

Московский инженерно-физический институт

КАФЕДРА ФИЗИКИ

Физический практикум 5-го семестра

53
112

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 18

ПОГЛОЩЕНИЕ РЕНТГЕНОВСКИХ ЛУЧЕЙ ВЕЩЕСТВОМ

Описание составлено на основании работы № 2 /автор РУ-САКОВ А.А./ практикума по рентгенографии.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 18

ПОГЛОЩЕНИЕ РЕНТГЕНОВСКИХ ЛУЧЕЙ ВЕЩЕСТВОМ

Цель работы. Ознакомление с характером поглощения рентгеновских лучей веществом и методами рентгеновского просвечивания.

1. ПОЛУЧЕНИЕ РЕНТГЕНОВСКИХ ЛУЧЕЙ

Рентгеновское излучение возникает при резком торможении быстро летящих электронов в веществе анода рентгеновской трубки. Электроны, вылетающие из нити накала катода, получают ускорение в электрическом поле между электродами трубки. Приближаясь к аноду, они приобретают кинетическую энергию:

$$\frac{m v^2}{2} = e U, \quad /1/$$

где m, v, e — масса, скорость и заряд электрона,
 U — напряжение между электродами трубки.

Достигнув анода, электроны попадают в поле атомов вещества. Здесь электроны тормозятся, в результате чего происходит преобразование их энергии в рентгеновское излучение и тепло /причем только 1% энергии преобразуется в рентген излучения/.

Согласно современным представлениям в том случае, когда летящий электрон сразу терпит всю свою энергию /в одном акте торможения в поле какого-либо атома/, энергия возникающего рентгеновского кванта ε будет соответствовать максимальной частоте ν_{max} .

$$\varepsilon = h \nu_{max} = \frac{m v^2}{2}, \quad /2/$$

где h — постоянная планка, равная $6,67 \cdot 10^{-27}$ эрг.сек.

Тогда длина волны такого кванта будет равна:

$$\lambda_{min} = \frac{c}{\nu_{max}} = \frac{h c}{e U}. \quad /3/$$

Преимущественно же электроны теряют свою энергию не сразу, а в результате ряда последовательных торможений. Соответственно энергия испускаемых квантов в этом случае будет меньше, а длина волны больше. Совокупность всех возможных длин волн образует непрерывный /"белый"/ спектр, изображенный на рис. I.

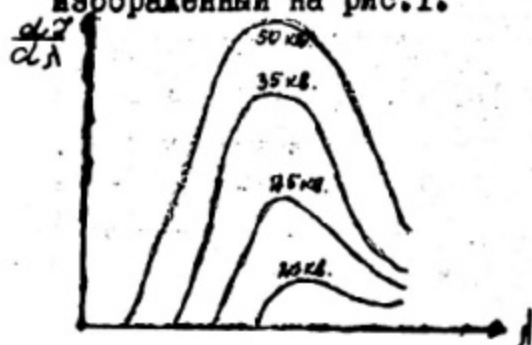


Рис. I

Здесь $\frac{dI}{d\lambda}$ представляет собой удельную интенсивность рентгеновского излучения соответствующую определенной длине волны.

Из рис. I видно, что коротковолновая граница "белого" спектра, даваемая равенством /3/, а также максимум интенсивности спектра смещаются при увеличении ускоряющего напряжения в сторону более коротких длин волн.

Интенсивность "белого" излучения пропорциональна атомному номеру Z вещества анода, квадрату напряжения U на рентгеновской трубе и силе тока i через трубку:

$$I = K \cdot Z U^2, \quad /4/$$

где K - коэффициент пропорциональности, то есть при прочих равных условиях более интенсивное "белое" излучение возникает с анодов с большим атомным номером.

В трубках для просвечивания в качестве материала для анода обычно используется вольфрам / $Z = 74$ /, имеющий высокую температуру плавления.

Кроме "белого" излучения, при определенных напряжениях на трубке возникает так называемый характеристический спектр рентгеновских лучей, представляющий собой вполне определенный набор длин волн / линейчатый спектр /, характеризующий вещество анода. Его возникновение связано с выбиванием

внутренних электронов в атоме и последующим заполнением освободившегося места внешними электронами.

