

1-316
Московский государственный технический университет
им. Н. Э. Баумана

Б. Г. Маслов, А. Л. Ремизов

**РАДИАЦИОННАЯ ДЕФЕКТОСКОПИЯ.
КОНТРОЛЬ ПРОНИКАЮЩИМИ ВЕЩЕСТВАМИ**

Издательство МГТУ
1992

Московский государственный технический университет
им. Н.Э.Баумана

Б.Г.Маслов, А.Л.Ремизов

РАДИАЦИОННАЯ ДЕФЕКТОСКОПИЯ.
КОНТРОЛЬ ПРОНИКАЮЩИМИ ВЕЩЕСТВАМИ

Методические указания к лабораторным
и практическим работам

Под редакцией Б.Г.Маслова



Издательство МГТУ

1992

Рецензент А.К.Воцанов

МЗІ Маслов Б.Г., Ремизов А.Л. Радиационная дефектоскопия. Контроль проникающими веществами: Метод. указания к лаб. и практ. работам / Под ред. Б.Г.Маслова. — М.: Изд-во МГТУ, 1992. — 88 с., ил.

ISBN 5-7038-0888-X

Изложены общие физические принципы радиационных методов и методов контроля изделий проникающими веществами. В лабораторных работах рассмотрены принципы устройства контрольного оборудования и его основные технические характеристики, а также методики проведения контрольных операций и оценки чувствительности контроля. В приложениях приведены справочные данные, необходимые для проведения расчетов.

Для студентов 3-го курса.

Табл. 32. Ил. 35. Библиогр. 7 назв.

ББК 30.61

ISBN 5-7038-0888-X (C)

МГТУ им. Н.Э.Баумана, 1992.

Основным технологическим процессом изготовления машиностроительных и строительных конструкций является сварка. Несмотря на прогресс в развитии сварочной техники и технологии в сварных соединениях возникают внутренние дефекты различного вида и размеров, что может привести к снижению работоспособности конструкций. Поэтому важное место в технологическом процессе изготовления изделий занимают методы их неразрушающего контроля, позволяющие исключить поступление в эксплуатацию изделий с недопустимыми дефектами. Объем контрольных операций составляет 10-12 % объема работ по изготовлению изделий.

Широкое применение получили радиационные методы, включающие в себя радиографию, радиоскопию и радиометрию изделий, позволяющие выявлять внутренние объемные дефекты, а также методы контроля проникающими веществами, включающие в себя контроль герметичности и течеискание в изделиях и капиллярную дефектоскопию. Эти методы позволяют выявлять сквозные и поверхностные плоскостные дефекты.

Работы 1-9 написаны Б.Г.Масловым, а работы 10-13 — совместно Б.Г.Масловым и А.Л.Ремизовым.

РАДИАЦИОННАЯ ДЕФЕКТОСКОПИЯ

Радиационная дефектоскопия является методом определения качества материалов, соединений, изделий с помощью ионизирующих излучений.

Основными направлениями радиационной дефектоскопии, широко применяемыми в промышленности, являются рентгено- и гамма-дефектоскопия. Различие между рентгеновской и гамма-дефектоскопией заключается в используемых источниках ионизирующих излучений, однако ввиду общности способов регистрации излучения и целей испытаний они имеют общую методику и технологию проведения контроля в производственных условиях.

Рентгеновское и гамма-излучения являются разновидностью электромагнитных волн, отличающихся друг от друга длиной волны λ ,

$$\lambda = c/\nu,$$

где c – скорость света; ν – частота колебаний.

С уменьшением длины волны λ увеличивается энергия E и проникающая способность излучения, но снижается чувствительность к выявлению дефектов.

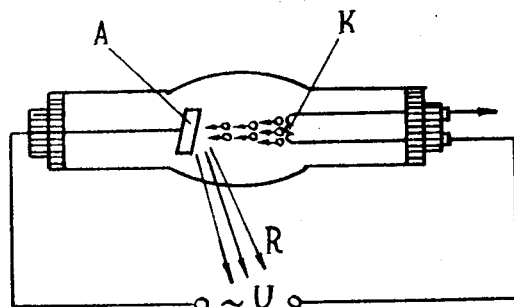


Рис. 1. Принципиальная схема рентгеновской трубки

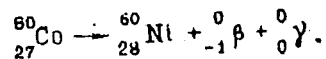
Источник рентгеновского излучения – рентгеновские трубки (рис. 1). Рентгеновское излучение R генерируется на аноде A при торможении электронов, испускаемых катодом K . Энергия электронов зависит от напряжения U , подаваемого к электродам. С увеличением анодного напряжения U (в кВ) длины волн получаемого рентгеновского излучения уменьшаются согласно формуле

$$\lambda = 1,23/U.$$

Такое рентгеновское излучение называют тормозным.

Гамма-излучение является результатом внутриядерных превращений и возникает при переходе ядра из одного энергетического состояния в другое. Источниками гамма-излучения могут быть естественные и искусственные радионуклиды (изотопы). В практике дефектоскопии используют, как правило, искусственные изотопы.

Процесс распада изотопа (например, кобальта) протекает следующим образом:



Активность изотопов изменяется с течением времени по экспоненциальному закону

$$\frac{Q_t}{Q_0} = e^{-\frac{0.693t}{T_{1/2}}}, \quad (I)$$

где Q_t и Q_0 – активность изотопа к моменту времени t и начальная активность; $T_{1/2}$ – период полураспада изотопа.

Характеристики изотопов, применяемых при дефектоскопии, приведены в табл. I (МЭД – мощность экспозиционной дозы).

Таблица I

Технические характеристики радионуклидов

Радионуклид	Энергия излучения E , МэВ	Период полураспада, $T_{1/2}$	МЭД излучения активностью $3,7 \cdot 10^{10}$ Бк на расстоянии 1 м от источника	
			A/кг	P/c
Кобальт (Co-60)	1,17; 1,33	5,3 года	$9,2 \cdot 10^{-8}$	$3,6 \cdot 10^{-4}$
Цезий (Cs-137)	0,661	30 лет	$2,2 \cdot 10^{-8}$	$0,9 \cdot 10^{-4}$
Иридий (Ir-192)	0,3-0,6	75 дней	$3,3 \cdot 10^{-8}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$
Селен (Se-75)	0,13-0,4	120 дней	$1,4 \cdot 10^{-8}$	$5,4 \cdot 10^{-5}$
Тулий (Tm-170)	0,084	129 дней	$7,2 \cdot 10^{-11}$	$2,8 \cdot 10^{-7}$

Основные единицы измерений ионизирующих излучений приведены в приложении I.

Все методы радиационной дефектоскопии основаны на способности прохождения рентгеновского и гамма-излучений через вещество. При прохождении через вещество рентгеновских и гамма-лучей происходит достаточно сложный процесс взаимодействия. Количественно он описывается линейным коэффициентом ослабления μ , характеризующим относительное уменьшение интенсивности излучения после прохождения им поглотителя толщиной 1 см.

Интенсивность излучения при прохождении через вещество уменьшается по экспоненциальному закону

$$I_d = I_0 \cdot e^{-\mu d}, \quad (2)$$

где I_0 и I_d — интенсивности излучений, падающего и прошедшего через вещество толщиной d .

Если точечный источник излучения удален от детектора на расстояние F , то интенсивность излучения, прошедшего через вещество, уменьшается обратно пропорционально квадрату этого расстояния.

Наличие в веществе внутренних дефектов приводит к изменению интенсивности и энергии выходящего пучка излучения (рис. 2, где 1 — источник излучения, 2 — шов, 3 — дефект). Иными словами, выходящий пучок несет дефектоскопическую информацию о внутренних дефектах контролируемого объема. Выявляемость дефектов тем выше, чем больше отношение I_2 к I_1 .

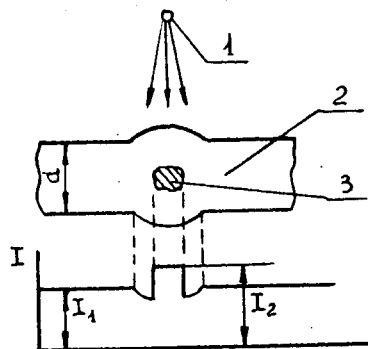


Рис. 2. Изменение интенсивности ионизирующего излучения при прохождении через сварное соединение с дефектом

3) радиометрию — метод получения информации о внутреннем состоянии контролируемого изделия, просвечиваемого ионизирующим излучением, в виде электрических сигналов.

В зависимости от способа расшифровки этой информации различают:

1) радиографию — метод получения статического видимого изображения внутренней структуры изделия на рентгеновской пленке (пленочная радиография) или на полупроводниковой пластине с последующим переносом на обычную бумагу (ксерорадиография);

2) радиоскопию — метод получения на экране динамического изображения внутренней структуры изделия, просвечиваемого ионизирующим излучением;

Цель работы — изучение основных типов оборудования и технологий контроля рентгеновскими лучами.

I. РЕНТГЕНОВСКИЕ АППАРАТЫ

Рентгеновский аппарат служит для получения рентгеновского излучения с заданными параметрами и состоит из рентгеновской трубки в защитном кожухе, генератора высокого напряжения и пульта управления.

В настоящее время применяют аппараты с напряжением 10–400 кВ.

Используют два вида рентгеновских аппаратов:

- 1) аппараты с постоянной нагрузкой;
- 2) импульсные рентгеновские аппараты.

Аппараты с постоянной нагрузкой в свою очередь выпускают двух типов:

1) аппараты-моноблоки, у которых рентгеновская трубка и трансформатор смонтированы в единый блок-трансформатор, залитые маслом или заполненные газом. К этим аппаратам относят как портативные аппараты для работы в полевых и монтажных условиях (например, РУП-120-5-1), так и стационарные высоковольтные аппараты (например, РУП-400-5-1);

2) аппараты кабельного типа, состоящие из самостоятельного генераторного устройства, рентгеновской трубки и пульта управления. Аппараты этого типа выпускают, как правило, передвижными и используют их для работы в цеховых и лабораторных условиях (например, РУП-150/300-10-1).

Импульсные аппараты в связи с их малым весом и габаритами служат в основном для работы в условиях стапеля и монтажа.

Технические характеристики рентгеновских аппаратов приведены в табл. 2.

Аппараты-моноблоки. В аппаратах-моноблоках обычно применяют наиболее простую схему (рис. 3) — полуволновую без выпрямителя. В этих аппаратах на трубку подается ток непосредственно от трансформатора высокого напряжения Т. Рентгеновская трубка РТ пропускает ток только в одном направлении в течение первого полупериода, а затем во время второго полупериода она запирает ток, работая как выпрямитель. Использование подобной схемы со-

кращает срок службы трубки, но простота устройства аппарата компенсирует этот недостаток.

Таблица 2

Технические характеристики рентгеновских аппаратов

Аппараты	Напряжение на аноде, кВ	Максимальный ток трубки, мА	Масса, кг	Потребляемая мощность, кВт·А
1. Моноблоки:				
РУП-160-6П	50-160	6	70	2,0
РУП-120-5-1	50-120	5	75	1,0
РУП-200-5-2	70-200	5	110	2,0
РУП-400-5-1	250-400	5	600	4,0
2. Кабельные:				
РУП-150/300-10-1	10-250	10	1000	4,0
РУП-200-20-5	70-200	20	750	4,0
РАП-150-03	35-150	10	1000	4,0
РАП-150/300-01	20-300	10	1000	8,0
3. Импульсные:				
ИРА-1Д	30-280	В импульсе	30	0,1
ИРА-2Д	30-350	200-3000 А	30	0,1
МИРА-3Д	30-320		22	0,6
РИНА-2Д	30-150		12	0,35
РАПС-1М	30-300		40	2,0
НОРА	30-300		18	0,3

Кабельные аппараты. В аппаратах кабельного типа применяют, как правило, схемы удвоения напряжения с двумя кенотронами или полупроводниковыми выпрямителями (рис. 4). Во время отрицательного полупериода напряжения конденсаторы C_1 и C_2 заряжаются через выпрямители B_1 и B_2 до половины амплитудного значения. С приходом положительного полупериода они оказываются включенными последовательно с вторичной обмоткой трансформатора и напряжение на аноде трубки увеличивается в два раза. Генерирование рентгеновского излучения происходит в течение полупериода. Схемы удвоения напряжения позволяют получать высокое напряжение без повышения размеров трансформатора и качества его изоляции.

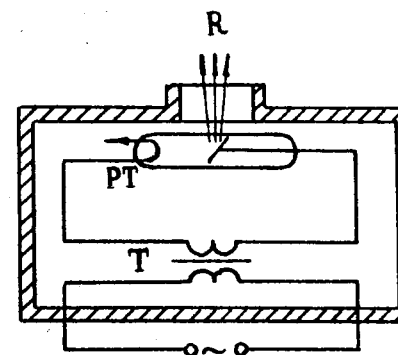


Рис. 3. Принципиальная схема рентгеновского аппарата-моноблока

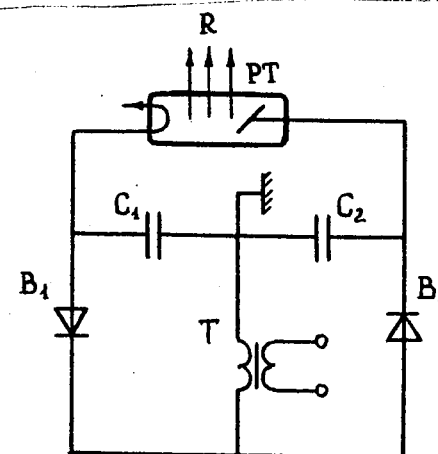


Рис. 4. Принципиальная схема высоковольтной части рентгеновского кабельного аппарата

Рентгеновский кабельный аппарат РУП-150/300-10-1. Переносимые аппараты этого типа применяют для просвечивания материалов и изделий в условиях лаборатории или цеха. Аппарат состоит из генераторного устройства, комплекта рентгеновских трубок, пульта управления, штатива и масляного насоса, который служит для охлаждения анода рентгеновской трубки. Аппарат рабо-

тает по схеме выпрямления с постоянным напряжением на рентгеновской трубке с заземлением анода. Высокое напряжение от генераторного устройства к рентгеновской трубке подводится высоковольтным соединительным кабелем. Питание высоковольтного трансформатора производится через автотрансформатор с плавной регулировкой (вариатор).

Напряжение сети включают на пульте управления выемным ключом, высокое напряжение в аппарате — электромагнитным пускателем. Вспомогательные цепи питаются от феррорезонансного стабилизатора напряжения. Реостатом накала регулируется анодный ток рентгеновской трубки. Аппарат снабжен блокировками и релейными устройствами защиты, обеспечивающими отключение высокого напряжения на рентгеновской трубке при нарушении нормальных рабочих режимов аппарата, а также электромеханическим реле времени на интервалы до 15 мин.

Генераторное устройство аппарата состоит из двух элементов: катодного и анодного. Катодный элемент представляет собой бак, заполненный трансформаторным маслом. В баке смонтированы трансформаторы (высоковольтный и накала рентгеновской трубки), блок высоковольтных селеновых выпрямителей, высоковольтный конденсатор, а также ограничительное сопротивление на высоковольтном выводе. Анодный блок выполнен аналогично катодному, но в нем отсутствует накальный трансформатор.

Конструкция аппарата позволяет применять его в двух режимах работы:

- 1) для питания рентгеновских трубок до 150 кВ используют один (катодный) элемент генераторного устройства;
- 2) для питания рентгеновских трубок на 150–300 кВ применяют одновременно два элемента генераторного устройства (анодный и катодный), соединенные последовательно.

Аппарат снабжен тремя рентгеновскими трубками:

- 1) рентгеновской трубкой типа 1,5БПВ-7-150 на 150 кВ, 10 мА (диаметр оптического фокуса 5 мм), имеющей вынесенный заземленный анод с кольцевым выходом рентгеновского излучения;
- 2) рентгеновской острофокусной трубкой типа 0,3БПВ-6-150 на 150 кВ, 2 мА с бериллиевым окошком (диаметр оптического фокуса 0,3–1,4 мм);
- 3) рентгеновской трубкой типа 2,5БПМ-4-250 на 250 кВ, 10 мА (диаметр оптического фокуса 4 мм).

10

Для каждого типа трубки имеется защитный кожух.

Пульт управления выполнен в виде тумбы на роликах. Внутри пульта управления расположены все низковольтные пускорегулирующие и релейные устройства аппарата. На лицевой панели пульта управления расположены ручки и кнопки управления аппаратом, контрольно-измерительные приборы и световые табло сигнализации.

Штатив аппарата обеспечивает перемещение и поворот защитных кожухов с рентгеновскими трубками в следующих пределах: по вертикали от 750 до 1800 мм от уровня пола, по горизонтали от 200 до 500 мм от оси колонны. Возможны также повороты защитного кожуха вокруг продольной и поперечной осей на 180° , а также поворот колонны штатива вокруг вертикальной оси на 45° . Штатив имеет привод от электродвигателя, обеспечивающий вертикальные перемещения защитного кожуха с рентгеновской трубкой.

Принципиальная упрощенная схема рентгеновского аппарата представлена на рис. 5.

В комплекте рентгеновского аппарата имеются следующие измерительные приборы: вольтметр для измерения анодного напряжения, миллиамперметр для измерения тока трубки, реле времени для отсчета времени экспозиции, приборы для измерения (индикации) температуры и давления охлаждающего вещества. Контроль за работой аппарата производится по показаниям измерительных приборов, а также по индикаторным лампочкам. Режимы работы аппарата устанавливаются с помощью переключателей (ВВ, P_1 – P_3) и реостатов, большая часть которых из условий безопасной работы включается на стороне низкого напряжения или заземляется миллиамперметром мА.

Защита электрических цепей осуществляется плавкими предохранителями ($ПР_1$ – $ПР_5$), реле и блокировкой, снимающей напряжение при открывании аппарата.

Питающее сетевое напряжение через предохранители $ПР_1$ и $ПР_2$, выключатель сети ВК, переключатель P_1 и реостат R_1 подводится к обмотке автотрансформатора АТ. О подключении аппарата к сети сигнализирует свечение лампы L_1 (зеленый цвет). С помощью переключателя P_1 и реостата R_1 корректируется (грубо и плавно) влияние изменений напряжения питающей сети, что обеспечивает правильную работу всех блоков рентгеновского аппарата. Контроль за правильностью установки осуществляется по показаниям вольтметра V_1 . Переключатель P_2 установлен для регулировки анодного напряжения рентгеновской трубки.



Переключатель P_3 управляет режимом работы рентгеновской трубки. В положении 3 рентгеновская трубка отключена. Два режима (положения переключателя 2 и 4) являются подготовительными, когда включен накал рентгеновской трубки РТ, поскольку анодное напряжение надо подавать при прогревом катода. При установке переключателя P_3 в положение 1 и 5 на трубку подается высокое напряжение и производится экспозиция. В положении 1 устанавливается один из стандартных режимов по цепи накала (резистор R_1 , переключатель P_2), а выдержка осуществляется с помощью реле времени РВ. Ток накала в положении 5 переключателя устанавливается оператором путем регулировки сопротивления реостата R_3 , а выдержка производится также оператором путем замыкания контактов кнопкой ВВ. Высокое напряжение подается при срабатывании реле Р и замыкании контактов K_1 и K_2 . Одновременно с этим замыкается контакт K_3 , выключающий лампу L_2 (красный цвет), которая сигнализирует о работе трубки в режиме излучения. Основные электрические цепи защищены плавкими предохранителями $ПР_1$ — $ПР_5$. Кроме того, в цепь подачи высокого напряжения последовательно включены контакты K_4 , отключающие эту цепь при перегреве или неправильной работе системы охлаждения.

