионного дефектоскопа в сравнении с одномерным?

77. В чём несомненное достоинство и перспективность развития рентгеновских вычислительных томографов?

78. Какие приборы в радиометрическом контроле используются в качестве регистрирующих?

79. Чем отличается одноканальная система от двухканальной дифференциальной?

80. В чём сущность сканирующего контроля?

81. Что затрудняет широкое применение радиометрического контроля?

82. Когда и для каких толщин целесообразно применять радиоизотопные источники бетта-излучения?

83. Какова чувствительность протонной радиографии и для каких толщин она применима?

84. В чем сущность цветной радиографии?

85. В чем достоинства и перспективность цветной радиографии.

86. Особенности методики контроля с помощью проникающих радиоактивных газов.

87. Почему на криптограммах выявляются трещины с шириной в несколько микрон.

88. Что происходит с клетками живого организма при воздействии ионизирующего излучения?

89. Предельно допустимые дозы внутреннего и внешнего облучения отдельных частей тела. Какова их величина?

90. Единицы измерения предельно допустимых доз (ПДД) облучения.

91. Какие материалы используют для защиты от ионизирующего излучения?

92. От каких критериев зависит площадь помещений для рентгеновских аппаратов?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алёшин Н.П. Физические методы неразрушающего контроля сварных соединений/ Н.А. Алешин. -М : Машиностроение, 2006. - 368 с.

2. Неразрушающий контроль и диагностика: справ.; под ред. В. В. Клюева. - М.: Машиностроение, 2005. - 656 с.

3. Неразрушающий контроль сварных соединений при строительстве и ремонте магистральных трубопроводов: рук. документ (РД-08.00-60.00-КТН-046-1-05). Официальное издание; Москва, 2005 г.

4. Алёшин Н.П. Радиционная, ультразвуковая и магнитная дефектоскопия металлоизделий. / Н.П.Алёшин, В.Г. Щербинский. - М.: Высшая школа, 1991.