П. МЕТОДЫ РЕНТГЕНОВСКОГО ПРОСВЕЧИВАНИЯ

Существует два основных метода рентгеновской дефектоскопии: фотографический и визуальный.

При первом методе с помощью рентгеновских лучей производят снимок исследуемого изделия на фотографической пленке, фотобумаге или фотопластинке. Обычно для этого метода применяют специальную рентгеновскую пленку, отличающуюся от пленки, употребляемой в фотографии, большой толщиной слоя светочувствительной эмульсии, которой покрыты обе стороны пленки. Применение такой пленки позволяет значительно сократить экспозицию / продолжительность съемки/.

При втором методе картина рассматривается непосредственно на экране, покрытом флюоресцирующим веществом.

Фотографический метод применяется чаще, чем визуальный, так как рентгенограмма дает возможность выявить более мелкие дефекты и является документом, объективно фиксирующим картину просвечивания. Недостатком метода является малая производительность и весьма высокая стоимость.

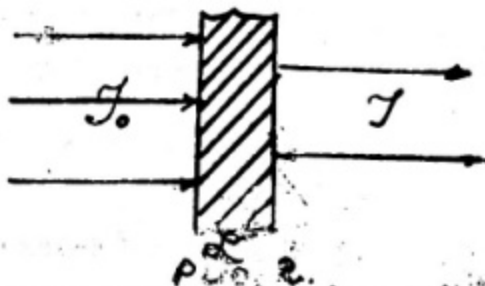
Ш. ПРОХОЖДЕНИЕ РЕНТГЕНОВСКИХ ЛУЧЕЙ ЧЕРЕЗ ВЕЩЕСТВО

Оба метода фотографический и визуальный, основаны на свойстве рентгеновских лучей проходить через непрозрачные для видимого света тела.

Поглощение рентгеновских лучей описывается экспоненциальным законом:

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu d}, \quad 151$$

где I — интенсивность рентгеновских лучей, прошедших через просвечиваемое тело /рис. I/:



I_0 - начальная интенсивность;
 d - толщина просвечиваемого слоя;
 μ - линейный коэффициент поглощения.

Коэффициент поглощения μ зависит от длины волны падающих лучей и от атомного номера просвечиваемого вещества.

Эта зависимость приближенно выражается формулой:

$$\frac{\mu}{\rho} \approx C \lambda^3 Z^3, \quad /6/$$

где ρ - плотность просвечиваемого тела,
 C - постоянная, зависящая от просвечиваемого материала и излучения.

Из формулы /5/ видно, что интенсивность прошедших лучей зависит от толщины просвечиваемого объекта и его поглощающей способности. Это свойство рентгеновских лучей и используется для обнаружения дефекта в изделии.

Для получения рентгеновского снимка пользуются тем свойством рентгеновских лучей, что они, как и видимый свет, попадая на фотографическую пленку, разлагают зерна бромистого серебра эмульсии.

Количество разложившихся зерен в известных пределах пропорционально экспозиции /произведению интенсивности рентгеновских лучей/. Обычно почернение фотопленки измеряют, пропуская через нее лучи видимого света и определяя их степень поглощения в эмульсии.

Определяемое таким образом почернение S выражается формулой:

$$S = \lg_{10} \frac{I_0}{I}, \quad /7/$$

где I_0 - интенсивность света, падающего на фотопленку;
 I - интенсивность света, прошедшего через фотопленку.

Почернение пленки S , производимое рентгеновскими лучами зависит от их интенсивности I и времени экспозиции t ; при рассматривании рентгенограмм по различию почернений пленки судят о различии интенсивностей, а следовательно, и о различии толщин.

Обычно дефект изделия представляет собой неоднородность в теле металла. Если коэффициент поглощения дефекта отличается от коэффициента поглощения основного металла, то дефект будет представляться на пленке в виде темного или светлого пятна.

Надежность результатов рентгеновского просвечивания тем выше, чем больше чувствительность метода. Чувствительностью метода называется минимальная величина выявляемого дефекта. Она зависит от качества рентгеновского снимка, его контрастности.