12

пульсном аппарате образуется в рентгеновской трубке РТ под действием короткого импульса высокого напряжения, формируемого с помощью разрядника Р. Напряжение на трубку прикладывается со вторичной обмотки импульсного пик-трансформатора ИТ в момент разрядки накопительной емкости С через его первичную обмотку. Импульсные аппараты находят применение при контроле качества сварных соединений магистральных трубопроводов, на монтаже и т.п. Частота вспышек в импульсных рентгеновских аппаратах составляет 5–20 Гц, причем время импульса занимает всего 1–3 мкс. Ток в импульсе достигает 1000–2000 А и более. На рис. 6 имеются следующие обозначения: 1 – рентгеновская трубка; 2 – индуктивность; 3 – стакан; 4 – разрядник; 5 – корпус; 6 – импульсный трансформатор; 7 – высоковольтный разъем; 8 – маслорасширитель.

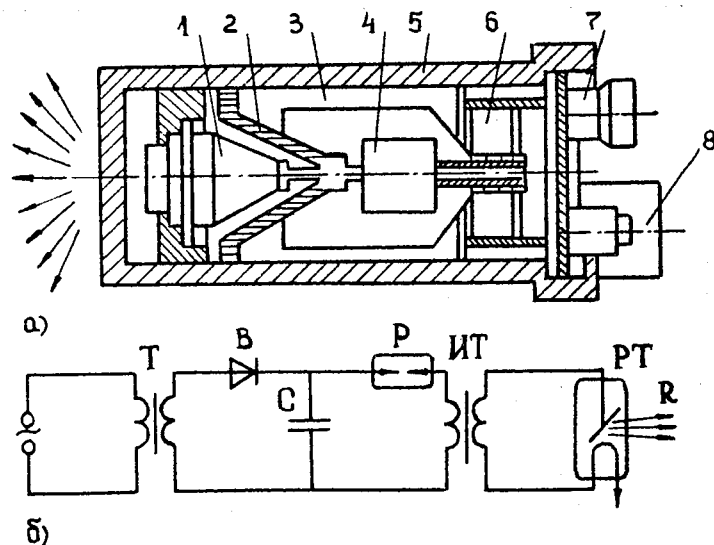


Рис. 6. Конструкция (а) и принципиальная схема (б) импульсного аппарата МИРА-1Д

2. ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ РЕНТГЕНОВСКОГО КОНТРОЛЯ

Основными параметрами, выбираемыми при контроле, являются: напряжение на рентгеновской трубке U , рентгеновская пленка с усиливающими экранами, фокусное расстояние и экспозиция.

Экспозиция представляет собой произведение тока трубки на время срабатывания.

При промышленной радиографии основным показателем качества выполненного снимка является относительная чувствительность, под которой понимают отношение (в %) размера минимального выявляемого дефекта или элемента эталона чувствительности к толщине просвечиваемого изделия.

Однако измерение чувствительности по эталону еще не дает представления о реальных размерах выявленных дефектов, а служит лишь средством оценки качества изображения дефектов на пленке. Используют различные типы эталонов: проволочные, пластинчатые или ступенчатые с канавками и отверстиями. Проволочные эталоны лучше, чем эталоны с канавками, имитируют дефекты сварки типа трещин и непроваров. Пластинчатые и ступенчатые эталоны с отверстиями хорошо имитируют дефекты типа пор, раковин, шлаковых включений. Необходимость использования того или иного эталона чувствительности регламентируется ТУ на контроль.

Наиболее распространенным является канавочный эталон чувствительности, который устанавливается на контролируемом изделии со стороны источника излучения; относительная чувствительность метода при этом определяется как

$$K = \frac{\Delta h}{d + h} \cdot 100\%,$$

где Δh – минимальная глубина канавки, видимая на пленке; d – толщина контролируемого изделия; h – толщина эталона чувствительности.

Чувствительность контроля тем выше, чем ниже энергия источника ионизирующего излучения (рис. 7), т.е. напряжение на трубке должно быть минимальным.

Радиография позволяет получить наиболее высокую чувствительность контроля по сравнению с другими методами радиационного контроля. Она составляет для рентгенографии 1,5–2 %, а для гаммаграфии – 3–5 % толщины контролируемого соединения.

Существенное влияние на выявляемость дефектов оказывает радиографическая нерезкость, которая может быть обусловлена различными причинами, наиболее важными из которых являются внутренняя (собственная) нерезкость пленок и геометрическая нерезкость.

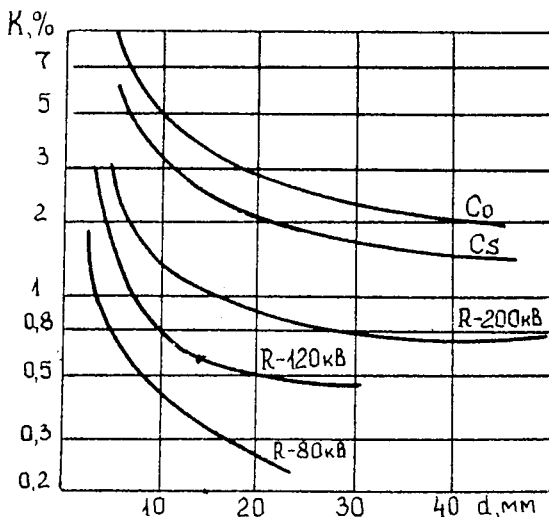


Рис. 7. Изменение чувствительности контроля при радиографии стали с толщиной материала

Внутренняя нерезкость пленок зависит от рассеяния вторичных электронов в эмульсионном слое пленки. Геометрическая нерезкость зависит от размеров источника излучения и геометрических условий просвечивания. При этом геометрические условия радиографии определяются фокусным пятном Φ , фокусным расстоянием F , расстоянием от контролируемого предмета до пленки и размером поля облучения. Для уменьшения нерезкости следует применять источники излучения с малым фокусным пятном. Однако уменьшение Φ приводит к снижению интенсивности излучения и увеличению времени экспозиции. Размеры Φ для используемых источников излучения составляют 2–15 мм.

Увеличение фокусного расстояния F позволяет уменьшить нерезкость, но при этом снижается интенсивность излучения и увеличивается время экспозиции. Значение F следует выбирать оптимальным. Обычно оно составляет 500–1000 мм.

Размер поля облучения выбирают таким, чтобы изменение оптической плотности посередине и на краях снимка не превышало 10%. Например, для листовых конструкций длину контролируемого за одну экспозицию участка шва определяют по соотношению $l \leq 0,8 f$

(где r - расстояние от источника излучения до поверхности контролируемого шва).

7. Толщина L слоя защиты от гамма-излучения, см

Кратность ослабления $K_{ос}$	Энергия излучения, МэВ																	
	0,2			0,3			0,4			0,6			1,0			1,25		
	Свинец	Железо	Бетон	Свинец	Железо	Бетон	Свинец	Железо	Бетон	Свинец	Железо	Бетон	Свинец	Железо	Бетон	Свинец	Железо	Бетон
1,5	0,1	0,9	4,7	0,15	1,2	6,3	0,2	1,4	7,5	0,3	1,6	8,2	0,8	2,1	8,5	0,95	2,15	8,6
5	0,4	2,5	11,0	0,6	3,4	15,5	0,9	4,1	18,8	1,5	5,1	21,8	2,8	6,4	23,5	3,4	6,9	24,6
10	0,55	3,5	14,6	0,9	4,6	19,7	1,3	5,6	23,7	2,1	6,8	26,8	3,8	8,5	29,9	4,5	9,3	31,9
50	0,85	5,2	18,8	1,4	7,1	25,1	1,95	8,4	30,8	3,25	10,3	37,6	6,0	12,7	44,6	7,2	13,9	48,5
100	1,0	6,1	21,1	1,6	8,1	28,9	2,3	9,6	35,2	3,85	11,7	43,0	7,0	14,5	50,5	8,45	16,1	54,5
500	1,4	7,7	24,6	2,2	10	35,2	3,1	12,0	43,9	5,1	14,9	54,5	9,2	18,7	64,6	11,3	20,6	69,8
$2 \cdot 10^3$	1,7	9,0	30,5	2,7	12,1	42,3	3,8	14,4	52,4	6,3	17,7	64,1	11,1	22,2	75,7	13,5	24,5	82,2
10^4	2,1	11,5	35,2	3,3	14,7	48,5	4,55	17,1	60,3	7,5	20,7	74,7	13,3	26,0	89,2	16,1	28,8	97,2
$5 \cdot 10^4$	2,3	13,8	42,3	3,7	17,0	56,4	5,2	19,6	68,6	8,7	23,6	83,4	15,6	29,9	102	18,8	33,0	112
$2 \cdot 10^5$	2,6	15,9	56,7	4,1	19,3	69,8	5,7	21,8	79,4	9,6	26,1	92,4	17,5	33,3	113	21,3	36,8	125
$5 \cdot 10^5$	2,8	16,9	66,4	4,4	20,4	79,8	6,1	23,2	89,8	10,2	27,8	104	18,5	35,4	124	22,3	39,1	140

(где r - расстояние от источника излучения до поверхности контролируемого шва).

Выбор пленок и усиливающих экранов осуществляют в соответствии с табл. 3.

Таблица 3

Коэффициент усиления k для рентгеновских пленок
(при оптической плотности снимков 1,5-1,8)

Типы экранов	Рентгеновские пленки				
	РТ-1	РТ-3	РТ-4	РТ-6	РТ-2
Без экранов	1	1,8	5	15	2
Металлические свинцовые	0,5	0,9	2,5	7,5	1
Флуоресцентные:					
"Стандарт"	1,5	1,2	2,9	14	0,29
УФД-П/2	0,77	0,58	1,4	6,8	0,14
УФД-П/3	0,51	0,39	0,95	4,5	0,09
СБ	0,91	0,70	1,7	8,1	0,17

Выбор экспозиции производят по номограммам (рис. 8). Такие номограммы существуют для сплавов железа, алюминия, титана и магния и приведены в специальной литературе [2]. Эти материалы называют базовыми.

Номограммы даны для определенной пленки и фокусного расстояния F_0 . При переходе к иной комбинации пленок, экранов и фокусных расстояний F_1 пересчет производят по формуле

$$t = t_0 \frac{k}{k_0} \frac{F_1^2}{F_0^2} \quad (3)$$

где t_0 - время просвечивания по номограмме; k_0 - коэффициент усиления для пленки по номограмме.

При контроле импульсными аппаратами (МИРА-1Д - поз. 1, МИРА-2Д - поз. 2 и МИРА-3Д - поз. 3 на рис. 9) по номограмме определяют время экспозиции, после чего на пульте аппарата устанавливают требуемое количество вспышек.

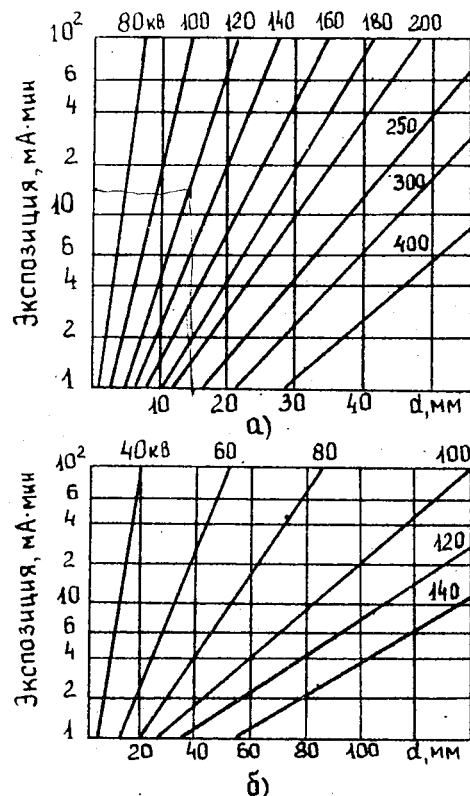


Рис. 8. Номограммы экспозиций при радиографии сталей (а) и алюминиевых сплавов (б) рентгеновскими лучами (пленка РТ-І, $F = 750$ мм)

При контроле материалов, для которых не имеется номограмм экспозиций, производят расчет времени экспозиции по эквивалентной толщине базового материала $d_{\text{экв}}$, определяемой по выражению

$$d_M = \frac{\mu_0 \cdot d_{\text{экв}}}{\mu_M}$$

где d_M - толщина контролируемого материала; μ_0, μ_M - соответственно линейные коэффициенты ослабления базового и контролируемого материалов для энергии $E_{\text{эфф}}$.

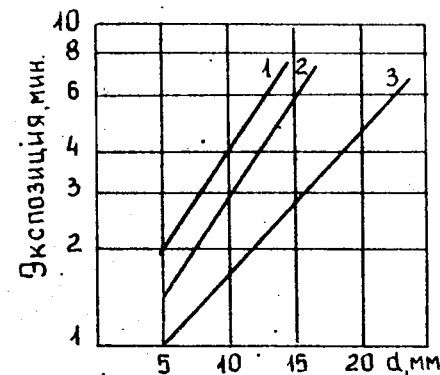


Рис. 9. Номограммы выбора времени экспозиции при радиографии стали импульсными аппаратами

В качестве $E_{\text{эфф}}$ принимают энергию излучения, соответствующую $2/3 U_{\text{max}}$. Значения U_{max} для различных материалов приведены в приложении 2.

Значения линейных коэффициентов ослабления для различных материалов приведены в приложении 3.

3. РАСШИФРОВКА РАДИОГРАФИЧЕСКИХ СНИМКОВ

Расшифровку снимков и оценку качества проконтролированного сварного соединения производят операторы-расшифровщики, которые по выполненным радиограммам дают заключения о наличии дефектов. Радиограммы расшифровывают в проходящем свете на негатоскопах.

Так как рентгеновская пленка является детектором с высоким уровнем собственных шумов, вызванных неравномерностью полива эмульсии, некачественным проявлением (и т.д.), расшифровщики должны уметь отличать эти дефекты пленки от дефектов изделия. В сомнительных случаях проводят повторное просвечивание или сразу применяют зарядку двумя пленками.

В каждой отрасли промышленности в настоящее время существуют собственные правила и нормы, регламентирующие как уровень дефектности сварных соединений, так и требования к качеству выполнения самой радиограммы. В общем виде снимок должен удовлетворять следующим требованиям:

1) на радиограмме должен быть виден весь сварной шов с уси-

лением и околошовная зона, ширина которой определяется правилами контроля;

2) на снимке должны быть отчетливо видны маркировочные знаки и эталоны чувствительности;

3) на снимке должны отсутствовать пятна, царапины, отпечатки пальцев, подтеки, белый налет от плохой промывки и другие дефекты пленки и обработки.

При контроле сварных соединений на радиограммах выявляют следующие дефекты:

1) трещины продольные и поперечные в наплавленном и основном металле, направление которых совпадает с направлением просвечивания в диапазоне углов от 0 до $10-12^{\circ}$;

2) непровары сплошные и прерывистые;

3) вольфрамовые и шлаковые включения;

4) поры - газовые включения;

5) подрезы, проплавы, прожоги.

Правила фотообработки рентгеновских пленок приведены в работе 9.

4. ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ

В отчете по работе должны быть представлены:

1) схемы высоковольтных частей рентгеновских аппаратов (моноблоков, кабельных, импульсных);

2) технические характеристики аппарата РУП-150/300-10-1;

3) результаты выбора параметров контроля для заданного сварного соединения;

4) результаты определения чувствительности метода по канавочному эталону (рентгеновская пленка выдается преподавателем).

Работа 2. КОНТРОЛЬ ГАММА-ЛУЧАМИ

Цель работы - ознакомление с промышленными типами гамма-дефектоскопов и технологией гаммаграфирования.

1. ГАММА-ДЕФЕКТОСКОПЫ

Гамма-дефектоскопы предназначены для выявления скрытых дефектов сварных соединений и других изделий просвечиванием их гамма-излучением радионуклидов. Дефектоскопы состоят, как правило, из следующих узлов: радиационной головки с защитным блоком, в котором находится источник гамма-излучения; привода,

управляющего выпуском и перекрытием пучка излучения; систем сигнализации об излучении и наведении пучка на объект контроля.

Радиационная головка (рис. 10) состоит из кожуха 1 с защитным слоем 3, в котором находится ампула 2 с источником излучения. Перемещение ампулы производится с помощью троса 4, положение ампулы фиксируется рукояткой 5.

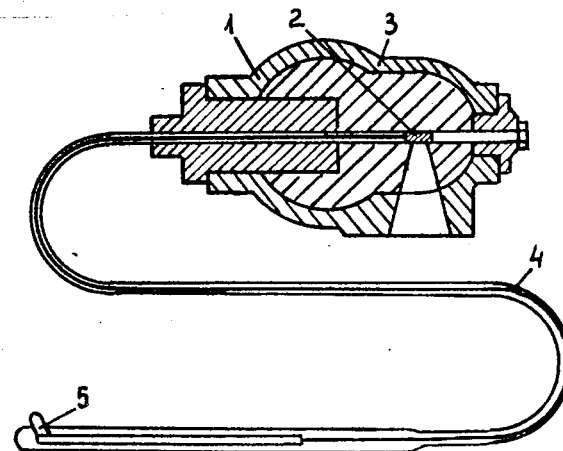


Рис. 10. Принципиальная схема радиационной головки

В комплект гамма-дефектоскопов входят также штативные устройства, вспомогательные принадлежности, транспортно-перезарядные контейнеры для безопасной транспортировки и перезарядки источников в эксплуатационных условиях, коллиматоры и диафрагмы, обеспечивающие получение пучков излучения различной формы и размеров. По своей конструкции гамма-дефектоскоп должен быть прост, прочен, надежен в эксплуатации и мобилен. Основные характеристики некоторых гамма-дефектоскопов даны в табл. 4.

Такие гамма-дефектоскопы, как РИД-2ИМ, "Станель-5М" и другие, являются портативными и полностью автономными. Это обеспечивает их успешное использование в полевых и монтажных условиях при отсутствии электроэнергии. Шланговые гамма-дефектоскопы типа РИД-2ИМ, в которых источник излучения может подаваться из радиационной головки по ампулопроводу в зону контроля на расстоянии до 12 м, оказываются незаменимыми при фронтальном и панорамном

просвечивании сварных соединений, расположенных в таких трудно-доступных местах, как междудонные пространства и отсеки кораблей, трубные конструкции энергетических установок и т.п.

Таблица 4

Технические характеристики гамма-дефектоскопов

Дефектоскоп	Источник излучения		МЭД на расстоянии I м		Диаметр активной части, мм	Масса радиационной головки, кг
	Вид	Тип	A/кг	P/c		
"Газпром"	Cs-I37	ГИД-Ц-2	$1,3 \cdot 10^{-7}$	$5 \cdot 10^{-4}$	5,0	20
	Ir-I92	ГИД-И-4	$6,5 \cdot 10^{-7}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$	2,0	
"Стпель-5М"	Ir-I92	ГИД-И-3	$3,85 \cdot 10^{-7}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$	1,5	8
"Трасса"	Cs-I37	ГИД-Ц-2	$1,3 \cdot 10^{-7}$	$5 \cdot 10^{-4}$	5,0	21
"Гаммарид-60/40"	Co-60	ГИД-К-8	$3,1 \cdot 10^{-5}$	$1,2 \cdot 10^{-2}$	7,0	145
"Гаммарид-192/120 К"	Cs-I37	ГИД-Ц-2	$1,3 \cdot 10^{-7}$	$5 \cdot 10^{-4}$	5,0	16
	Ir-I92	ГИД-И-6	$3,85 \cdot 10^{-6}$	$1,5 \cdot 10^{-2}$	4,0	
ГИД-2IM	Cs-I37	ГИД-Ц-2	$1,3 \cdot 10^{-7}$	$5 \cdot 10^{-4}$	5,0	25
	Ir-I92	ГИД-И-4	$6,5 \cdot 10^{-7}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$	2,0	
ГИД-4I	Co-60	ГИД-К-8	$3,1 \cdot 10^{-5}$	0,12	7,0	900

Гамма-дефектоскопы для фронтального просвечивания, такие как "Трасса", "Стпель-5М" и другие, обеспечивают выпуск и перекрытие конусных, пирамидальных и кольцевых пучков непосредственно из радиационной головки с помощью встроенных или сменных коллиматоров. Применяют гамма-дефектоскопы и других марок, например "Газпром" для просвечивания труб и др.

В качестве защитных материалов, эффективно ослабляющих излучение, в радиационных головках и контейнерах используют свинец, сплавы на основе вольфрама или обедненный уран. Защитные блоки всех гамма-дефектоскопов ослабляют гамма-излучение до безопасных уровней.

2. ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ГАММА-КОНТРОЛЯ

Основными параметрами, выбираемыми при просвечивании гамма-лучами, являются: энергия излучения, рентгеновская пленка, усиливающие экраны, фокусное расстояние, экспозиция.

Энергию излучения для заданного материала и толщины сварного соединения определяют путем выбора соответствующего изотопа по табл. 5.

Таблица 5

Толщины базовых материалов при гаммаграфировании, мм

Источник излучения	Материал			
	Fe	Ti	Al	Mg
Tm-I70	до 4	до 8	до 50	до 80
Se-75	2-40	4-70	10-200	25-250
Ir-I92	10-70	20-120	45-250	65-300
Cs-I37	25-100	50-170	95-300	130-420
Co-60	35-200	100-340	190-550	280-820

Пленку, усиливающие экраны и фокусные расстояния выбирают так же, как и при рентгеновском просвечивании.

Экспозицию определяют по номограммам. Удобно пользоваться универсальными номограммами (рис. II), позволяющими устанавливать время просвечивания для базовых материалов различными изотопами при различных фокусных расстояниях. Выбор времени просвечивания осуществляют следующим образом.

Для выбранного изотопа проводят горизонтальную линию через точку, соответствующую толщине контролируемого материала, до пересечения с вертикальной линией, определяющей мощность экспозиционной дозы P . Затем через найденную точку пересечения проводят линию, параллельную диагоналям n , до пересечения с вертикальной линией, соответствующей выбранному фокусному расстоянию F , после чего по оси ординат определяют время просвечивания t .

При расчетах необходимо учитывать снижение МЭД источников вследствие их радиоактивного распада. Расчет МЭД ведут по выражению (I), подставляя вместо Q значения P . При изменении

типа пленки пересчет времени экспозиции выполняют по выражению (3).

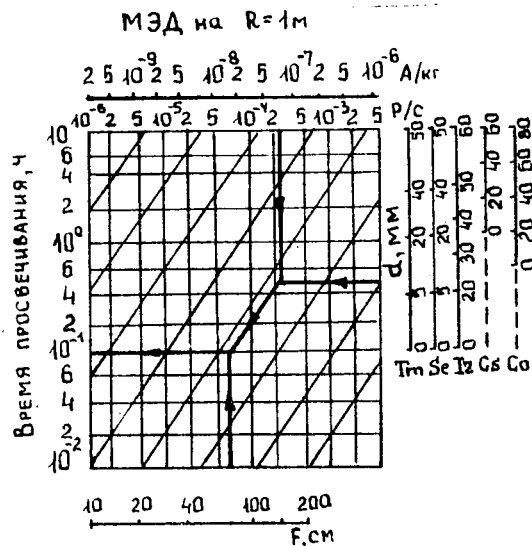


Рис. II. Универсальная номограмма для определения времени экспозиции при гаммаграфировании стали с использованием пленки РТ-1

При контроле материалов, не являющихся базовыми, расчет осуществляют по эквивалентной толщине базового материала, определяемой по выражению

$$\alpha_{\text{экв}} = \alpha_M \frac{\rho_M}{\rho_0},$$

где ρ_0, ρ_M - соответственно плотности базового и контролируемого материалов.

Если в качестве базового материала применяется железо, то расчет $\alpha_{\text{экв}}$ можно выполнять с помощью коэффициентов эквивалентности $k_{\text{экв}}$. В этом случае $\alpha_{\text{экв}} = \alpha_m k_{\text{экв}}$.

Значения $k_{\text{эвб}}$ приведены в приложении 4. Коэффициенты эквивалентности можно использовать и при просвечивании рентгеновскими лучами.

Расшифровка пленок при гаммаграфировании производится так же, как и при рентгенографировании.

3. ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ

В отчете по работе должны быть представлены:

- 1) характеристики основных изотопных источников гамма-излучения;
- 2) принципиальная схема радиационной головки гамма-дефектоскопа;
- 3) результаты выбора параметров контроля для заданного сварного соединения.

Работа 3. РАДИОСКОПИЯ ИЗДЕЛИЙ

Цель работы - ознакомление с принципами работы, основными схемами и областями применения радиоскопии изделий и сварных соединений.

Радиационная интроскопия (радиоскопия) основана на просвечивании изделий ионизирующим излучением, преобразовании скрытого радиационного изображения объекта в светотеневое или электронное изображение, усилении и передаче этих изображений или непосредственно оператору, или на расстояние с помощью оптических и телевизионных систем для последующего визуального анализа на выходных экранах.

1. РАДИОСКОПИЧЕСКИЕ ДЕТЕКТОРЫ

При радиоскопии сварных соединений и изделий используют следующие физические явления:

- а) люминесценцию кристаллических веществ под действием ионизирующих излучений;
- б) фотоэффект под действием ионизирующих излучений или вызванной ими люминесценции;
- в) вторичную электронную эмиссию при преобразовании электронных изображений в электрические сигналы.

Детекторами ионизирующего излучения являются флуороскопические экраны (ФЭ), синтетилляционные кристаллы (СК), электролюминесцентные экраны (ЭЛЕ), электронно-оптические преобразователи (ЭОП), электронно-оптические усилители яркости (ЭОУ) и рентгеновизитоны (РВ).

Основные радиоскопические детекторы - это ФЭ, СК, ЭЛЭ, ЭОП, последние два детектора одновременно служат и усилителями яркости изображения.

Флуороскопические экраны. Принцип действия ФЭ основан на мгновенной люминесценции кристаллов (люминофоров) под действием ионизирующих излучений. Достаточно высокая яркость свечения ФЭ может быть получена для материалов небольшой толщины (не более 4–6 мм стали).

Сцинтилляционные кристаллы. Принцип действия СК основан на способности монокристаллов типа CsI(Tl) , NaI(Tl) и других светиться под действием ионизирующих излучений. Разрешающая способность СК выше, чем ФЭ. Диаметр монокристаллов до 200 мм.

Электролюминесцентные экраны. Принцип действия электролюминесцентных экранов основан на свечении некоторых люминофоров под действием переменного электрического поля, при этом происходит усиление яркости свечения.

Двухэлектродный ЭЛЭ (рис. 12) представляет собой слоистый конденсатор, состоящий из наружной прозрачной основы 1, электропроводящих полупрозрачных слоев 2 и 7, заключенных между ними слоев фотопроводника 6 и электролюминофора 3, а также разделяющих непрозрачных слоев 4 и 5, устраняющих обратную связь между электролюминофором и фотопроводником. К проводящим покрытиям 2 и 7 подводят переменное напряжение 600–800 В с частотой 60–3000 Гц.

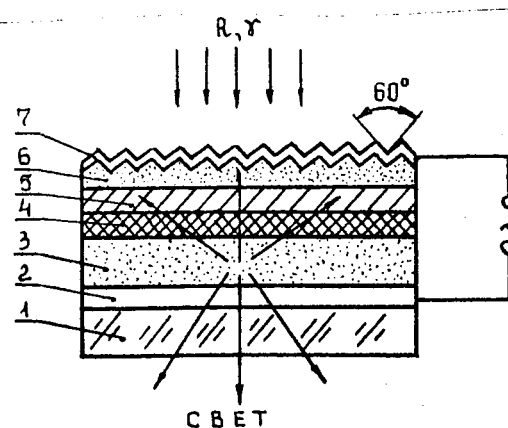


Рис. 12. Схема электролюминесцентного экрана

При отсутствии ионизирующего излучения основная доля напряжения падает на фотопроводнике из-за высокого значения его электрического сопротивления, в то время как на слой электролюминофора приходится незначительная часть падения напряжения, в связи с чем он не люминесцирует. При облучении фотопроводника ионизирующим излучением его сопротивление уменьшается с увеличением интенсивности излучения, напряжение на электролюминофоре также возрастает, что вызывает его свечение, которое можно наблюдать через стекло 1.

Электронно-оптические преобразователи. Принцип действия ЭОП основан на люминесценции люминофора под действием ионизирующего излучения с последующим усилением яркости изображения за счет ускорения фотоэлектронов, испускаемых фотокатодом в электростатическом поле (рис. 13).

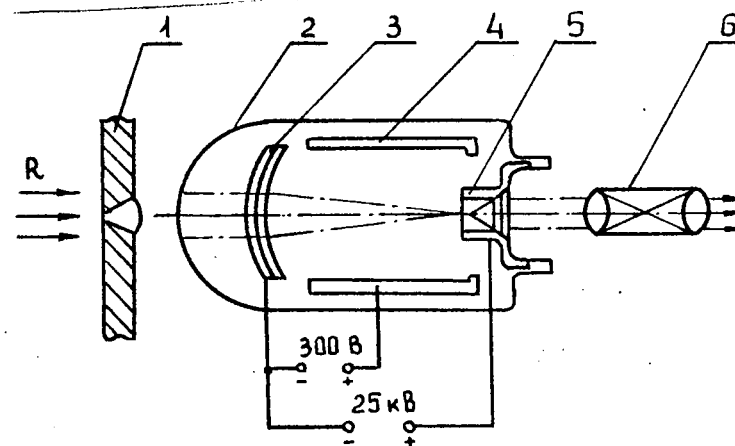


Рис. 13. Схема ЭОП

ЭОП выполнен в виде стеклянного баллона 2, в котором имеются входной и выходной экраны. Входной экран 3 состоит из алюминиевой подложки сферической формы, слоя люминофора и фотокатода. Выходной экран 5 по размерам в 10 раз меньше входного экрана. Он состоит из конусообразного анода, внутри которого установлена стеклянная пластинка с нанесенным на нее слоем люминофора. Внутренняя поверхность баллона имеет покрытие 4, служащее фокусирующим электродом. Электрод 4 находится под напряжением 300 В,

разность потенциалов между катодом и анодом 25 кВ. Под действием рентгеновских лучей флуоресцирует входной экран, начинающий люминесцировать, что вызывает испускание фотокатодами фотоэлектронов, которые фокусируются и ускоряются электрическим полем, попадают на выходной экран и вызывают его свечение. Изображение контролируемого соединения I рассматривают на экране Б через свинцовое стекло с помощью оптической системы Б или передают на приемную телевизионную трубку. Яркость усиления в ОП достигает 10^3-10^4 раз. Диаметр входного экрана 100-250 мм. Современные ОП позволяют изменить масштаб изображения за счет изменения разности потенциалов между электродами. Выходную информацию обычно регистрируют и анализируют с помощью преобразованных телевизионных установок (ПТУ).

Электронно-оптические усилители яркости. Принцип действия ЗОУ основан на усилении яркости свечения ФЭ, СК и ОП за счет каскадного ускорения фотоэлектронов, испускаемых фотокатодами ЗОУ, в электростатических полях с последующей люминесценцией выходных экранов каждого каскада усиления. Усиление яркости в ЗОУ составляет 30-100 на каждую ступень. С ростом числа каскадов разрешающая способность ЗОУ падает.

Рентгеновидикон. Принцип действия РВ основан на свойстве фотокатода мишени испускать фотоэлектроны под действием ионизирующего излучения, последующего ускорения фотоэлектронов в электрическом поле и регистрации полученного электронного изображения катодом трубки. Далее сигнал передается через телевизионный блок связи на приемную трубку, где происходит преобразование электронного изображения в светотеневое. Телевизионное увеличение РВ составляет 2-50 раз, разрешающая способность 10-50 линий на 1 мм. Характеристики детекторов приведены в табл. 6, а области применения детекторов, регистрирующих информацию с помощью ПТУ, указаны в табл. 7.

Таблица 6

Технические характеристики детекторов

Детектор	Коэффициент усиления яркости	Разрешающая способность, лин/мм	Рабочий диапазон энергий, кэВ
I	2	3	4
ФЭ	I	3	60-150
СК	5-15	5-12	150-2000

Окончание табл. 6

I	2	3	4
ЗЛЭ	$10-10^2$	3-10	60-300
ЭОП	10^3-10^4	I-3	60-2000
ЭОУ	10^4-10^5	I-2	60-2000
РВ	20-50	0,5-50	40-1500

Таблица 7

Области применения радиометрических детекторов

Материалы	Толщина, мм	Энергия рентгеновского излучения, кэВ	Детекторы + ПТУ
Алюминий	I-5	60-120	РВ, ЭОП
	I5-50	I50-300	ФЭ
Титан	I-8	I20-200	РВ
	8-25	I50-300	СК
	св. 25	св. 400	СК
Сталь	I-6	I20-200	РВ
	6-20	I50-300	СК, ЭОП

2. РАДИОСКОПИЧЕСКИЕ ДЕФЕКТОСКОПЫ

В практике радиационной интроскопии различают следующие методы:

а) прямое преобразование скрытого радиационного изображения объекта в светотеневое;

б) каскадное преобразование скрытого радиационного изображения объекта в светотеневое как с непосредственной оптической передачей визуальной информации оператору, так и с ее дистанционной передачей с помощью ПТУ.

Типовая функциональная схема рентгенотелевизионного интроскопа представлена на рис. I4. Интроскоп состоит из рентгеновской трубки 2 с фокусирующей системой I.

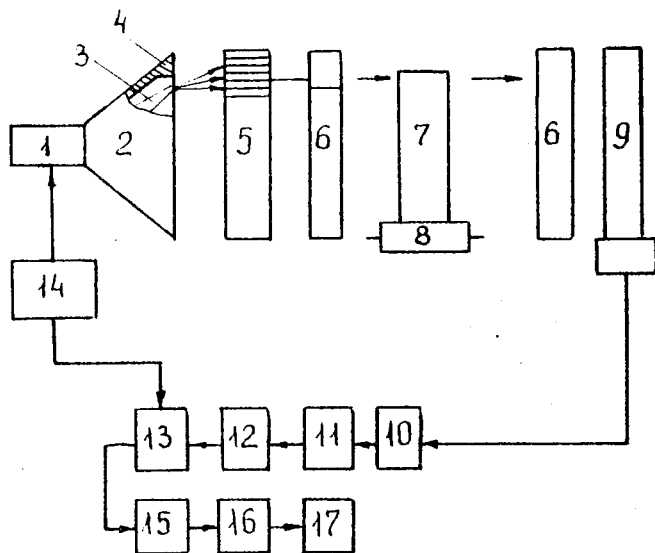


Рис. 14. Функциональная схема интроскопа

В трубке происходит построение сканирования объекта и односторонняя развертка электронного пучка 3 вдоль анода 4. При перемещении контролируемого изделия 7 перед рентгеновской трубкой с помощью конвейера 8 осуществляется контроль объекта узким рентгеновским лучом, формируемым многоселевым коллиматором 5 и щелевой диафрагмой 6. При этом параметры коллиматора выбирают из условия достижения максимального отношения "сигнал - шум" при выявлении локального дефекта заданного размера. Изображение внутренней структуры изделия формируется приемным устройством 9, преобразуется в электронных блоках, включающих аналого-цифровой преобразователь 10, блок регистровой памяти 11, оперативное запоминающее устройство 12, мультитексор 13 и блок обработки сигналов 15. Выходной сигнал о характере и параметрах дефектов попадает на цифровой автомат печати 16 и видеоконтрольное устройство 17. Управление работой интроскопа осуществляется через блок управления 14.

Чувствительность методов интроскопии при контроле металлов средней плотности в 2-4 раза хуже радиографии (рис. 15), поэто-

му радиационную интроскопию применяют в сочетании с радиографией при контроле ответственных изделий. На рис. 15 кривая 1 - результаты регистрации на ЭОП, 2 - на СК+ЭОУ, 3 - на СК+ПТУ, 4 - на РТ-1, 5 - на РТ-5, 6 - на РВ+ПТУ.

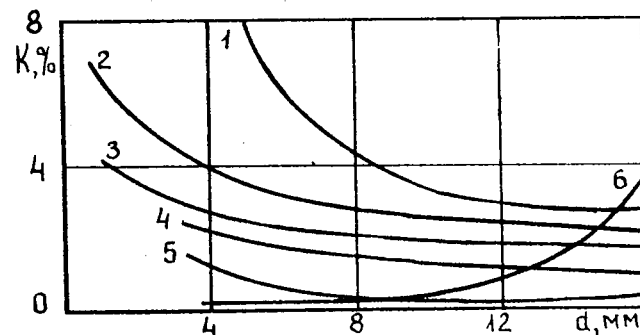


Рис. 15. Чувствительность к выявлению дефектов в стали при регистрации методами радиационной интроскопии и радиографирования

При контроле сварных соединений из легких сплавов и пластмасс обеспечивается максимальная яркость экранов, а следовательно, и высокая чувствительность контроля, сравнимая с радиографической. Производительность контроля достигает 2-3 м/мин. Одним из важных достоинств интроскопии является возможность получения стереоскопических изображений неподвижных или движущихся объектов при их просвечивании от двух источников под различными углами.

Технические характеристики промышленных интроскопов для контроля тонкостенных сварных и паяных изделий приведены в табл. 8.

Таблица 8

Технические характеристики интроскопов

Установка	Источник излу- чения	Радиа- ционный преоб- разова- тель	Разре- шающая способ- ность, лин/мм	Скорость контро- ля, м/мин	Чувстви- тель- ность
МТР-34	РУП-150-10-1	РВ	20	-	20-30 мкм
ПТУ-38	РУП-150-10-1	РВ	-	0,3	20 мкм
РН-60ТК-1	РАП-150/300-01	ЭОП	1	3,0	2-4 мкм

3. ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ

В отчете по работе должны быть представлены:

- 1) схема работы ЭОП;
- 2) сравнение чувствительности контроля с ЭОП с радиотелескопией;
- 3) функциональная схема и принцип работы рентгенотелевизионного интроскопа.

Работа 4. РАДИОМЕТРИЧЕСКАЯ ДЕФЕКТОСКОПИЯ ИЗДЕЛИЙ

Цель работы – ознакомление с принципами работы, основными схемами и областями применения радиометрических дефектоскопов.

Радиометрическая дефектоскопия (радиометрия) основана на просвечивании изделий ионизирующими излучениями, преобразовании плотности потока энергии или спектрального состава прошедшего излучения в пропорциональный им электрический сигнал.

1. РАДИОМЕТРИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

Радиометрическими преобразователями являются сцинтилляционные счетчики (СС), ионизационные камеры (ИК) и газоразрядные счетчики (ГС).

Сцинтилляционные счетчики. Принцип действия СС основан на измерении интенсивности световых вспышек, возникающих в люминофорах при прохождении через них ионизирующих излучений. Регистрацию вспышек производят с помощью фотоэлектронных умножителей (ФЭУ).

Счетчик работает следующим образом. Ионизирующее излучение (рис. 16) поступает на сцинтиллятор 1 и создает в нем световые вспышки, часть которых попадает на фотокатод 2 фотоэлектронного умножителя, размещенный в баллоне 5. Полупрозрачный сурьмяно-цезиевый фотокатод 2 нанесен на внутреннюю поверхность ФЭУ. Под действием фотонов с катода вылетают фотоэлектроны, которые, пройдя через фокусирующую диафрагму 3, попадают под действие электрического поля электродов-умножителей 4 и собираются на аноде 6. Питание ФЭУ осуществляется от источника стабилизированного напряжения 1–2 кВ через делитель напряжения 7. При протекании тока на сопротивлении 8 появляется импульс напряжения, который подают в регистрирующий прибор 9, состоящий из усилителя, пересчетного прибора, механического счетчика или показыва-

ющего прибора. Сцинтилляционные счетчики применяют при регистрации любых видов ионизирующих излучений.