IV. ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ МЕТОДА

Факторами, влияющими на качество рентгеновского снимка являются:

1. "Жесткость" рентгеновских лучей.
2. Рассеянное излучение.
3. Величина фокуса рентгеновской трубки.
4. Фототехника.

I. "Жесткость" рентгеновских лучей

Проникающая способность рентгеновских лучей зависит от длины их волны. Она тем больше, чем меньше длина волны, как это видно из формулы /6/. Длина волн рентгеновских лучей будет тем меньше, чем выше напряжение на рентгеновской трубке.

Рентгеновские лучи с малой длиной волны называются "жесткими", с большей длиной волны - "мягкими".

При выборе жесткости лучей для получения рентгеновского снимка необходимо знать требуемую чувствительность метода, то есть минимальную величину выявляемых дефектов. Чувствительность метода зависит от жесткости рентгеновских лучей: чем мягче лучи, тем меньше дефекты можно обнаружить.

С другой стороны, чем мягче лучи, тем больше время экспозиции. Поэтому приходится выбирать такую оптимальную жесткость рентгеновских лучей, при которой, про-

игрывая несколько в чувствительности метода, получают допустимые экспозиции.

При подборе экспозиции для различных толщин можно пользоваться ступенчатыми эта-

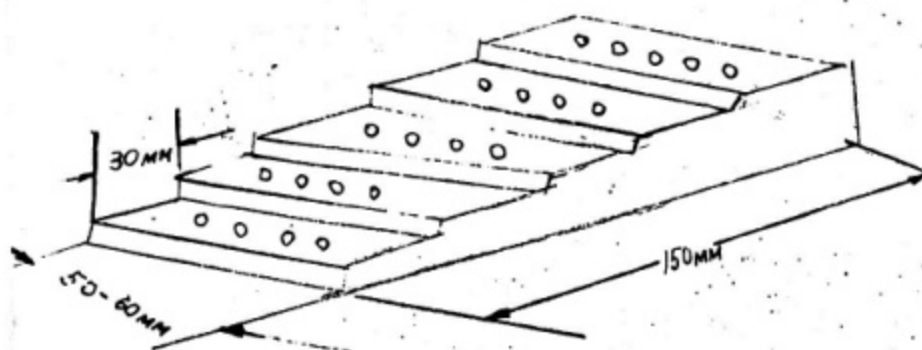


рис. 3.

лонами из различных материалов. Эти же эталоны одновременно служат для определения чувствительности метода, для чего в них просверливают отверстия различной глубины /рис.3/.

2. Рассеянное излучение

Первичный рентгеновский луч, проходя через исследуемое тело, испытывает не только поглощение, но и рассеяние на атомах этого тела. Рассеянные лучи направлены беспорядочно и их действие вызывает общее потемнение /вуалирование/ пленки. Количество рассеянных лучей, дошедших до фотографической пленки, тем больше:

1. Чем толще объект /то есть больше число рассеивающих центров/;

2. Чем меньше атомный номер исследуемого материала/ ибо в легких металлах поглощение рассеянного из-

лучения в самом материале значительно меньше и, следовательно, до рентгеновской пленки доходит большее количество рассеянного излучения.

3. Чем выше напряжение на рентгеновской трубке, то есть чем больше жесткость рентгеновских лучей /при увеличении жесткости прямого излучения и вместе с этим его проникающая способность/.

Полностью избавиться от рассеянного излучения нельзя, однако, для уменьшения его влияния легкие материалы просвечивают мягкими лучами или используют фольги из тяжелых металлов, которые частично это излучение поглощают.

3. Величина фокуса и его расстояние до пленки

Величина фокуса рентгеновской трубки представляет собой площадь той части анода, которая подвергается электронной бомбардировке, то есть является источником рентгеновских лучей.

Величина фокуса и его расстояние от пленки влияют на четкость изображения на рентгеновском снимке, а следовательно, на чувствительность метода.

Очевидно, что при точечном фокусе изображение дефекта будет резким, а при фокусе, занимающем некоторую площадь /"тупой" фокус/ получается размытие краев изображения /полутень/.