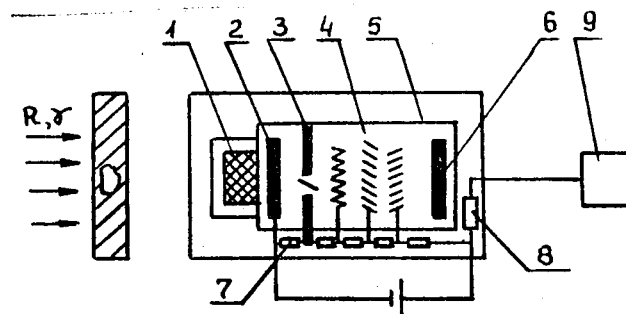


Рис. 16. Устройство сцинтилляционного счетчика

Ионизационные камеры. Принцип действия ИК (рис. 17) основан на ионизации газа в измерительном объеме I между электродами 2 и 3, находящимися под напряжением от источника питания 4, при облучении камеры ионизирующим излучением. Возникающий в цепи ток, значение которого пропорционально интенсивности падающего излучения, регистрируется измерительным прибором 5. При увеличении напряжения на электродах (рис. 18) постоянной интенсивности излучения импульс (или ток в цепи) сначала увеличивается (область I), затем становится постоянным, достигая значения тока насыщения, а затем вновь возрастает.

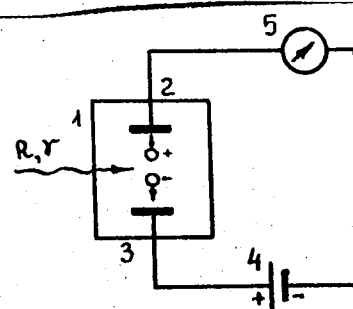


Рис. 17. Схема ионизационной камеры

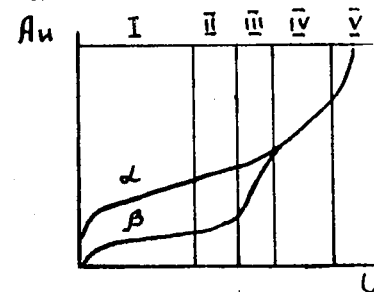


Рис. 18. Зависимость тока импульса на выходе счетчиков от напряжения

Ионизационные камеры обычно работают в режиме тока насыщения, когда каждый акт ионизации дает составляющую тока. По току насыщения судят об интенсивности прошедшего излучения.

Ионизационные камеры применяют главным образом для регистрации корпускулярных излучений α и β . (На рис. 18: III – область ограниченной пропорциональности; V – область непрерывных разрядов; об областях II и IV см. ниже.)

Газоразрядные счетчики. Принцип действия ГС (рис. 19) основан на возникновении газового разряда, сопровождающегося усилением ионизационного тока при прохождении через измерительный объем I между электродами 2 и 3 отдельных ионизирующих частиц. В зависимости от характера разряда различают пропорциональные счетчики (область II на рис. 18) и счетчики Гейгера (область IV). Рабочее напряжение газоразрядных счетчиков 300–1750 В. Такие счетчики применяют обычно при регистрации мягких ионизирующих излучений.

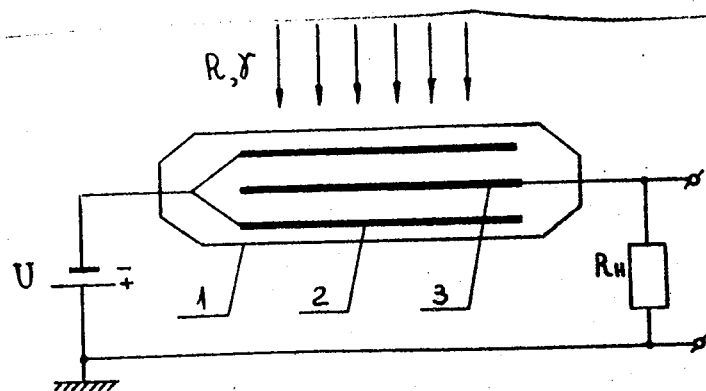


Рис. 19. Схема газоразрядного счетчика

Наибольшую эффективность регистрации имеют ГС (табл. 9).

Таблица 9

Эффективность регистрации ионизирующих излучений радиометрическими преобразователями, %

Преобразователи	Энергия излучения, МэВ			
	0,005	0,05	0,66	1,25
СС	80–100	100	56	45
ИК	1–2	1–2	1–2	1–2
ГС	30–50	0,05–1	0,3–1	0,8–1

2. РАДИОМЕТРИЧЕСКИЕ ДЕФЕКТОСКОПЫ

При радиометрической дефектоскопии (рис. 20) пучок ионизирующего излучения от источника I, коллимированный коллиматорами 2, сканирует по поверхности контролируемого объекта 3 в различных направлениях 4.

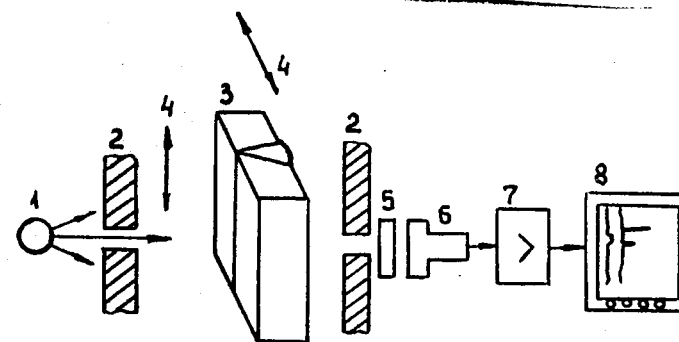


Рис. 20. Схема радиометрии сварного соединения

Излучение, прошедшее через контролируемый участок, регистрируется детектором 5, далее преобразуется в электрический сигнал, пропорциональный интенсивности (плотности потока) излучения, падающего на детектор в ФЭУ 6. Электрический сигнал через усилитель 7 поступает на регистрирующее устройство 8. В качестве выходных регистрирующих устройств обычно применяют миллиамперметр, механический счетчик отдельных импульсов, осциллограф,

самопишущий потенциометр и т.д. При наличии дефектов в материале (пустота) регистрирующее устройство отмечает возрастание интенсивности (потока) излучения. Наличие дефектов может регистрироваться отклонением стрелки прибора, записью на самопишущем приборе, срабатыванием реле, приводящего в действие исполнительный механизм, который отмечает на изделии дефектные участки, и т.д. Источник излучения и детектор устанавливают с противоположных сторон (работа в прямом пучке) контролируемого объекта и одновременно передвигают параллельно поверхности просвечиваемого материала и все время на одинаковом расстоянии от нее. Иногда сканируют контролируемое изделие при неподвижном источнике и детекторе.

Регистрация дефектов при радиометрии осуществляется дискретным или аналоговым методами.

При дискретном (счетном) методе определяют суммарное число импульсов $\sum N$ на выходе детектора (рис. 21а). В этом случае импульсы произвольной формы от детектора 1 с ФЭУ 2 попадают на формирователь 3, где преобразуются в импульсы прямоугольной формы. Импульсы считают с помощью счетного устройства 4 в течение заданного интервала времени, определяемого таймером 5.

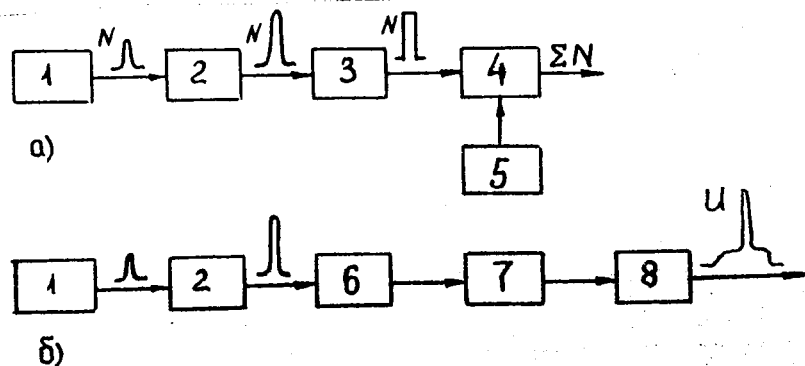


Рис. 21. Дискретная (а) и аналоговая (б) схемы регистрации дефектов при радиометрии

При аналоговом методе (рис. 21б) измеряют суммарный заряд детектора, вызванный ионизацией регистрируемого излучения, с помощью интегрирующей ячейки 7. Для снижения флуктуаций напряжения на ячейке в схему вводят дополнительный формирователь 6, нормирующий поступающий на него импульс по току. При регистрации записывают самописцем 8 изменение выходного напряжения во времени. Увеличение среднего напряжения сигнализирует о наличии дефекта.

В промышленных радиометрических дефектоскопах обычно используют гамма-излучение. Технические характеристики дефектоскопов приведены в табл. 10.

Таблица 10

Технические характеристики радиометрических дефектоскопов

Дефектоскопы	Контролируемая толщина стали, мм	Скорость сканирования, мм/с	Источник излучения	Объект контроля
АСРК-1	250-320	$1,6 \cdot 10^3$	Со -60	Горячий прокат
РДР-21	20-100	10-50	Сз -137	Трубы
РДР-25	70-200	1	Со -60	Сварные швы
РД-11Р	50-500	0,25	Со -60	Сварные швы

3. ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ

В отчете по работе должны быть представлены:

- 1) виды и принципы работы преобразователей;
- 2) схемы радиометрического контроля и регистрации дефектов;
- 3) технические характеристики радиометрических дефектоскопов.

Работа 5. РАДИАЦИОННАЯ ТОЛЩИНОМЕТРИЯ

Цель работы – ознакомление с принципами работы, блок-схемами и техническими характеристиками промышленных толщиномеров.

Радиометрические преобразователи получили широкое распространение при контроле толщины материалов. В радиационных толщиномерах применяют прямую и компенсационную схемы измерений. При прямой схеме используют один источник И и один радиационный преобразователь П, а при компенсационной – сочетания ИИ+2П или 2И+1П, или 2И+2П.

1. ТОЛЩИНОМЕРЫ ТИПА ТРГ

Упрощенная функциональная схема толщиномера типа ТРГ, построенного по компенсационной схеме с непосредственным измерением толщины листа по интенсивности прошедшего излучения, представлена на рис. 22. Толщину листа определяют по разности интенсивностей от источника И, падающих на преобразователи Π_1 и Π_2 . Для снижения потока излучения преобразователь Π_2 часто закрывают экранирующей шторкой ЭК, которая служит для установки начального показания толщиномера. На рис. 22 КУ – контролируемый объект, БП – блок питания.

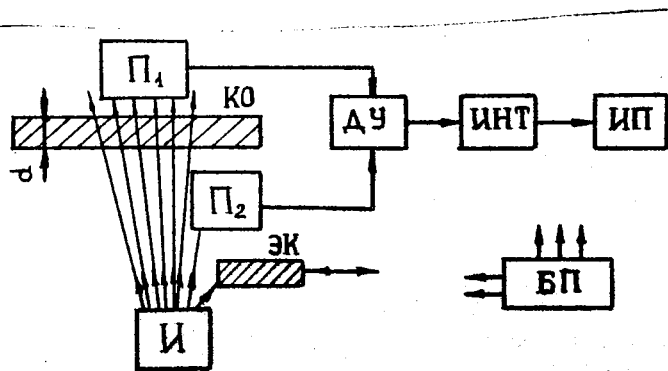


Рис. 22. Функциональная схема толщиномера компенсационного типа

Электрические сигналы с преобразователей поступают на дифференциальный усилитель ДУ. При отклонении толщины от номинального значения, устанавливаемого при настройке, на выходе усилителя получается сигнал того или иного знака. Интегрирующий блок ИНТ усредняет импульсные сигналы, поступающие от усилителя ДУ, и создает напряжение постоянного тока, которое подается на измерительный прибор ИП, показывающий отклонение толщины листа от номинального значения. В толщиномере устраняется (регулировка шторкой ЭК) погрешность, вызванная непосредственно изменением интенсивности источника излучения, но не учитывается ее влияние на чувствительность толщиномера, что приводит при больших отклонениях к появлению погрешности, равной относительному значению изменения интенсивности излучения. Поэтому такие толщиномеры требуют периодической подстройки по контрольным или стандартным образцам, особенно при использовании радиоактивных источников.

2. ТОЛЩИНОМЕРЫ ТИПА ИТГ

В толщиномерах типа ИТГ, структурная схема которого представлена на рис. 23, применен способ компенсации погрешности эталоном ЭК в сочетании с системой автоматического слежения, что дает возможность получать меньшую погрешность измерений, чем в толщиномере ТРГ. Излучение от источника И, ограниченное коллимирующей насадкой КН, попадает на преобразователи Π_1 и Π_2 через контролируемый объект КУ и эталонный образец ЭО, выполненный в виде пластины переменной толщины (клина) из того же материала, что и КУ. Сигналы от преобразователей передаются в блок сравнения БС, где они вычитаются друг из друга. Разностный сигнал поступает на усилитель У, а затем усредняется интегратором ИНТ. Сигнал постоянного тока с интегратора через усилитель мощности УМ воздействует на исполнительный двигатель ИД. Под действием постоянного тока, величина и направление которого зависят от отклонения толщины, ИД перемещает эталонный образец до тех пор, пока между источником И и преобразователем Π_2 не окажется участок ЭО, средняя эквивалентная толщина которого будет равна толщине КУ. В этом случае разностный сигнал интегратора будет равен нулю и ИД остановится. Отсчет толщины КУ производится в этот момент с помощью стрелки указателя УК, механически связанной с ЭО, по неподвижной шкале ШК. Кроме того,

с валом ИД механически связан измерительный блок ИБ, перемещение потенциометра в котором создает электрический сигнал, вызывающий соответствующее показание индикаторного прибора ИП. Питание всех блоков осуществляется от блока питания БП.

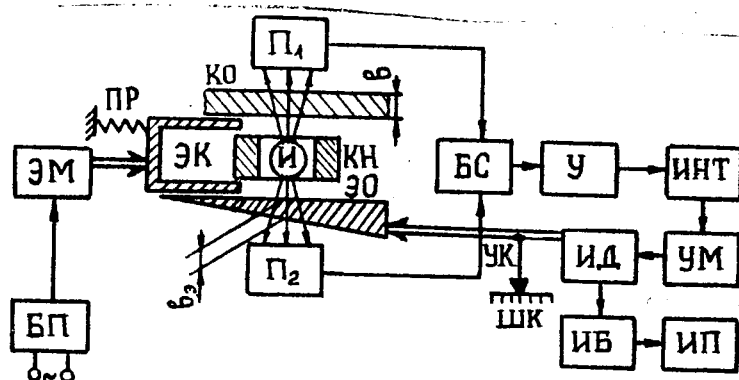


Рис. 23. Функциональная схема толщиномера ИТГ

Для того чтобы защитить персонал и окружающую среду от ионизирующего излучения в нерабочее время, предусмотрен защитный экран ЭК (затвор), открывающий источник только при включении толщиномера для работы путем пропускания тока от БП через электромагнит ЭМ. В этом случае ЭМ перемещает ЭК от выходного отверстия коллимирующей насадки КН, открывая И. При выключении питания ЭК закрывает И с помощью возвратной пружины ПР.

Технические характеристики толщиномеров для промышленных полуфабрикатов приведены в табл. II.

Рентгеновские толщиномеры являются бесконтактными, поэтому изменение химического состава и структуры материалов мало влияют на показания измерений. Однако эти аппараты сложны и требуют обеспечения необходимых требований техники безопасности.

Таблица II

Технические характеристики толщиномеров

Толщиномеры	Контролируемая толщина стали, мм	Схема измерений	Источник излучения	Преобразователи	Область применения
ТРГ-7Г38	0,8-16	II+2П	Рентген. аппарат на 100 кВ	СС	Горячий прокат
ИТГ-5688	0-12	2И+3П	Рентген. аппарат на 120 кВ	СС+ФЗУ	Горячий прокат
ИТ-5465	0,03-1,2	2И+2П	Радионуклиды: Sr-90, Kr-85 и др.	ИК	Холодный прокат

3. ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ

В отчете по работе должны быть представлены:

- 1) блок-схемы и принципы действия толщиномеров ТРГ и ИТГ;
- 2) технические характеристики промышленных толщиномеров.

Работа 6. РЕНТГЕНОВСКАЯ ТОМОГРАФИЯ

Цель работы - изучение принципов действия, устройства и технических характеристик промышленных рентгеновских вычислительных томографов.

Высокоэффективным методом неразрушающего контроля является вычислительная томография, которая позволяет по объемной информации об интенсивности прошедшего через контролируемый объект излучения установить распределение значений линейного коэффициента ослабления в различных сечениях объекта. Томограммы обеспечивают значительно большую информативность, чем другие методы радиационного контроля, поскольку позволяют определять внутреннюю геометрическую структуру, распределения плотности и элементного состава материала контролируемого объекта. Обработка получаемой информации ведется на ЭВМ.

Преобразователями ионизирующих излучений в томографах являются СС или ИК высокого давления.

І. ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ БЛОК-СХЕМА ТОМОГРАФА

Излучающая часть рентгеновского вычислительного томографа (рис. 24) содержит рентгеновский излучатель РИ, формирователь пучка ФП, высоковольтный стабилизированный блок питания ВСБП и систему охлаждения СО. В томографе РИ должен быть более качественным, чем при обычном контроле, т.е. иметь меньшее фокусное пятно, более стабильный спектральный состав излучения, постоянную интенсивность (и др.). Для этого применяют коллиматор, компенсаторы и фильтры, стабилизируют источник питания, а также вводят управление РИ от ЭВМ.

Сканирующее устройство в виде механизма точного перемещения МП обеспечивает взаимное перемещение контролируемого объекта КО относительно излучателя и комплекта преобразователей КП, причем так, чтобы это движение имело строго постоянную скорость. Это устройство представляет собой сложную систему, в состав которой входят: прецизионный механический привод; блоки стабилизации параметров движения; измерительные датчики координат; устройство для обмена сигналами между подвижной и неподвижной частями установки; кабельные устройства; узлы крепления и подачи контролируемого объекта; элементы, обеспечивающие безопасную работу с томографом; пульт управления сканирующей системой и блоки индикации.

Обычно перемещается КО, рентгеновский комплекс и преобразователи неподвижны. В этом случае облегчен съем и передача информации, но более жесткими являются требования к механизму перемещений при контроле разнотипных объектов.

Комплект первичных измерительных преобразователей КП снабжен коллиматором и фильтром ФП, что формирует пучок излучения отдельных преобразователей и существенно снижает влияние рассеянного излучения. Комплект преобразователей позволяет сканировать КО по второй координате путем опроса отдельных преобразователей. В качестве преобразователей в томографах используют сцинтилляционные кристаллы с фотоэлектронными умножителями или ионизационные камеры.

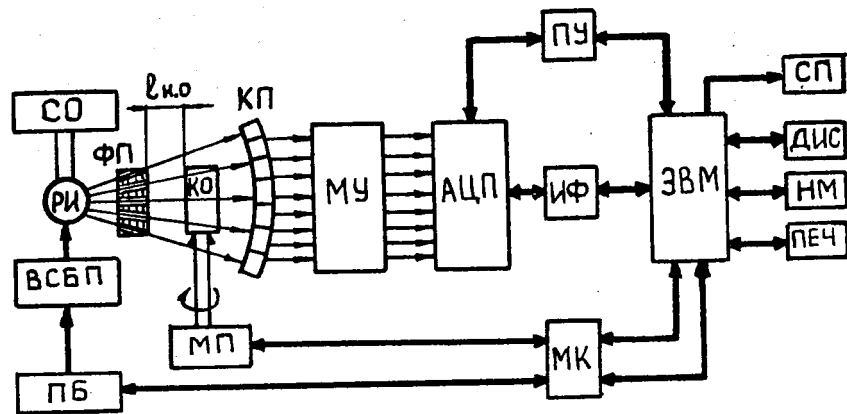


Рис. 24. Функциональная схема рентгеновского вычислительного томографа

Сигналы от КП подводятся к многоканальному усилителю МУ, откуда поступают к аналого-цифровому преобразователю АЦП для формирования из них упорядоченных цифровых сигналов для последующей обработки и затем через интерфейс ИФ к ЭВМ.

Работу томографа организует мини-ЭВМ, которая собирает всю необходимую информацию для реконструкции послойных изображений и управляет согласованной работой всех блоков. Микроконтроллер МК через блок подстройки ПБ управляет работой РИ, МП и передачей информации от КП к ЭВМ в режимах, задаваемых оператором с пульта управления ПУ. ЭВМ редактирует и упорядочивает сведения, полученные по каждому из направлений, устраняет ошибки и погрешности и обрабатывает информацию с учетом координат лучей с помощью специального процессора СП. Результаты расчетов формируются в виде квадратной матрицы (256x256 или 512x512 элементов) значений линейных коэффициентов ослабления и запоминаются в накопителях на магнитных дисках или лентах НМ. Полученные данные могут в зависимости от заданного режима работы томографа выводиться на дисплей ДИС, алфавитно-цифровое печатающее устройство ПЕЧ, передаваться на центральное или более мощное вычислительное устройство и т.д. Оператор может документировать информацию путем распечатки всего изображения или его отдельных количественных характеристик и проводить калибровку и диагностику томографа в целом.

Томографы находят наиболее частое применение для объектов контроля с небольшим затуханием излучения: легких сплавов, композитов, углепластиков, резины и тому подобных материалов толщиной до 20 мм с внешними размерами до 1,5 м при разрешении по линейному коэффициенту ослабления до 0,5 %. Технические характеристики промышленных рентгеновских томографов приведены в табл. 12.

Таблица 12

Технические характеристики томографов

Установка	Источник излучения	Максимальный диаметр изделия, мм	Толщина контролируемого слоя, мм	Максимально разрешаемая способность, %	Контролируемые материалы
1	2	3	4	5	6
BT-200	УН1-120/33Т	200	10	0,5	Легкие сплавы, пластмассы

Окончание табл. 12

1	2	3	4	5	6
BT-300	УРП-300/10Т	300	2-10	0,5	Легкие сплавы
BT-1000	УРП-420/10	1000	2-10	0,5	Легкие сплавы
BT-1500	Ускорители с энергией 1-10 МэВ	1500	20	0,5	Композиты

2. ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ

В отчете по работе должны быть представлены:

- 1) функциональная блок-схема и принцип работы томографа;
- 2) типы и технические характеристики промышленных томографов.

Работа 7. РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИ КОНТРОЛЕ ИЗДЕЛИЙ

Цель работы - изучение методов расчета средств защиты от ионизирующих излучений.

1. НОРМЫ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Ионизирующие излучения воздействуют на ткани живых организмов, ионизируя их. При этом в тканях происходят химические и биологические процессы, эффект которых в зависимости от дозы облучения может быть или полезным, или вредным. Однократное облучение большой дозой приносит больший вред, чем длительное облучение малыми дозами.

Для защиты от ионизирующих излучений применяют различные защитные устройства, как стационарные (стены, перекрытия), так и передвижные (защитные кожухи рентгеновских трубок, контейнеры для перевозки и хранения радионуклидов, защитные экраны, ширмы и т.п.). Эти средства изготавливают из различных материалов: свинца, железа, чугуна, порошка вольфрама, бетона, баритобетона, кирпича, синтетического стекла и др.

Нормами радиационной безопасности НРБ-76 установлены три категории облучаемых лиц: А - профессиональные работники, Б - лица, не работающие непосредственно с источниками излучений, но которые по роду своей деятельности могут подвергаться воздействию радиоактивных веществ, В - остальное население.

Кроме того, установлены три группы критических органов:
 I - все тело, костный мозг; II - мышцы, внутренние органы;
 III - кожный покров, руки и ноги.

Для каждой категории облучаемых лиц установлены три класса нормативов:

- а) основные дозовые пределы;
- б) допустимые уровни;
- в) рабочие контрольные уровни.

Для персонала (категории А и Б) установлены предельно допустимые дозы (ПДД), а для населения - пределы дозы (ПД) излучений. Эквивалентные дозы излучений измеряют в зивертах (Зв) или бэрах ($1 \text{ Зв} = 10^2 \text{ бэр}$). Дозовые пределы для внешнего и внутреннего облучения приведены в табл. I3.

Таблица I3

Дозовые пределы облучения за год, бэр

Категория лиц	Группа органов		
	I	II	III
А	5	15	30
Б	0,5	1,5	3

Мощности экспозиционной дозы P измеряют в мкЗв/ч или мбэр/ч. Значения мощностей доз, используемые при расчетах защиты от излучений, приведены в табл. I4.

Таблица I4

Проектные мощности доз P_0 для различных помещений, мбэр/ч

Помещения	Категория лиц	Время работы в неделю t , ч	
		36	41
Для постоянного пребывания	А	1,4	1,2
Для пребывания не более 18 ч/нед.		2,8	2,4
Смежные помещения		28	24
Любые	Б	0,14	0,12

2. РАСЧЕТ ЗАЩИТЫ ОТ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

При расчете защиты от излучений все источники излучений рассматриваются как точечные. Расчет позволяет определить толщину средств защиты из свинца или бетона от излучения в зависимости от дозы облучения D для лиц соответствующей категории на расстоянии R от источника. При этом

$$P = P_m I / R^2,$$

$$D = 3.6 \cdot 10^5 \cdot P \cdot I \cdot \tau / R^2,$$

где P - мощность экспозиционной дозы на некотором расстоянии от трубки, Р/с; P_m - мощность экспозиционной дозы на расстоянии I м от трубки при токе I мА; I - сила тока в трубке, мА; τ - время работы рентгеновской трубки в неделю, ч.

Расчет ведут по коэффициенту ослабления

$$K_{oc} = 10^2 I \cdot \tau / (36 \cdot D_0 \cdot R^2),$$

где D_0 - проектная недельная экспозиционная доза, мР. Для лиц, работающих в рентгеновских кабинетах, $D_0 = 50$ мР. При $\tau = 36$ ч в неделю

$$K_{oc} = 2 \cdot I / R^2. \quad (4)$$

Для смежных помещений для лиц категории Б при $\tau = 36$ ч

$$K_{oc} = 20 I / R^2. \quad (5)$$

По значению K_{oc} и напряжению на трубке U определяют толщину слоя защиты d_0 . Таблицы значений K_{oc} при прямом и рассеянном рентгеновском излучении приведены в приложении 6. Таблицы составлены для плотности бетона $\rho_{бет} = 2,35 \text{ кг/дм}^3$. При отклонении фактической плотности бетона $\rho_{бет}$ от расчетной полученное значение d_0 умножают на отношение $2,35 / \rho_{бет}$. Обычно к расчетному значению d_0 прибавляют толщину слоя половинного $\delta_{0,5}$ или десятикратного $\delta_{0,1}$ ослабления. Тогда $\alpha = d_0 + \delta_{0,5}$ или $\alpha = d_0 + \delta_{0,1}$. Значения $\delta_{0,5}$ и $\delta_{0,1}$ приведены в табл. I5.

При напряжениях на трубке свыше 300 кВ расчет защиты ведут по специальным номограммам (рис. 25).

Таблица 15
Толщины $\delta_{0,5}$ и $\delta_{0,1}$ слоев защиты от радиационного излучения, мм

U, кВ	$\delta_{0,5}$		$\delta_{0,1}$	
	Свинец	Бетон	Свинец	Бетон
100	0,2	15	0,7	51
150	0,3	23	1,0	76
200	0,5	28	1,7	91
250	0,9	29	3,0	97
300	1,7	31	5,6	102

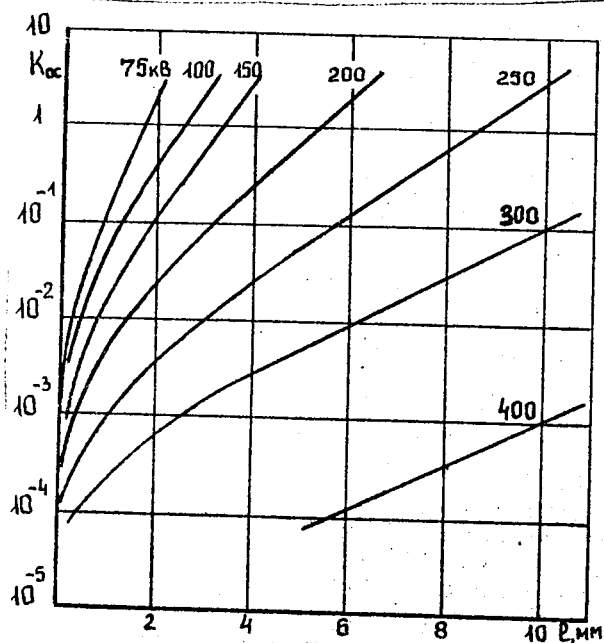


Рис. 25. Номограммы для определения толщины слоя защиты из свинца при рентгеновском контроле

3. РАСЧЕТ ЗАЩИТЫ ОТ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ

Расчет защиты также производят по коэффициенту ослабления $K_{0c} = P/P_0$ с помощью номограмм. Номограмма для расчета толщины L слоя защиты от излучения иридия-192 приведена на рис. 26 (1 - свинец, 2 - железо, 3 - бетон). Аналогичные номограммы разработаны и для других радионуклидов. При расчетах можно также использовать таблицы приложения 7.

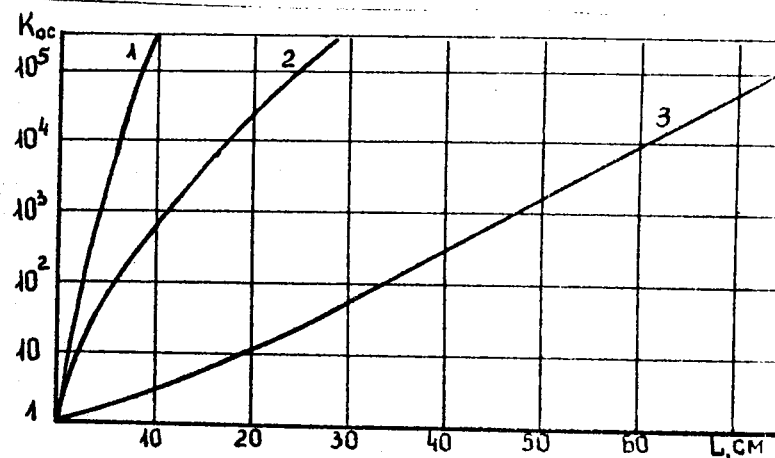


Рис. 26. Номограмма для расчета толщины слоя защиты от гамма-излучения иридия

В работе предлагается рассчитать толщины слоев защиты из свинца и бетона для лиц категорий А и Б. Технические характеристики источников излучения задаются преподавателем.

4. ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ

В отчете по работе должны быть представлены:

- 1) принципы расчета защиты от рентгеновских и гамма-лучей;
- 2) результаты расчетов.

Работа 8. ДОЗИМЕТРИЯ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Цель работы - изучение принципов действия и устройства, а также приобретения практических навыков работы с дозиметрическими приборами.

Для измерений дозы или мощности дозы излучений применяют специальные приборы-дозиметры, которые подразделяют на индивидуальные, контрольные и дозиметры с автоматическими сигнализирующими устройствами.

Среди индивидуальных дозиметров наибольшее распространение получили карманные конденсаторные ионизационные камеры, а также пленочные и люминесцентные приборы. Они измеряют дозу излучения. Ионизационная камера дозиметра соединена с электроскопом или электроскопом. Общие принципы работы ионизационных камер рассмотрены в работе 4.

1. ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ДОЗИМЕТРЫ

Наиболее распространены карманные дозиметры ДК-0,2 и КИД-2. В дозиметре ДК-0,2 (рис. 27) используют комбинацию ионизационной камеры с электроскопом, позволяющим визуально измерять дозу излучения. В этом случае камера и электроскоп помещаются в корпусе дозиметра 3. Ионизационная камера имеет внешний электрод 4, в котором закреплен объектив 5. Кварцевая нить 6 электроскопа закреплена в изоляторе 7 с помощью держателя 11. В мембране 8 находится подвижной контакт 9, через который осуществляют зарядку электроскопа с помощью зарядного устройства. Контакт закрыт съемным колпачком 10. Отсчет по шкале 12 производят через защитное стекло 1 и окуляр 2. Заряженный электроскоп разряжается под действием излучения, дозу измеряют в миллирентгенах (мР).

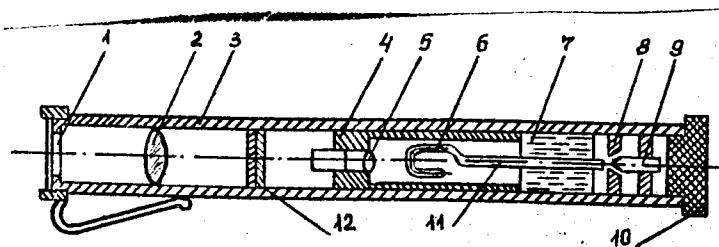


Рис. 27. Схема карманного дозиметра ДК-0,2

Технические характеристики индивидуальных дозиметров приведены в табл. 16.

Таблица 16

Технические характеристики индивидуальных дозиметров

Дозиметр	Энергия излучения, кэВ	Диапазон измерений дозы, Р	Погрешность измерений, %
КИД-2	20-150	0,005-0,05	±60
	150-2000	0,05-1,0	±10
ДК-0,2	20-2000	0,01-0,2	±15

2. КОНТРОЛЬНЫЕ ДОЗИМЕТРЫ

Дозиметры общего контроля измеряют мощности доз, их называют рентгенометрами и радиометрами. Детекторами излучений в этих дозиметрах также служат ионизационные камеры. Технические характеристики приборов приведены в табл. 17.

Автоматическую сигнализацию о мощности дозы обеспечивают радиометры УСИТ-1 или УСИТ-2.

Таблица 17

Технические характеристики рентгенометров и радиометров общего контроля

Приборы	Энергия излучения, кэВ	Пределы измерений мощности дозы, мкР/с
ДРТЗ-01 "Витим"	30-1250	1-1000
ДРТЗ-02	20-3000	0,01-100
ДРТЗ-03	20-3000	0,1-1000
"Кактус"	Любая	0-20000
"Сигнал"	Любая	0,03-1400
СРП-2 "Кристалл"	Св. 50	0-2500

3. ОЦЕНКА ПОГЛОЩАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ МАТЕРИАЛОВ

С помощью дозиметрических приборов можно определять коэффициенты ослабления ионизирующих излучений материалами. Известно, что при прохождении ионизирующих излучений через вещество их ин-

тенсивность изменяется по экспоненциальному закону (2). Из этого выражения легко получить, что

$$\mu = \frac{\ln \frac{I_0}{I_d}}{d} \quad (6)$$

Тангенс угла наклона кривой $\ln \frac{I_0}{I_d} = f(d)$ дает значение μ - линейного коэффициента ослабления излучения материалом.

Измерения значений величин μ удобно производить с помощью микро рентге нометра "Кактус". Их выполняют в следующем порядке:

1. Устанавливают тумблер "Сеть" в положение "Выключено", тумблер "Сигнал" в положение "Выключено", а переключатель "Поддиапазоны" в положение "x100".

2. Включают тумблер "Сеть" и прогревают прибор в течение 15-20 мин, после чего устанавливают нуль на шкале прибора регулятором "Установка нуля".

3. Переводят тумблер "Установка нуля" в положение "Работа".

4. Включают рентгеновскую установку и устанавливают требуемые значения напряжения и тока (задаются преподавателем).

5. Измеряют мощность дозы P_0 излучения без поглотителя.

6. Помещают на выходе рентгеновских лучей поочередно различное число (5-6) алюминиевых пластин одинаковой толщины и измеряют мощности дозы P_1, P_2 и т.д. Данные заносят в табл. 18.

7. То же выполняют для стальных пластин.

8. Строят графики зависимостей $\ln \frac{P_0}{P_d} = f(d)$ и определяют значения μ для обоих материалов.

При измерениях регистрируют мощности доз, которые изменяются при изменении толщины материалов пропорционально изменению интенсивности излучения.

Таблица 18
Результаты измерений мощности дозы рентгеновских лучей

Материалы	Мощности доз, мкР/с							μ , 1/см
	P_0	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	
Алюминий								
Сталь								

4. ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ

В отчете по работе должны быть представлены:

- 1) схема устройства и принцип работы дозиметра ДК-0,2;
- 2) технические характеристики микро рентгенометра "Кактус";
- 3) описание методики измерений значений линейного коэффициента ослабления и их результаты.

Работа 9. МЕТОДЫ ФОТООБРАБОТКИ РЕНТГЕНОВСКИХ ПЛЕНОК

Цель работы - изучение технических характеристик и правил фотообработки рентгеновских пленок.

Рентгеновские пленки являются основным видом детекторов при радиационном контроле. Их действие основано на фотохимическом эффекте взаимодействия ионизирующих излучений с веществом. Изображение на пленке характеризуется степенью (плотностью) почернения

$$D = \lg (L_0 / L_n),$$

где L_0, L_n - световые потоки, падающие и прошедшие через негатив.

Каждый тип пленки обладает чувствительностью, измеряемой величиной, обратной экспозиционной дозе излучения, при которой степень почернения на определенное значение (0,85) больше плотности вуали на пленке. Чувствительность пленки обозначают $S_{0,85}$ и измеряют в P^{-1} . Технические характеристики основных рентгеновских пленок представлены в табл. 19.

Таблица 19

Технические характеристики рентгеновских пленок

Тип пленки	Чувствительность пленки $S_{0,85}, P^{-1}$		Разрешающая способность, линий/мм	Примечания*
	без экранов	с экраном		
I	2	3	4	5
PM-I	18	300	73-78	ВЧ, 3
PM-2	20	400	73-78	ВЧ, 3
PM-3	12	300	78	ВЧ, 3
PT-I	50-60	100	68-73	ВЧ, БЗ

Окончание табл. 19

I	2	3	4	5
PT-2	25	350	68-73	ВЧ, Э
PT-3	20-30	35-45	80-110	ВЧ, БЭ
PT-4M	9-12	-	110-140	МЗ, БЭ
PT-5	3-5	13	140-180	ОМЗ, БЭ

* ВЧ - высокочувствительная, МЗ - мелкозернистая, ОМЗ - особомелкозернистая, Э - экранная, БЭ - безэкранная.

Пленки PT-1 и PT-3 безэкранные и наиболее чувствительные. Экранные пленки PT-2, PM-1, PM-2 и PM-3 обладают высокой чувствительностью и обеспечивают высокую эффективность контроля при использовании флюоресцирующих экранов. Безэкранный мелкозернистая пленка PT-4M имеет среднюю чувствительность. Безэкранный особомелкозернистая пленка PT-5 обладает наибольшей разрешающей способностью и наименьшей чувствительностью.

После экспонирования пленки обрабатывают химическими растворами. Фотообработка включает проявление (преобразование скрытого фотоизображения в видимое), промежуточную промывку водой от проявителя, фиксирование изображения (удаление из раствора остатков невосстановленного бромистого серебра для получения светлого и прозрачного изображения), окончательную промывку водой от фиксажа и сушку. Обычно время фотообработки составляет 0,5-1 ч.

1. ТЕХНОЛОГИЯ ФОТООБРАБОТКИ РЕНТГЕНОВСКИХ ПЛЕНОК

Проявление пленок. В состав фотографического проявителя входят:

- 1) проявляющие вещества, которые восстанавливают бромистое серебро в металлическое, - гидрохинон, метол и парааминофенол;
- 2) сохраняющее вещество, предохраняющее проявитель от быстрого окисления, - сульфит натрия;
- 3) ускоряющее вещество, которое ускоряет реакцию восстановления бромистого серебра, - сода, поташ, едкий натр и едкий калий;
- 4) противовуалирующее вещество, препятствующее проявлению незэкспонированных зерен бромистого серебра, - бромистый калий;

5) растворитель всех вышеуказанных веществ - вода.