Четкость изображения дефекта будет тем больше, чем ближе лежит к поверхности пленки дефект и чем меньше фокус. Поэтому желательно иметь рентгеновскую трубку с возможно меньшим /острым/ фокусом. Однако делать фокус слишком малым нельзя из-за опасности перегрева анода рентгеновской трубки, вследствие больших плотностей тока в фокальном пятне трубки. Во избежание этого, на трубках с малым фокусом работают только на малых нагрузках, что сильно увеличивает время экспозиции.

Одним из методов для получения достаточно острого фо-

куса при значительных нагрузках является применение рентгеновских трубок с линейчатым фокусом. Проекция фокуса такой трубки в направлении просвечивания имеет весьма малые линейные размеры.

Получить фокус в виде геометрической точки практически невозможно, поэтому просвечиваемый объект нельзя помещать слишком близко к рентгеновской трубке. Действительно, как указывалось выше, при достаточном фокусе размытие краев изображения обусловлено образованием полутени. Величина этой полутени при заданном расстоянии от дефекта до фотопленки, определяется угловым размером фокуса /углом, под которым виден фокус из рассматриваемого дефекта/. Таким образом, чем больше линейный размер фокуса, тем на большем расстоянии от просвечиваемого объекта нужно располагать рентгеновскую трубку, чтобы получить достаточную выявляемость дефектов. Обычно рентгено съемку производят при фокусном расстоянии не ниже 50 см.

Величину фокуса можно определить, засняв его в специальной камере, действующей подобно обычной оптической

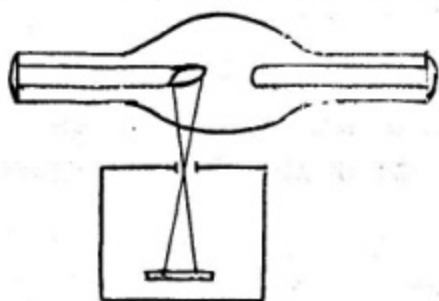


Рис. 4

камере-обокуре. Эта камера представляет собой свинцовую коробку, в передней стенке которой сделано узкое отверстие /рис.4/. Пленка помещается внутри этой коробки, вблизи задней стенки. Для получения фокуса в натуральную величину,

камеру надо поместить так, чтобы расстояние от фокуса трубки до отверстия камеры равнялось расстоянию от отверстия до пленки.

4. Фототехника

Большое значение для качества рентгеновского снимка имеет процесс фотографической обработки. Контрастность этих снимков является одним из условий наибольшей чувствительности метода. Этого можно добиться, соблюдая следующие правила.

1. Зарядка пленки и ее проявление производятся в темной комнате при красном фонаре. Продолжительное освещение красным светом засвечивает /вуалирует/ пленку, поэтому открывать красный свет следует только на короткие промежутки времени, необходимые для наблюдения за процессом проявления^{х/}.

2. Проявлять пленку следует в контрастном проявителе.

3. Необходимо проявлять пленку в течение того времени, которое указано в рецепте проявителя /5 минут/. Следует помнить, что при температуре ниже комнатной /18°С/ проявитель работает медленнее, а при более высокой - быстрее. Фиксирование пленки производят в закрепителе /фиксаци/.

У. ТЕХНИКА ПОЛУЧЕНИЯ РЕНТГЕНОВСКОГО СНИМКА

1. Установка объекта для просвечивания

Просвечиваемый объект устанавливается таким образом, чтобы обеспечивалась перпендикулярность падающих рентгеновских лучей к просвечиваемой поверхности. Только в этом случае достигается получение правильных очертаний дефектов.

Это условие не всегда соблюдается в случае деталей сложных конфигураций и в случае съемки фасонных сварных швов.

2. Укладка пленки под просвечиваемым объектом

При рентгеносъемке пленку заряжают в кассеты. Кассеты бывают жесткие, плоские и гибкие.