Составы проявителей рентгеновских пленок приведены в табл. 20. Завод-изготовитель пленок рекомендует стандартные метолгидрохиноновые проявители "Рентген-1" и "Рентген-2". Может быть также рекомендован фенидон-гидрохиноновый проявитель № 5, который не токсичен и позволяет сократить время проявления пленок. Проявители с увеличенным содержанием проявляющих веществ (№ 1 и 3) по сравнению со стандартными позволяют повысить скорость проявления, но при этом возрастает зернистость и снижается чувствительность пленки.

Таблица 20

Проявители рентгеновских пленок

Химические реактивы, г	Концентрация проявителя				
	1	2*	3	4**	5
Метол (ГОСТ 5.1177-71)	3,5	2,0	5,0	2,2	-
Гидрохинон (ГОСТ 2549-60)	9,0	8,0	7,5	8,8	8,0
Фенидон (МРТУ 6.09-1203-64)	-	-	-	-	0,5
Сульфит натрия:					
безводный (ГОСТ 195-66) или	60	90	60	72	37,5
кристаллический (ГОСТ 303-66)	120	180	120	144	75
Натрий углекислый:					
безводный (ГОСТ 83-63) или	44	48	48	40	50
кристаллический (ГОСТ 84-66)	118	130	50	108	135
Калий бромистый	3,5	5,0	4,5	4,0	2,0
(ГОСТ 4160-74)					
Бензотриазол	-	-	-	-	0,3
(МРТУ-09-805-63)					
Вода дистиллированная или					
питьевая при 20 °С до объема					
(ГОСТ 2874-73), л	1	1	1	1	1

* "Рентген-1".

** "Рентген-2".

При приготовлении и использовании проявителей рекомендуется соблюдать следующие правила:

а) проявитель готовят на дистиллированной или кипяченой питьевой воде;

б) химикаты растворяют в объеме воды, равном 2/3 объема приготовляемого раствора, после растворения химикатов в раствор добавляют воду до получения полного объема проявителя;

в) при растворении химикатов необходимо строго придерживаться последовательности, указанной в рецепте проявителя;

г) каждое последующее вещество добавляют в раствор только после полного растворения предыдущего;

д) для ускорения растворения химикатов воду рекомендуется подогревать, но не более чем до 50 °С во избежание разложения проявляющих веществ;

е) при растворении химикатов не следует взбалтывать раствор, так как при этом он растворяет кислород воздуха, окисляющий проявляющие вещества, раствор нужно осторожно перемешивать стеклянной или деревянной палочкой;

ж) после приготовления раствор следует профильтровать;

з) использовать раствор рекомендуется не ранее чем через 12 ч после приготовления, при необходимости использования свежеприготовленного раствора его следует смешивать с отработанным в пропорции 3:1;

и) готовый проявитель необходимо хранить в темном месте в плотно закрытой посуде, доливая раствор до уровня пробки.

В одном литре проявителя обрабатывают до 1 м² рентгеновских пленок. Число пленок различного формата, которое можно проявить в 1 л проявителя, указано в табл. 21. При этом для пленок первой партии время проявления равно оптимальному, для второй партии оно увеличивается на 20 %, а для третьей – на 40 % относительно оптимального. При проявлении пленок в свежем проявителе следует придерживаться режима проявления (времени проявления и температуры раствора), рекомендованного заводом-изготовителем пленок. При повышении температуры проявителя время проявления уменьшается, а при понижении – увеличивается. Коэффициенты для определения времени проявления, учитывающие изменение температуры проявителя, приведены в табл. 22.

Таблица 21

Число пленок, проявляемых в 1 л проявителя, шт.

Размер пленки, см	Партия 1	Партия 2	Партия 3	Всего
13x18	26	12	8	46
18x24	14	6	5	25
24x30	8	4	3	15
30x40	5	2	2	9

Таблица 22

Значения коэффициентов, учитывающих изменение времени проявления пленки при изменении температуры проявителя

Число пленок размером 8x30 см, проявленных в 1 л проявителя, шт.	Температура проявителя, °С				
	16	18	20	22	24
10	1,3	1	0,8	0,7	0,6
25	1,6	1,2	1	0,9	0,8
40	2	1,6	1,3	1,2	1,1

Оптимальное время проявления в свежем проявителе "Рентген-2" при температуре 19–20 °С составляет для экранных пленок 5 мин и для безэкранных 8 мин. Допускается изменение температуры проявителя в пределах от 10 до 24 °С, при этом время проявления необходимо увеличивать или уменьшать соответственно на 0,5 мин/°С по отношению к оптимальной температуре 19 °С.

Для поддержания необходимой активности истощенного проявителя в него добавляют небольшие порции (200 см³ на 1 л) свежего проявителя, а в проявитель "Рентген-2" – восстанавливающий раствор, который имеет такой состав: метол – 4,0, гидрохинон – 16, сульфит натрия безводный – 72 или кристаллический – 144, натрий углекислый безводный – 48 или кристаллический – 130 г на 1 л воды. Общее количество добавленного восстанавливающего раствора не должно превышать первоначального количества проявителя. Добавив 1 л восстанавливающего раствора, можно дополнительно проявить 1,5 м² пленки.

Промежуточную промывку экранных пленок производят в воде

в течение 2-3 мин, а безэкранных - в специальном растворе (его состав: 125 см³ уксусной кислоты на 1 л воды) в течение 0,5-1 мин при 18-21 °С с целью удаления из эмульсии остатков проявителя.

Фиксирование пленок. Фиксирование пленок выполняют в растворах, составы которых приведены в табл. 23. При этом заводские изготовители пленок рекомендуют фиксирующий раствор БКФ-2. Могут быть также рекомендованы кислые фиксажи № 2-4, которые мгновенно останавливают процесс проявления пленки и устраняют желтые пятна, образующиеся на пленке в процессе проявления. В жаркую погоду, когда температуру фиксажа нельзя снизить до 20 °С, рекомендуется применять кислый дубящий раствор № 6.

Таблица 23

Составы фиксирующих растворов для рентгеновских пленок

Химические реактивы	Номер раствора					
	1	2	3	4	5*	6
Гипосульфит, г безводный (ГОСТ 4215-66) кристаллический	160 250	256 400	256 400	256 400	166 260	160 250
Сульфит натрия, г безводный (ГОСТ 195-66) кристаллический (ГОСТ 903-66)	- -	25 50	25 50	25 50	- -	20 40
Борная кислота, г	-	40	-	-	-	-
Серная кислота концентрированная, см ³	-	-	5	-	-	-
Уксусная кислота 30 %-ная, см ³	-	-	-	40	-	45
Аммоний хлористый (ГОСТ 3773-72), г	-	-	-	-	50	-
Метабисульфит натрия (ГОСТ 11683-66), г	-	-	-	-	16	-
Квасцы алюминиевые, г	-	-	-	-	-	15
Вода питьевая до объема (ГОСТ 2874-73), л	1	1	1	1	1	1

* БКФ-2.

Перенесение пленки непосредственно из проявителя в фиксаж приводит к быстрой порче последнего. Во избежание этого пленки после проявления промывают в течение 0,5-1 мин проточной водой или в достаточно большом количестве непроточной воды. Более эффективно промывка пленки в течение 0,5 мин в водном останавливающем растворе (стоп-растворе), содержащем в 1 л раствора 32 мл 30 %-ной уксусной эссенции или 160 мл 6 %-ного уксуса.

Время фиксирования при температуре раствора 20 ± 2 °С в фиксажах № 1-5 составляет 10-15 мин, а в фиксаже № 6 15-20 мин. При большем времени фиксирования пленки ее оптическая плотность снижается.

Для удаления остатков фиксажа пленки окончательно промывают в проточной воде при температуре 18-20 °С в течение 20-30 мин. Фотообработку необходимо производить в фотолаборатории при красном свете или в полной темноте. В 1 л фиксажа обрабатывают до 1 м² пленки. При этом необходимо контролировать плотность фиксажа к использованию методом отбора проб: к 0,1 л фиксажа добавляют 2,5 мл 20 %-ного раствора йодистого калия. Если выпавший при этом белый осадок растворяется быстрее чем за 2 мин, фиксаж необходимо заменить. Внешними признаками непригодности фиксажа являются его потемнение, пена на поверхности, увеличение в 1,5-2 раза времени просветления негативов.

Перед окончательной промывкой пленку предварительно промывают в течение 1-2 мин в непроточной воде во избежание вымывания серебра при окончательной промывке, которую выполняют в проточной воде в течение 30-45 мин.

Сушку пленок выполняют в сушильных шкафах в течение 15-20 мин с вентиляцией и подогревом воздуха до температуры не выше 35 °С. При отсутствии сушильных шкафов пленки сушат в течение 2-4 ч в сухих лишенных пыли помещениях, подвешивая их с помощью зажимов к рейкам, проволокам и т.п.

Расшифровка радиogramм. Расшифровку радиogramм выполняют в проходящем свете на негатоскопе - устройстве, в котором имеются закрытые молочным или матовым стеклом осветительные лампы для создания равномерного рассеянного светового потока. При этом помещение для расшифровки затемняют, чтобы поверхность пленки не отражала падающий на нее свет. Современные негатоскопы обеспечивают регулирование яркости освещенного поля и его размеров. Если освещенность негатоскопа не регулируется, то при

слишком ярком свете при расшифровке могут быть пропущены мелкие дефекты с незначительными изменениями оптической плотности по чернения пленки.

Расшифровка радиограмм состоит из трех основных этапов: оценки качества изображения, анализа изображения с отысканием на нем дефектов и составления заключения о качестве контролируемого изделия.

Качество изображения в первую очередь оценивают с точки зрения отсутствия на нем дефектов, вызванных неправильной фотобработкой пленки или неаккуратным обращением с ней: радиограмма не должна иметь пятен, полос, загрязнений и повреждений эмульсионного слоя. Затем оценивают оптическую плотность изображения, которая должна согласно ГОСТ 7512-82, составлять 1,4-4, проверяют, видны ли элементы эталонов чувствительности и маркировочные знаки. Оптическую плотность снимков измеряют на денситометрах, микрофотометрах или путем визуального сравнения с радиограммами, на которых имеются поля с заранее измеренными оптическими плотностями.

При расшифровке решается задача отождествления различных элементов и деталей изображения на радиограмме с дефектами в контролируемом изделии. При контроле сварных соединений регистрацию выявленных на радиограммах дефектов в журналах контроля выполняют с использованием условных обозначений, установленных ГОСТ 7512-82. После условного обозначения вида дефекта указывают его размеры: диаметр для дефектов округлой формы, ширину и длину для протяженных пор и включений, длину для цепочек и скоплений включений и пор, непроваров и трещин. При этом для цепочек и скоплений дефектов приводят максимальный размер входящих в них дефектов. Если обнаружены дефекты одного вида и одинакового размера, то перед их условным обозначением нужно указывать их число, а не записывать каждый дефект отдельно. Кроме того, указывают максимальную суммарную длину дефектов на участке радиограммы длиной 100 мм.

После расшифровки изображений дефектов составляют заключение о годности проконтролированного участка, сопоставляя виды, размеры и количество выявленных дефектов с допустимыми по правилам контроля. Для грамотного составления заключения о качестве изделия контролер-расшифровщик радиограмм, кроме процессов радиационной дефектоскопии, должен знать основы технологии из-

60

готовления изделия, возможные причины появления дефектов и места их расположения и уметь распознавать дефекты по их изображениям на радиограммах.

2. ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ

В отчете по работе должны быть представлены:

- 1) виды реактивов, использованных для фотобработки снимка;
- 2) технологические параметры режима фотобработки снимка;
- 3) описание выявленных при контроле дефектов в условном виде.

КОНТРОЛЬ ПРОНИКАЮЩИМИ ВЕЩЕСТВАМИ

Методы контроля проникающими веществами основаны на способности газов и жидкостей проникать в сквозные или проходить через сквозные дефекты в материалах вследствие межмолекулярных взаимодействий. Эти методы включают в себя контроль герметичности изделий и течеискание, а также капиллярную дефектоскопию. Поверхностные дефекты выявляют с помощью проникающих жидкостей, а сквозные с помощью жидкостей и газов.

Проникающие свойства жидкостей и газов зависят от их физических свойств: вязкости и поверхностного натяжения (для жидкостей). Силы поверхностного натяжения определяют смачивающие свойства жидкостей. Вязкость жидкостей и газов обусловлена силами внутреннего трения между молекулами соседних слоев этих веществ. При повышении температуры вязкость газов увеличивается, а жидкостей уменьшается.

Смачивающие свойства жидкостей оценивают величиной краевого угла θ . При этом

$$\cos \theta = \frac{\sigma_{т-в} - \sigma_{т-ж}}{\sigma_{ж-в}},$$

где $\sigma_{т-в}$, $\sigma_{т-ж}$, $\sigma_{ж-в}$ — коэффициенты поверхностного натяжения на границах соответственно "твердое тело-воздух", "твердое тело-жидкость" и "жидкость-воздух".

Для смачивающих жидкостей $\cos \theta = 0,95-0,98$.

Вязкость веществ оценивают коэффициентом динамической вязкости η . Значения σ и η приведены в табл. 24 и 25.

Таблица 24

Коэффициенты поверхностного натяжения и динамической вязкости проникающих жидкостей при 18 °С

Жидкость	σ , мН·м	$\eta_{ж}$, мПа·с
Бензин	29,0	0,53
Вода	72,8	1,05
Керосин	24,0	1,85
Скипидар	29,8	1,49
Толуол	28,5	0,61

Таблица 25

Коэффициенты динамической вязкости и молекулярные массы M газов

Газ	$\eta_{г}$, мПа·с, при t , °С		$M \cdot 10^{-3}$, кг/моль
	0	20	
Аргон	21,0	22,3	39,9
Водород	8,4	8,9	2,0
Воздух	17,1	18,1	28,9
Гелий	18,8	19,7	4,0
Фреон-12	-	12,2	120,9
Фреон-22	-	12,7	86,5

Сила поверхностного натяжения обуславливает создание в полостях дефектов капиллярного давления P_k , под действием которого жидкость проникает в глубь дефекта. Для сквозной щели с раскрытием α

$$P_k = \frac{2 \sigma \cos \theta}{\alpha}$$

Время проникновения τ жидкости через такой канал на расстоянии l определяют по выражению

$$\tau = \frac{3 l^2 \cdot \eta_{ж}}{\sigma \cdot \alpha \cdot \cos \theta}$$

Величины течей оценивают величиной потока Q газа (в м³·Па/с) или жидкости (в м³/с) через неплотность. При вязкостном режиме течения эту величину определяют по уравнению Пуазейля:

а) для газов

$$Q_{гв} = \frac{\pi r^4}{16 l \eta_{г}} (P_2^2 - P_1^2),$$

б) для жидкостей

$$Q_{ж} = \frac{\pi r^4}{8 l \eta_{ж}} (P_2 - P_1),$$

где r, l – радиус и длина канала течи, м; P_1, P_2 – давления на выходе и входе в канал, Па.

При молекулярном режиме течения газов через течи величину потока находят из уравнения Кнудсена

$$Q_{гм} = \frac{2 \pi r^3}{3 l} \sqrt{\frac{8 R T}{\pi M}} (P_2 - P_1),$$

где R – универсальная газовая постоянная, равная 8,31 Дж/(К·моль); T – абсолютная температура, К; M – молекулярная масса газа, кг/моль.

Вязкостному режиму течения газа соответствуют потоки $Q_{гв} \geq 10^{-4}$ м³·Па/с, а молекулярному $Q_{гм} \leq 10^{-8}$ м³·Па/с. Течение жидкостей всегда соответствует вязкостному режиму.

Величину $Q_{ж}$ часто называют расходом жидкости.

Работа 10. КОМПРЕССИОННЫЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ГЕРМЕТИЧНОСТИ ИЗДЕЛИЙ

Цель работы – изучение методов контроля герметичности, основанных на измерении избыточного давления в объекте контроля, и приобретения практических навыков по измерению размеров течей.

Компресссионными называют методы испытаний изделий на герметичность, при которых пробное (индикаторное) вещество проникает через неплотности в изделии при положительном перепаде давлений между изделием и окружающей средой. Давления в изделиях создают

жидкостями или газами. Наиболее распространенными являются гидравлические, пневматические и пневмогидравлические методы.

1. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ МЕТОД

Гидравлические испытания чаще всего выполняют путем создания гидравлического давления (опрессовки) в контролируемом изделии. Контрольными веществами являются рабочие жидкости, а также вода, масло, гидросмеси и т.п. При испытаниях объект заполняют контрольной жидкостью, герметизируют, гидравлическим насосом создают в объекте необходимое давление и выдерживают объект под давлением определенное время. Такие испытания позволяют одновременно с контролем герметичности оценивать и прочность изделий. Значение испытательного давления зависит от рабочей температуры объекта контроля.

Для удобства индикации течей в ряде случаев на поверхность изделий наносят меловую обмазку, места течей находят либо по запотеванию наружной поверхности, либо по пятнам контрольной жидкости на меловой обмазке или фильтровальной бумаге, накладываемой на места контроля. Величины течей устанавливают по объему вытекшей через них жидкости $V_{ж}$ за время $\Delta \tau$.

Объем вытекшей жидкости определяют взвешиванием фильтровальной бумаги до и после испытаний, тогда величина течи B равна:

$$B = \frac{V_{ж}}{\Delta \tau} = \frac{m_2 - m_1}{\Delta \tau \cdot \rho_{ж}},$$

где m_1, m_2 - массы бумаги до и после испытаний, г; $\rho_{ж}$ - плотность контрольной жидкости, г/см³.

Время выдержки изделия под давлением обычно составляет от 20 до 60 мин, чувствительность испытаний до 10^{-5} м³·Па/с.

2. ПНЕВМАТИЧЕСКИЙ МЕТОД

Пневматический метод основан на регистрации пузырьков контрольного газа, прошедшего через неплотности в изделии. Индикацию течей производят с помощью пенообразующих веществ. При испытаниях сначала производят опрессовку изделия давлением 1-1,2 от рабочего. Места контроля обмазывают пенообразующим веществом, состав которого зависит от температуры окружающей среды. Места течей находят по появлению пузырьков воздуха в пенообразующем веществе. Чувствительность контроля можно определить по выраже-

нию

$$Q = \frac{\pi D_{\min}^3}{6 \tau_0} P_{\text{ат}},$$

где $D_{\min}^3$ - диаметр наименьшего различного пузырька, м;
 τ_0 - время от момента появления до исчезновения пузырька, с;
 $P_{\text{ат}}$ - атмосферное давление, Па.

Чувствительность пневматического метода до 10^{-7} м³·Па/с.

3. ПНЕВМОГИДРАВЛИЧЕСКИЙ МЕТОД

Метод заключается в подаче в контролируемое изделие 6 (рис. 28) из сети через клапан 1 контрольного газа под избыточным давлением с последующим погружением изделия в бак 5 с индикаторной жидкостью. Места течей определяют по пузырькам газа в жидкости. Давление в объекте контролируют по манометру 2, а регулируют клапанами 3 и 4, сброс газа производят через клапан 7.

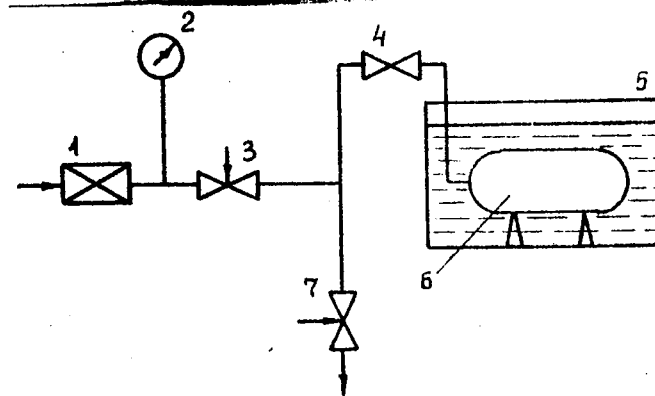


Рис. 28. Схема контроля пневмогидравлическим методом

В качестве контрольных газов обычно применяют воздух или азот, а индикаторных жидкостей - воду или спирт. Часто в воду для улучшения прозрачности добавляют квасцы. При испытаниях регистрируют количество пузырьков n газа за промежуток времени $\Delta \tau_0$. Тогда величину течи определяют по выражению

$$B = \frac{n \pi D_0^3}{6 \Delta \tau_0} P_{\text{ат}}.$$

Чувствительность контроля зависит от давления в изделии и вида контрольного газа. Для воздуха она составляет $5 \cdot 10^{-5} - 10^{-8} \text{ м}^3 \cdot \text{Па/с}$. Применение вместо воздуха водорода позволяет увеличить чувствительность в 2 раза. Размер пузырьков D_0 регистрируют в момент их отрыва от изделия.

4. ХИМИЧЕСКИЙ МЕТОД

Одной из разновидностей пневматического метода является химический метод контроля. Он основан на химическом взаимодействии аммиака, аммония или других газов с индикаторными веществами, которые в результате химической реакции меняют свою окраску. При испытаниях обычно применяют воздушно- или азотно-аммиачные смеси. Индикаторные вещества растворяют в воде, глицерине или спирте и пропитывают ими фильтровальную бумагу или светлую ткань. Чаще всего применяют фенолфталеин или азотнокислую ртуть.

Перед применением химического метода изделия испытывают гидравлическим или пневматическим методом на отсутствие крупных течей. Затем изделие заполняют контрольным газом до достижения испытательного давления, укладывают на места контроля фильтровальную бумагу или ткань, пропитанные индикаторным веществом, и выдерживают в течение установленного времени (15-20 мин). Испытательное давление составляет 0,1-0,15 МПа. После испытаний изделие продувают азотом или сухим воздухом. Чувствительность метода до $10^{-7} \text{ м}^3 \cdot \text{Па/с}$.

В работе предлагается проконтролировать сварной стык труб пневматическим, пневмогидравлическим и химическим методами. Результаты измерений свести в табл. 26 и вычислить среднюю величину течи $\bar{B}$ по трем измерениям.

Таблица 26

Результаты измерений величин течей

Метод испытания	Номер опыта	D_0 или $D_{\text{мин}}$, мм	n , шт.	τ_0 или $\Delta \tau_0$, с	B , $\text{м}^3 \cdot \text{Па/с}$	$\bar{B}$, $\text{м}^3 \cdot \text{Па/с}$
Пневматический	1					
	2					
	3					
Пневмогидравлический	1					
	2					
	3					

4. ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ

В отчете по работе должны быть представлены:

- 1) схемы проведения испытаний;
- 2) результаты измерений величин течей.

Работа II. ГАЛОГЕННЫЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ ГЕРМЕТИЧНОСТИ И ТЕЧЕИСКАНИЯ

Цель работы - изучение принципа действия и устройства галогенного течеискателя и приобретение практических навыков по их настройке с помощью калиброванных течей.

Галогенный метод относится к группе высокочувствительных испытаний газоаналитическими течеискателями. При этом появление пробного газа в чувствительном элементе приводит к возникновению электрического сигнала, значение которого пропорционально размеру (величине) течи.

Принцип действия галогенных течеискателей основан на свойстве раскаленной платины резко увеличивать эмиссию положительных ионов в присутствии галогеносодержащих веществ. Появление ионного тока при галогенном эффекте обусловлено ионами щелочных металлов, образующимися в результате ионизации на поверхности платинового эмиттера атомов щелочных металлов, попадающих на поверхность эмиттера в результате испарения из нагретого керамического основания блока эмиссии. Минимально регистрируемая концентрация галогенов в воздухе $10^{-6} \%$. В качестве пробных газов применяют фреоны, дихлорэтан, четыреххлористый углерод.

Чувствительный элемент (ЧЭ) течеискателя (рис. 29) состоит из коллектора 1 в виде трубки из платиновой фольги и эмиттера 2, установленного коаксиально внутри коллектора на керамической шайбе 3. Эмиттер подогревается подогревателем до температуры 800-900 °С. Для контроля применяют течеискатели ГТИ-6, БГТИ-7 и ТИ 2-8, наибольшее распространение получил течеискатель ГТИ-6.

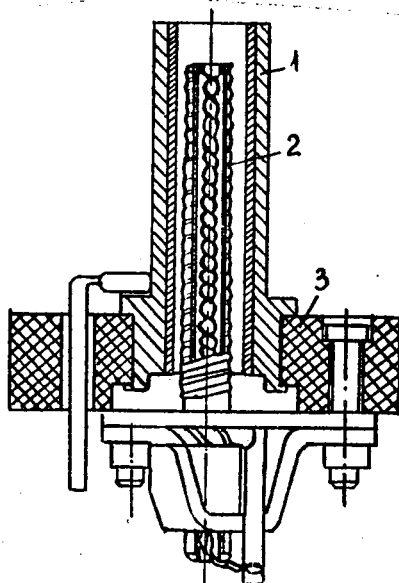


Рис. 29. Схема чувствительного элемента галогенного течеискателя

1. УСТРОЙСТВО ТЕЧЕИСКАТЕЛЯ ГТИ-6

Течеискатель ГТИ-6 оснащен выносным шупом и вакуумным датчиком, подсоединяемым к измерительному блоку с помощью кабелей. Измерительный блок выполнен в виде переносного прибора настольного типа, на передней панели которого установлен стрелочный регистрирующий прибор. При атмосферных испытаниях пробный газ нагнетают внутрь изделия, а при вакуумных подают к изделию через обдуватель. Течеискатель имеет стрелочную, световую и звуковую индикацию течей.

Выносной шуп (рис. 30) имеет рукоятку пистолетного типа. В передней части шупа находится ЧЗ 3 с экраном 2 и радиатором 1. Коллектор датчика закреплен внутри втулки 4. За ЧЗ расположено вентиляционное устройство 5 с электродвигателем 6. В хвостовой части шупа находятся амортизатор 7 и патрон 8 с неоновой лампой 10 под колпачком 9.

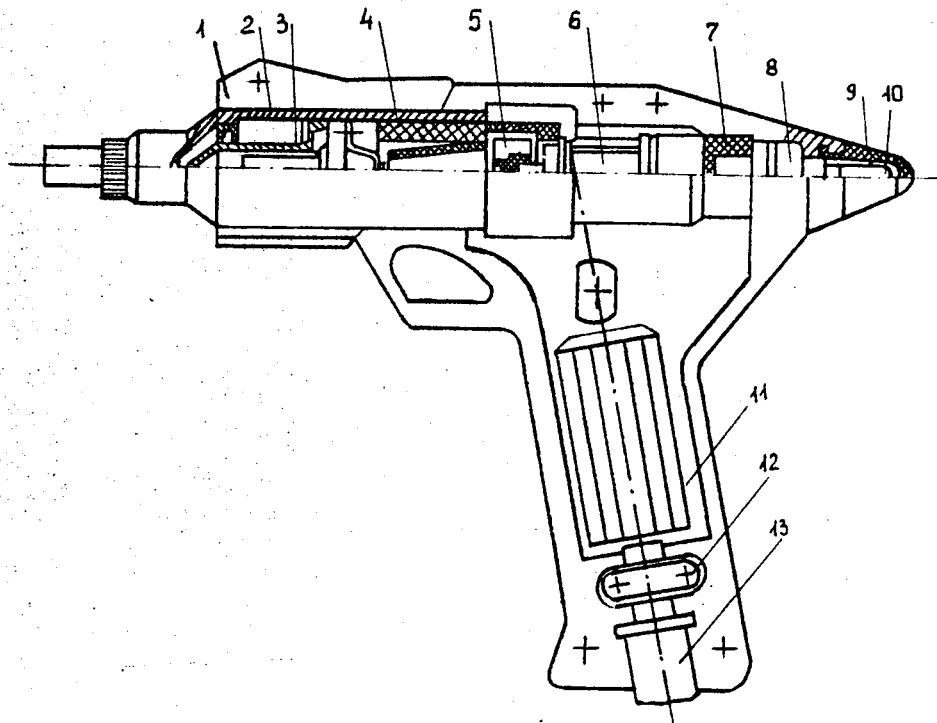


Рис. 30. Выносной щуп течеискателя ГТИ-6

При работе оператор держит шуп за ручку 11, имеющую ограничитель 12 и токоподводящий кабель 13, соединяющий шуп с измерительным блоком. Масса шупа 1,3 кг, контроль можно вести на расстоянии до 8 м от регистрирующего блока.

Вакуумный датчик (рис. 31) представляет собой корпус-фланец 3, на котором смонтированы ЧЭ 1, кислородный инжектор 2 и штепсельный разъем 4, подсоединяемый к корпусу через уплотнение 5. Датчик закреплен в обойме вместе со стойками 6. Кислородный инжектор представляет собой стакан с порошком марганцовокислого калия. Этот порошок при работе датчика под действием тепла разлагается с выделением большого количества кислорода, который поступает к чувствительному элементу. Масса датчика 1,2 кг. Для установки датчика при испытании вакуумных систем на изделии должен иметься специальный фланец.

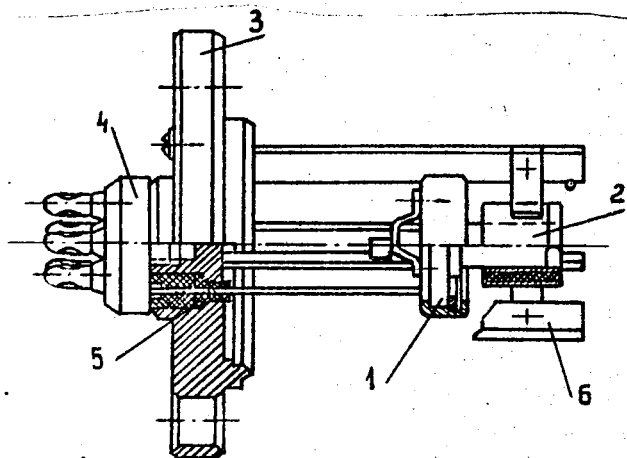


Рис. 31. Вакуумный датчик течеискателя ИТИ-6

Обдуватель выполнен в виде стержня и имеет с одной стороны штуцер, а с другой - сопло, перекрываемое миниатюрным клапаном, для выхода газа. На штуцер надевают резиновый шланг, соединяющий обдуватель с баллоном пробного газа.

Течеискатель оснащен калиброванной течью "Галот-1", предназначенной для настройки прибора на требуемую чувствительность

и оценки величины обнаруживаемых течей. Поток газа регулируют сменными насадками, вставляемыми в отверстие наконечника течи. Насадки позволяют регулировать поток газа в пределах $1,2 \cdot 10^{-6}$ - $0,9 \cdot 10^{-7}$ м³·Па/с, они имеют диаметры 0,3; 1,7; 3,5 мм.

Максимальная чувствительность испытаний с выносным шупом $3 \cdot 10^{-7}$, а с вакуумным датчиком $1,3 \cdot 10^{-9}$ м³·Па/с.

2. НАСТРОЙКА ТЕЧЕИСКАТЕЛЯ

Оценку чувствительности течеискателя или его настройку на требуемую чувствительность с помощью течи "Галот-1" выполняют следующим образом. В соответствии с предполагаемой чувствительностью выбирают соответствующую сменную насадку и производят выдержку для установления равновесного потока в течение 20-30 мин. Затем шуп подносят к выходному отверстию течи так, чтобы его наконечник вошел в направляющие течи. Сигнал фиксируют по регистрирующему прибору, после чего определяют цену деления S_Q шкалы прибора по выражению

$$S_Q = Q_T / \alpha_{cp}$$

где Q_T - величина течи по паспорту, м³·Па/с; α_{cp} - среднее арифметическое отсчетов по шкале прибора, дел.

В работе предлагается произвести настройку течеискателя с выносным шупом на два уровня чувствительности (для двух насадок). Измерения сигнала α по регистрирующему прибору выполнить три раза для каждой насадки, после чего рассчитать средние значения показаний α_{cp} и определить цену деления шкалы S_Q прибора для каждой насадки, результаты измерений и расчетов свести в табл. 27.

Таблица 27
Результаты измерений чувствительности галогенного течеискателя

Диаметр насадки, мм	α , дел.	α_{cp} , дел.	S_Q , м ³ ·Па/с дел.

3. ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ

В отчете по работе должны быть представлены:

- 1) блок-схема течеискателя ГТИ-6;
- 2) упрощенные схемы устройств выносного щупа и вакуумного датчика с описаниями принципов работы;
- 3) порядок настройки течеискателя на требуемую чувствительность и результаты измерений.

Работа 12. МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ ГЕРМЕТИЧНОСТИ И ТЕЧЕИСКАНИЯ

Цель работы - изучение устройства масс-спектрометрических течеискателей и приобретение практических навыков по их настройке по калиброванной течи.

Масс-спектрометрический метод является самым распространенным среди методов контроля герметичности и течеискания. Сущность метода состоит в том, что прохождение пробного газа через течи регистрируют с помощью масс-спектрометра, настроенного на этот пробный газ. При этом масс-спектрометр разделяет ионизированные газы по массе их ионов. В качестве пробных используют следующие газы: гелий, аргон, водород, ксенон и их смеси.

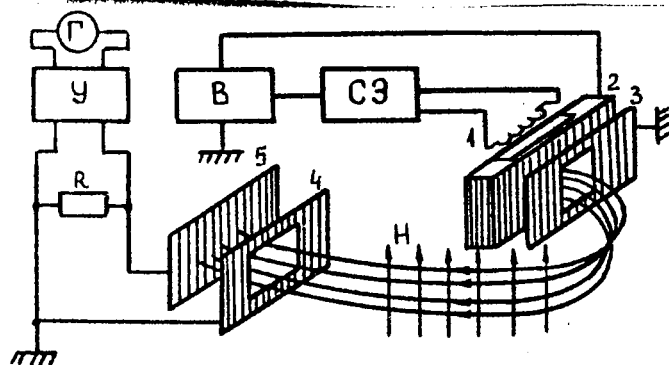


Рис. 32. Схема работы масс-спектрометрического течеискателя

В установках для течеискания используют статические масс-спектрометры со 180-градусной фокусировкой (рис. 32). Отклонение пучка ионов на 180° осуществляется магнитным полем напряженностью H . Смесь газов, поступающая из контролируемого объ-

екта через течи, ионизируется и разделяется по массам ионов в магнитном анализаторе. Анализатор имеет камеру 2 с нагреваемым катодом 1, входную 3 и выходную 4 диафрагмы и коллектор ионов 5. Режим накала катода определяется стабилизатором эмиссии СЗ, питаемым от выпрямителя В.

Энергия ионов, образовавшихся в ионном источнике камеры анализатора, соответствует разности потенциалов U . Можно считать, что все ионы, ускоренные этим напряжением, обладают одинаковой энергией, т.е. пучок ионов моноэнергетический. Под действием силы Лоренца ионы массой m движутся по траекториям в виде окружностей радиусами $R = 2 \cdot 10^{-2} \sqrt{m U / H}$.

Положение коллектора ионов определяется условиями фокусирования пучка. Ускоряющее напряжение подбирают так, чтобы на коллектор попадали только ионы пробного газа. Однако на рабочую траекторию случайно могут попасть и ионы других газов. Для подавления такого фона применяют супрессоры. К супрессору прикладывают электрическое поле, знак которого противоположен знаку основного поля. Это поле тормозит пролетающие ионы. Только ионы, имеющие большую энергию и массу (альфа-частицы), смогут его преодолеть и попасть на коллектор, соединенный с усилителем тока У. Усиленный сигнал регистрирует стрелочный прибором Г.

Наибольшее распространение получили течеискатели ГТИ-10, СТИ-11, ТИ I-14, ТИ I-15 и др.

1. УСТРОЙСТВО ТЕЧЕИСКАТЕЛЯ ГТИ-10

Поиск течей производят с помощью щупа (рис. 33). Внутри корпуса I расположена коническая игла 2, положение которой регулируют накидной гайкой 3. В ручке щупа 4 находится штуцер, соединяющий щуп с течеискателем вакуумным шлангом. Для настройки течеискателя применяют встроенную калиброванную течь "Галит-I".

Вакуумная система течеискателя (рис. 34) позволяет предварительно откачивать воздух из масс-спектрометрической камеры I через клапан 15 механическим вакуумным насосом 13. Высоковакуумную откачку ведут через клапан 2, азотную ловушку 4, клапан 9 диффузионным насосом 10. Впускной патрубок низковакуумного насоса через клапан 11 соединен с высоковакуумным насосом. Измерения вакуума производят магнитным электроразрядным 3 и терморезисторным 14 вакуумметрами. Калиброванная течь 8 подсоединена

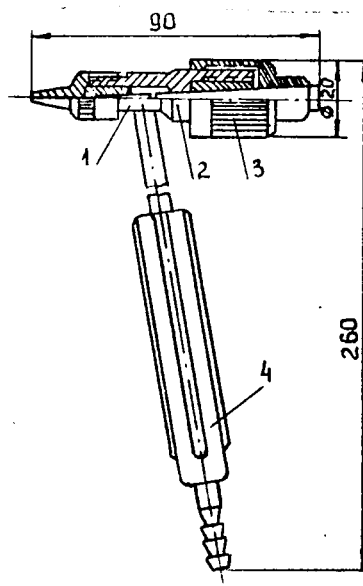


Рис. 33. Щуп течейскаателя ПТИ-10

к вакуумной системе через клапан 7. Напускной клапан 12 обеспечивает напуск газа в систему при выключении насоса 13, например при ремонте камеры. Входной клапан 5 позволяет регулировать потоки пробного газа, поступающего от изделия через входной фланец 6. Клапаны имеют ручной и электромагнитный приводы управления. Структурная блок-схема электрической системы течейскаателя представлена на рис. 35, где ПУ - пульт управления; ЭМК - электрометрический каскад; БИИТ - блок измерения ионного тока; БИД - блок измерения давления; БПВК - блок питания вакуумных клапанов; БПК - блок питания масс-спектрометрической камеры; ВС - вакуумная система; МК - масс-спектрометрическая камера.

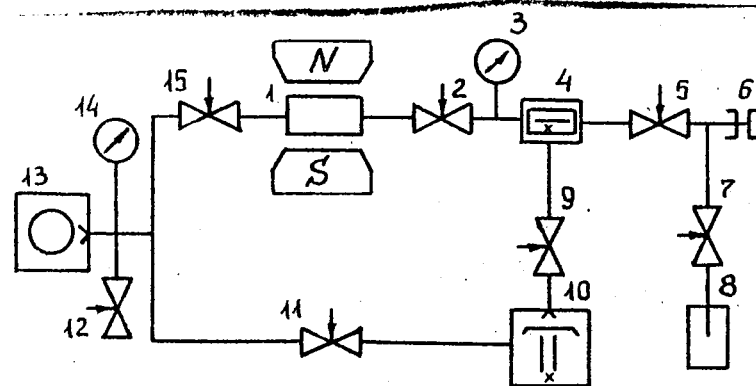


Рис. 34. Схема вакуумной системы течейскаателя ПТИ-10

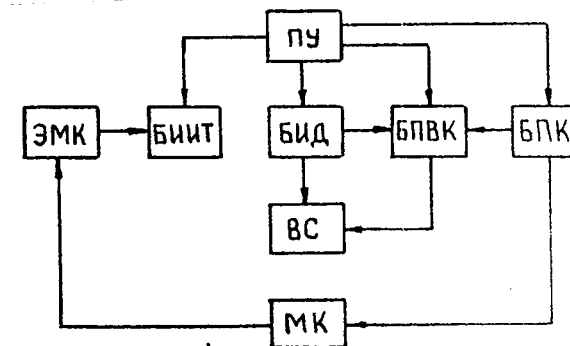


Рис. 35. Структурная схема электрической системы течейскаателя ПТИ-10

2. НАСТРОЙКА ТЕЧЕЙСКАТЕЛЯ

При настройке течейскаателя по встроенной течи выключают накал ионного источника и магнитный электроразрядный вакуумметр. Масс-спектрометрическую камеру разобщают с диффузионным насосом, после чего течь откачивают до давления 2,5-5 Па, открывая для этого клапан "Гелиевая течь" на пульте управления. Затем включают магнитный электроразрядный вакуумметр и откачивают воздух из камеры до давления ниже $2,5 \cdot 10^{-3}$ Па, что соответствует показаниям 50-80 мкА по шкале вакуумметра. После этого выключают ток накала ионного источника и фиксируют установившееся показание стрелочного прибора α_T на выносном пульте управления, после чего закрывают клапан "Гелиевая течь", что приводит к уменьшению показаний регистрирующего прибора до фонового значения α_F . Цену деления S_Q шкалы прибора рассчитывают по выражению

$$S_Q = Q_T / (\alpha_T - \alpha_F),$$

где Q_T - поток гелия через калиброванную течь, $\text{м}^3 \cdot \text{Па} / \text{с}$; α_T, α_F - отсчеты по шкале при открытом и закрытом клапане "Гелиевая течь", мВ.