Вместо гибких кассет, часто употребляют конверты из черной фотографической бумаги. Эти конверты, а также гибкие кассеты, употребляются для съемки деталей сложной конфи-

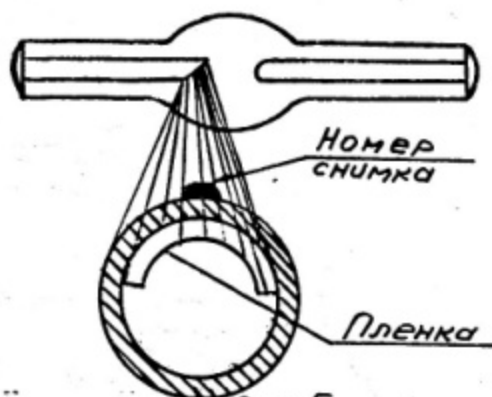


Рис. 5

х/ Некоторые сорта пленок требуют проявления при зеленом свете или даже в полной темноте.

- гурации.

Плоские кассеты обычно устанавливаются только под просвечиваемым объектом. Гибкие кассеты и черные конверты можно укладывать внутрь просвечиваемых объектов. Благодаря плотному прилеганию гибкой кассеты к стенкам объекта, снимок получается хорошим. На рис.5 дается схема укладки гибкой кассеты в цилиндрической детали.

Для нумерации рентгеновских снимков употребляют наклеенные на картон или пластмассу свинцовые цифры, которые кладутся на просвечиваемую поверхность.

3. Установка рентгеновской трубки, выбор фокусного расстояния

Фокусным расстоянием называется расстояние АВ от фокуса трубки до пленки /рис.6/. Рентгеновский снимок

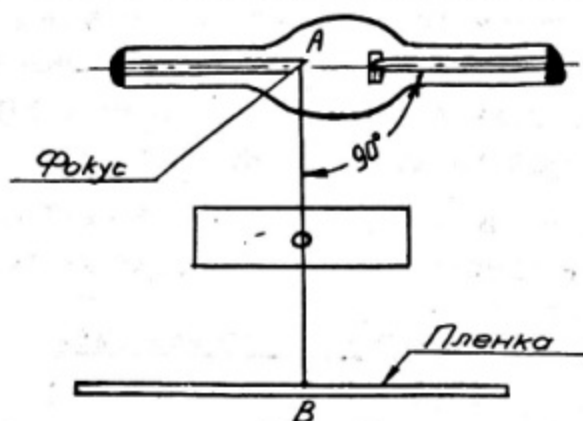


Рис. 6

обычно получают при фокусном расстоянии в 50 см. Рентгеновская трубка дает рабочий пучок в виде конуса. Площадь, отсекаемая плоскостью, перпендикулярной оси этого конуса, называется зоной просвечивания /рис.7/.

Величина этой зоны зависит от ее расстояния от фокуса трубки. В случае, если на одну экспозицию требуется просветить большую площадь, то может оказаться, что

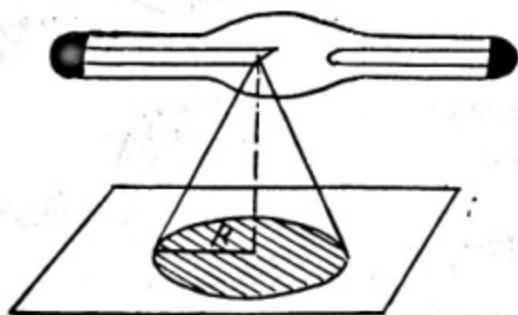


Рис. 7

при фокусном расстоянии в 50 см просвечиваемый объект не попадает полностью в зону просвечивания. Расчет требуемого фокусного расстояния производится по приближенной формуле:

$$F = \frac{3}{2} R > 50 \text{ см.}; \quad /12/$$

где F - фокусное расстояние,

R - радиус зоны просвечивания.

4. Выбор режима съемки и экспозиции

После того, как произведены вышеуказанные операции, объект готов к съемке.

Перед включением рентгеновской установки выбирается режим съемки и экспозиция. Режим съемки называется напряжением на рентгеновской трубке в киловольтах и ток через трубку - I в миллиамперах. Напряжение на рентгеновской трубке устанавливается в зависимости от вещества, просвечиваемого объекта, его толщины и требований, предъявляемых к чувствительности метода. Оптимальные напряжения для двух наиболее часто встречающихся в практике просвечивания металлов даны в табл. I.

Таблица I.
/по данным А.А.Русакова/

Алюминий		Сталь	
Толщина /мм/	Напряжение /кв/тах.	Толщина /мм/	Напряжение /кв/тах.
I-10	50	I-3	80
10-20	65	3-5	100
20-30	80	5-8	120
		8-12	140
		12-15	160

Ток через рентгеновскую трубку устанавливается в зависимости от ее типа. Употребляемая нами трубка типа ДВ-II0 /диагностическая, с водяным охлаждением, на II0 кв./ допускает максимальную продолжительную нагрузку 5 ма. Экспозиция зависит от следующих величин:

1. Атомного номера, просвечиваемого материала.
2. Толщины, просвечиваемого материала.
3. Фокусного расстояния.
4. Напряжения на рентгеновской трубке.
5. Тока через рентгеновскую трубку.

6. Чувствительности рентгеновской пленки /обычно дается в обратных рентгенах/.

7. Применения усиливающих экранов /флюоресцирующих под влиянием рентгеновского излучения и поэтому сокращающих экспозицию/.

Обычно экспозиция задается числом миллиампер-секунд.

Условием получения хорошего снимка является выбор такой экспозиции, при которой получается степень почернения пленки S , дающая наибольшую контрастность изображения / $S = 0,7-1,1$ /.

Экспозицию определяют путем подбора, снимая при оптимальном напряжении, определенной силе тока и фокусном расстоянии эталоны толщины и добиваясь определенной степени почернения пленки. Результаты таких опытов даются в виде таблиц или графиков. Имея данные, взятые из этих таблиц, нетрудно вычислить экспозицию при другом фокусном расстоянии и силе тока через трубку.

Это можно сделать по формуле:

$$\frac{J_1 T_1}{J_2 T_2} = \frac{F_1^2}{F_2^2} \quad /13/$$

где J_1, T_1, F_1 - соответственно, сила тока через трубку, время экспозиции и фокусное расстояние, взятое из таблиц или графиков;
 J_2, T_2, F_2 - те же величины при съемке объекта.

VI. ЗАДАНИЕ

I. Построить с помощью ионизационной камеры /рентгенометра/ и набора пластинок кривую зависимости интенсивности, прошедшего через вещество рентгеновского излучения от толщины:

а/ для алюминия;

б/ для меди;

в/ для латуни.

Интерполлировать полученные кривые аналитическими формулами в виде экспоненциальной зависимости.

Определить коэффициенты поглощения для этих веществ при данной длине волны рентгеновского излучения.

2. Снять набор различных материалов на одной пленке.

Сравнить /качественно/ их поглощательную способность.

Режим: $U = 53$ кв., $J = 5$ ма, $F = 50$ см, $T = 1$ минута.

3. Снять ступенчатый эталон алюминия при следующих режимах /на одной пленке/:

$U_1 = 58$ кв. $T_1 = 3,5$ мин.

$U_2 = 73$ кв. $T_2 = 1$ мин. $\left\{ \begin{array}{l} F = 50 \text{ см, } J = 5 \text{ ма.} \end{array} \right.$

$U_3 = 83$ кв. $T_3 = 1$ мин.

4. Снять фокусы рентгеновской трубки /тупой и острый/ с помощью камеры-обскуры в натуральную величину в направлении перпендикулярном оси трубки.

Режим: $U = 53$ кв., $J = 5$ ма, $T = 30$ сек.

Подсчитать нагрузку на 1 мм^2 фокусного пятна /в ваттах/. Учесть, что наклон поверхности анода к оси рентгеновской трубки /типа ДВ-110/ равен 71° .

4. Снять детали, имеющие внутренние дефекты.

Режим: $U = 53$ кв., $J = 5$ ма, $F = 50$ см, $T = 2,5$ мин

ЛИТЕРАТУРА

1. Мальцев, Рентгенография металлов, 1952.

2. Трапезников А.К., Рентгенодефектоскопия, 1948.

3. Еданов Г.С., Уманский Я.С., Рентгенография металлов, I, 1947