Чувствительность испытаний может быть увеличена за счет дросселированной откачки через клапан 9, который позволяет изменять проходное сечение газопровода на входе насоса 10 и таким образом регулировать быстроту откачки газа из масс-спектрометрической камеры (см. рис. 34).

Испытания изделий выполняют способами накопления при атмосферном давлении, обдува, щупа, барокамеры, вакуумной камеры. Чувствительность испытаний до $7 \cdot 10^{-13} \text{ м}^3 \cdot \text{Па/с}$.

В работе предлагается произвести настройку течеискателя с выносным щупом на поисковый уровень чувствительности (задается преподавателем), оценивая сигналы от фона $\alpha_{\text{ф}}$ и от калиброванной течи $\alpha_{\text{т}}$. При этом измерения повторяют три раза для различных уровней чувствительности, после чего рассчитывают цену деления шкалы регистрирующего прибора. Результаты измерений и расчетов указывают в табл. 28.

Таблица 28

Результаты измерений чувствительности течеискателя ПТИ-10

Номер измерения	$\alpha_{\text{ф}}$, мВ	$\alpha_{\text{т}}$, мВ	$Q_{\text{т}}$, $\text{м}^3 \cdot \text{Па/с}$	S_{Q} , $\frac{\text{м}^3 \cdot \text{Па/с}}{\text{мВ}}$
1				
2				
⋮				
⋮				

3. ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ

В отчете по работе должны быть представлены:

- 1) функциональная блок-схема течеискателя ПТИ-10 с указанием типов вакуумных насосов и манометрических преобразователей вакуумметров;
- 2) схема устройства и описание принципа работы выносного щупа;
- 3) порядок настройки течеискателя и результаты измерений и расчетов цены деления регистрирующего прибора.

Работа 13. ЛЮМИНЕСЦЕНТНАЯ И ЦВЕТНАЯ ДЕФЕКТОСКОПИИ

Цель работы – изучение дефектоскопических материалов, методик и приобретение практических навыков по капиллярной дефектоскопии сварных соединений и изделий.

Капиллярные методы контроля изделий применяют для обнаружения внутренних дефектов, выходящих на поверхность, главным

образом поверхностных трещин. Технологический процесс контроля включает в себя очистку изделий перед контролем, нанесение проникающей жидкости (пенетранта), удаление ее с поверхности изделия, нанесение проявителя, осмотр индикаторных следов дефектов и удаление остатков дефектоскопических материалов с изделия после контроля (при необходимости). Наиболее широко применяют люминесцентную (Л) и цветную (Ц) дефектоскопии.

Методы люминесцентной дефектоскопии основаны на способности люминофоров становиться источниками светового излучения при воздействии на них ультрафиолетовых лучей. При цветном контроле окрашенный пенетрант образует в слое проявителя цветной индикаторный рисунок дефектов. Кроме того, применяют люминесцентно-цветную (ЛЦ) дефектоскопию, когда индикаторные рисунки не только люминесцируют, но и имеют цветовую окраску.

1. ДЕФЕКТОСКОПИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

Пенетранты представляют собой растворы или суспензии люминофоров или красителей в смесях органических растворителей, керосина и масел с добавками поверхностно-активных веществ, улучшающих проникновение пенетрантов в полости дефектов. В качестве основы пенетрантов применяют бензол, керосин, скипидар, ксилол и другие вещества. Оптимальными считают жидкости, имеющие коэффициент поверхностного натяжения $\sigma = 26-28 \text{ мН/м}$ и динамической вязкости $\eta_{\text{ж}} = 1-2 \text{ мПа} \cdot \text{с}$. В качестве люминофоров используют нориол, шубекол, жидкости типа ЛЖ, дефектоль, различные масла и т.п.

При цветной дефектоскопии применяют темно-красные жирорастворимые красители, например, 5С, родамин, а при ЛЦ-методе – краситель родамин С. Использование эмульгирующих пенетрантов позволяет повышать чувствительность контроля за счет более надежного выявления мелких дефектов на загрязненных поверхностях изделий.

Составы некоторых индикаторных жидкостей приведены в табл. 29.

Удаление пенетрантов с поверхностей изделий выполняют с помощью очищающих жидкостей, составы которых приведены в табл. 30.

Таблица 29

Составы индикаторных жидкостей

№ состава	Материалы	Содержание, %
Люминесцентный контроль		
I	Авиационное масло	25
	Керосин	75
2	Авиационное или машинное масло	25
	Керосин	55
	Бензин	20
3	Нориол	50
	Керосин	50
	Эмульгатор ОП-7	I г/л
4	Шубекол	100
Цветной контроль		
5	Керосин	70
	Бензин	30
	Темно-красный жирорастворимый краситель	10 г/л
6	Нориол	25
	Керосин	75
	Краситель 50	10 г/л
7	Нориол	0,5
	Бензол	99,5
	Краситель II	10 г/л

Составы очищающих жидкостей

№ состава	Материалы	Содержание, %	Метод контроля
I	Вода	70	Л
	Эмульгатор ОП-7	30	
2	Вода	95	Л, Ц
	Сода кальцинированная	5	
3	Масло трансформаторное	70	Ц
	Керосин	30	

Проявители применяют в виде порошков, суспензий, красок или пленок. Чаще всего используют порошки оксида магния, оксида цинка, титановые белила, каолин, мел и др. Обычно дефектоскопические материалы применяют в виде аэрозолей.

Заполнение полостей дефектов пенетрантами осуществляют капиллярным, вакуумным, компрессионным и ультразвуковым способами. В ряде случаев для ускорения заполнения полостей дефектов изделие или пенетрант подогревают.

2. ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ КАПИЛЛЯРНОЙ ДЕФЕКТΟΣКОПИИ

Чувствительность методов капиллярной дефектоскопии ограничена двумя пределами: верхним и нижним. Верхний предел определяется максимальной величиной раскрытия несплошности типа трещины, ограничивающей выявляемость несплошности из-за интенсивного вымывания пенетранта из устья дефекта при очистке изделия. Нижний предел определяется минимальной величиной раскрытия трещины, ограничивающей выявляемость дефектов из-за потери пенетрантом индикаторной способности вследствие малого количества пенетранта, попадающего в полость дефекта. Чувствительность методов дефектоскопии в значительной степени зависит также от зрения оператора-контролера. Для надежного выявления трещин их индикаторный рисунок должен иметь ширину более 0,05–0,1 мм. Величины наименьших обнаруживаемых при различных методах капиллярной дефектоскопии дефектов приведены в табл. 31.

Таблица 31

Чувствительность методов капиллярной дефектоскопии

Методы выявления дефектов	Размеры выявляемых дефектов		
	Ширина, мкм	Глубина, мкм	Длина, мм
I. Люминесцентный:			
порошковый	10-30	100-300	2-3
суспензионный	5-10	30-40	1-2
красочный	1-2	10-30	до 0,1
лаковый	2-5	10-30	до 0,5
2. Цветной:			
суспензионный	5-10	40-50	2-3
красочный	1-2	10-30	0,1-0,3
3. Люминесцентно-цветной красочный			
	до I	до 10	до 0,1

Индикаторные следы дефектов можно разделить на 3 группы:

- а) сплошные или прерывистые линии различной конфигурации;
- б) группы отдельных коротких линий, сетки, пятна, размытые полосы;
- в) отдельные точки или звездочки.

Следы группы а) соответствуют усталостным, закалочным и коррозионным трещинам, следы группы б) – коррозионному растрескиванию, а следы группы в) – порам, очагам коррозии.

В работе предлагается оценить смачивающие свойства различных пенетрантов на пластинах из различных материалов (стали, алюминия и латуни). На очищенную, обезжиренную и высушенную поверхность пластины наносят 0,04 мл пенетранта, после чего определяют средний диаметр D_n пятен жидкости в зависимости от времени выдержки τ . Замеры производят через каждые 5 с до момента прекращения растекания жидкости по пластине. Результаты замеров заносят в табл. 32 и строят график $D_n = f(\tau)$.

Кроме того, учащиеся должны на имеющихся образцах изделий с поверхностными дефектами выявить эти дефекты каким-либо методом капиллярной дефектоскопии (варианты дефектоскопических комплектов задаются преподавателем), после чего определить характер дефектов и произвести их обмер и подсчет количества.

Таблица 32

Диаметры пятен пенетрантов при испытаниях различных материалов

Материал	Пенетрант	τ , с	D_n , мм

3. ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ

В отчете по работе должны быть представлены:

- 1) результаты измерений смачивающей способности пенетрантов;
- 2) описание технологии дефектоскопии образцов с анализом выявленных дефектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Волченко В.Н. Контроль качества сварных конструкций. М.: Машиностроение, 1986. 152 с.
2. Румянцев С.В., Штань А.С., Гольцев В.А. Справочник по радиационным методам неразрушающего контроля. М.: Энергоиздат, 1982. 240 с.
3. Ермолов И.Н., Останин Ю.Я. Методы и средства неразрушающего контроля качества. М.: Высш. школа, 1988. 368 с.
4. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий: Справочник: В 2 кн. / Под ред. В.В.Клюева. М.: Машиностроение, 1986. Кн. 1-2.
5. Методы дефектоскопии сварных соединений / Под ред. В.Т.Щербицкого. М.: Машиностроение, 1987. 360 с.
6. Маслов Б.Г. Контроль изделий и сварных соединений проникающими веществами. М.: Машиностроение, 1987. 52 с.
7. Маслов Б.Г. Дефектоскопия проникающими веществами. М.: Высшая школа, 1991. 255 с.

1. Единицы измерения ионизирующих излучений

Величина	Обозначение	Единицы измерения		Соотношения между единицами измерения
		СИ	Внесист.	
Энергия	E	Дж	эрг	$1 \text{ эрг} = 10^{-7} \text{ Дж}$
			эВ	$1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$
Активность	Q	Бк	кюри	$1 \text{ кюри} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$
Экспозиционная доза	D	Кл/кг	рентген	$1 \text{ Р} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг}$
МЭД	P	А/кг	Р/с	$1 \text{ Р/с} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ А/кг}$
Интенсивность излучения	I	Вт/м ²	$\frac{\text{эрг}}{\text{см}^2 \cdot \text{с}}$	$1 \frac{\text{эрг}}{\text{см}^2 \cdot \text{с}} = 10^{-3} \text{ Вт/м}^2$

3. Значения линейных коэффициентов ослабления μ , 1/см

Энергия, МэВ	Материалы							
	Fe	Al	Cu	Ti	Ni	Mo	Pb	W
0,08	4,22	0,49	6,17	1,62	5,90	0,31	23,60	145
0,10	2,60	0,42	3,66	1,09	3,53	0,27	60,30	81,6
0,15	1,39	0,36	1,79	0,68	1,77	0,23	21,80	29,0
0,20	1,06	0,32	1,28	0,55	1,30	0,21	10,70	14,2
0,30	0,83	0,28	0,95	0,45	0,98	0,18	4,25	5,8
0,40	0,72	0,25	0,81	0,40	0,81	0,16	2,44	3,4
0,50	0,65	0,23	0,73	0,36	0,76	0,15	1,70	2,5
0,60	0,60	0,21	0,67	0,33	0,69	0,14	1,33	2,0
0,66	0,57	0,20	0,64	0,32	0,67	0,13	1,18	1,8
0,80	0,52	0,18	0,58	0,14	0,60	0,12	0,95	1,5
1,0	0,47	0,16	0,52	0,12	0,54	0,11	0,77	1,2
1,25	0,42	0,15	0,47	0,11	0,49	0,10	0,66	1,1

4. Значения коэффициентов эквивалентности $k_{\text{экв}}$

Металлы	Напряжение на трубке, кВ					Радионуклиды				
	50	100	150	200	400	Tm	Se	Ir	Cs	Co
Магний	0,03	0,06	0,12	0,18	0,22	0,16	0,18	0,22	0,23	0,23
Алюминий	0,05	0,08	0,16	0,25	0,32	0,29	0,32	0,34	0,34	0,34
Титан	0,35	0,37	0,42	0,50	0,54	0,52	0,54	0,56	0,57	0,57
Железо	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Медь	1,52	1,46	1,39	1,29	1,15	1,21	1,15	1,11	1,11	1,11
Никель	1,44	1,39	1,35	1,27	1,18	1,22	1,19	1,15	1,15	1,15
Молибден	4,51	4,42	3,79	2,65	1,62	2,14	1,82	1,31	1,29	1,26
Свинец	-	-	21,1	14,1	4,94	7,32	6,94	3,85	3,28	2,23
Вольфрам	-	-	27,8	18,6	6,75	10,6	9,53	4,96	4,21	3,21

2. Значения напряжений U_{max} на рентгеновской трубке для базовых материалов

U_{max} , кВ	Толщина материалов, мм			
	Fe	Ti	Al	Mg
60	1	3	20	35
80	2	6	38	57
100	5	10	54	80
120	7	18	59	105
150	10	24	67	120
200	21	47	100	160
250	27	57	112	200
300	33	72	132	240

5. Домашнее задание по радиационной дефектоскопии

Определить параметры рентгеновского и гамма-контроля стыкового сварного соединения: вид источника излучения и тип аппарата, экспозицию просвечивания для пленки РТ-1 при фокусных расстояниях $F = 750; 500; 1000$ мм, время просвечивания для пленки РТ-2 с усиливающим экраном "Стандарт" и для пленки РТ-5 с металлическим экраном (для $F = 750$ мм). Материал и толщину соединения взять из таблицы вариантов.

№ вар.	Материал	Толщина, мм	№ вар.	Материал	Толщина, мм	№ вар.	Материал	Толщина, мм
I	Сталь	5	18	Алюминий	5	35	Титан	5
2	"	10	19	"	10	36	"	10
3	"	15	20	"	20	37	"	20
4	"	20	21	"	30	38	"	30
5	"	25	22	"	40	39	"	40
6	"	30	23	"	50	40	"	50
7	"	35	24	"	60	41	"	60
8	"	40	25	"	70	42	"	70
9	"	45	26	"	80	43	"	80
10	"	50	27	"	90	44	"	90
11	"	55	28	"	100	45	"	100
12	"	60	29	"	110	46	"	110
13	"	65	30	"	120	47	"	120
14	"	70	31	"	130	48	"	130
15	"	75	32	"	140	49	"	140
16	"	80	33	"	150	50	"	150
17	"	100	34	"	200	51	"	200

6. Толщина d_0 слоя защиты от рентгеновского излучения, мм

Кратность ослабления $K_{ос}$	Напряжение на трубке, кВ									
	100		150		200		250		300	
	Свинец	Бетон	Свинец	Бетон	Свинец	Бетон	Свинец	Бетон	Свинец	Бетон
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Прямое излучение										
0,001	-	-	0,5	-	1,0	-	1,5	-	2,0	-
0,003	0,5	-	1,0	-	1,5	-	2,5	-	4,0	-
0,005	0,75	-	1,25	-	2,0	-	3,0	-	4,5	-
0,01	1,0	70	1,5	140	2,25	180	3,5	200	6,0	260
0,02	1,0	85	1,75	150	2,5	200	4,0	230	7,2	290
0,05	1,5	120	2,0	180	3,0	240	5,0	270	10	340
0,1	1,5	130	2,25	200	3,5	270	5,75	300	11,5	370
0,5	2,25	170	3,0	250	4,5	320	7,5	370	14,5	430
1	2,5	180	3,25	270	5,0	350	8,5	400	16,5	460
2	2,75	200	3,5	290	5,5	380	9,5	430	18,0	490
3	2,75	-	4,0	-	5,75	-	10,0	-	19,0	-
5	3,0	220	4,25	340	6,0	400	10,5	460	20,0	520
10	3,25	240	4,5	360	6,5	430	11,5	490	21,5	560
20	3,5	250	4,75	400	7,0	460	12,0	520	23,5	600
50	3,75	270	5,25	420	7,75	480	13,5	570	25,5	620
100	4,0	300	5,5	430	8,25	500	14,0	580	27,0	650

Окончание

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Рассеянное излучение										
0,01	0,1	20	0,1	30	0,2	40	0,3	50	0,6	70
0,02	0,2	35	0,3	45	0,5	65	0,8	75	1,2	95
0,05	0,5	55	0,8	80	1,0	120	1,5	125	3,0	145
0,1	0,7	65	1,0	100	1,4	140	2,0	150	4,0	170
0,2	0,9	80	1,2	120	1,8	170	2,7	180	5,0	200
0,3	1,0	85	1,3	130	2,0	180	3,0	190	5,5	210
0,5	1,2	100	1,5	140	2,2	190	3,5	210	6,5	220
1	1,4	120	1,8	160	2,6	220	4,2	230	7,5	250
2	1,6	130	2,0	185	3,0	250	5,0	260	9,0	280
5	1,8	150	2,3	210	3,6	280	5,8	290	10,5	310
10	2,1	170	2,6	230	4,1	300	6,5	320	12,0	340
20	2,3	180	2,9	260	4,6	340	7,3	330	13,5	380
50	2,5	200	3,2	280	5,1	370	8,0	360	15,0	410
100	2,8	220	3,5	310	5,6	390	8,8	420	17,0	440

Примечание. Плотность бетона $\rho_{\text{бет}} = 2,35 \text{ кг/дм}^3$ (в СИ в кг/м^3).

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Радиационная дефектоскопия	3
Работа 1. Контроль рентгеновскими лучами	7
Работа 2. Контроль гамма-лучами	20
Работа 3. Радиоскопия изделий	25
Работа 4. Радиометрическая дефектоскопия изделий	32
Работа 5. Радиационная толщинометрия	38
Работа 6. Рентгеновская томография	41
Работа 7. Радиационная безопасность при контроле из- делий	46
Работа 8. Дозиметрия ионизирующих излучений	49
Работа 9. Методы фотособработки рентгеновских пленок	53
Работа 10. Компрессионные методы контроля герметично- сти изделий	63
Работа 11. Галогенный метод контроля герметичности и течеискания	67
Работа 12. Масс-спектрометрический метод контроля герметичности и течеискания	72
Работа 13. Люминесцентная и цветная дефектоскопия ...	76
Литература	81
Приложения	82

Редакция заказной литературы

**Борис Георгиевич Маслов
Андрей Леонидович Ремизов**

**Радиационная дефектоскопия. Контроль
проникающими веществами**

Заведующая редакцией Н.Г.Ковалевская

Редактор О.М.Королева

Корректор О.В.Калашникова

Подписано в печать 15.04.92. Формат 60х84/16. Бумага тип. № 2.
Печ.л. 5,5. Усл.печ.л. 5,12. Уч.-изд.л. 4,91+1вкл.
Тираж 200 экз. Изд. № 104. Заказ № 612 С 156

**Издательство МГТУ, типография МГТУ.
107005, Москва, Б-5, 2-я Бауманская, 5.**