

БЕСПЛЕНОЧНАЯ РАДИОГРАФИЯ ТРУБ ДИАМЕТРОМ БОЛЕЕ 500 ММ

Струговцов Д.В.

Томский политехнический университет, г. Томск

Введение

В настоящее время обеспечение надежности и долговечности производимой продукции играет важнейшую роль в силу развития промышленности и прогресса. С каждым днем требования к качеству различных изделий увеличиваются. Одним из самых ярких примеров таких изделий являются трубопроводы (нефтяные, магистральные).

Интерес для промышленности представляют неразрушающие методы контроля качества продукции, в том числе с использованием проникающей радиации. Дефектоскопия (от лат. defectus — недостаток и от греч. skoreo — смотрю, рассматриваю, наблюдаю) – это комплекс методов и средств неразрушающего контроля материалов и изделий с целью обнаружения дефектов. Она включает в себя: разработку методов и аппаратуры (дефектоскопы и др.); составление методик контроля; обработку показаний дефектоскопов. Совокупность таких методов дают полное представление об исследуемом объекте контроля. Методы неразрушающего контроля обладают высокой чувствительностью, точностью, наглядностью. Основное достоинство таких методов – возможность проводить контроль изделий в процессе эксплуатации исследуемого объект. [4]

Одним из наиболее универсальных и информативных методов неразрушающего контроля является радиационный контроль, занимающий ведущее место в неразрушающем контроле материалов и изделий.

Радиографический метод неразрушающего контроля – метод радиационного неразрушающего контроля, основанный на преобразовании радиационного изображения контролируемого объекта в радиографический снимок или записи этого изображения на запоминающем устройстве с последующим преобразованием в световое изображение.[3]

Метод рентгенодефектоскопии в основном был разработан еще до Великой Отечественной войны, при котором использовались рентгеновские пленки, которые требовали аккуратного и бережного обращения и определенных условий в обработке и получении с них информации, что является основным недостатком в пленочной

радиографии. Со временем, с развитием техники и электроники появилась возможность избежать применения морально устаревших радиографических пленок путем использования, так называемой беспленочной радиографии, позволяющей получить цифровое и более качественное изображение, чем радиографическая пленка.

Теоретическая часть

Радиационные методы контроля основаны на регистрации и анализе ионизирующего излучения при его взаимодействии с контролируемым изделием. Наиболее часто применяются методы контроля прошедшим излучением, основанные на различном поглощении ионизирующих излучений при прохождении через дефект и бездефектный участок сварного соединения. Интенсивность прошедшего излучения будет больше на участках меньшей толщины или меньшей плотности, в частности в местах дефектов - несплошностей или неметаллических включений.

Методы радиационного контроля классифицируются прежде всего по виду (и источнику) ионизирующего излучения и по виду детектора ионизирующего излучения. [5]

Ионизирующим называют излучение, взаимодействие которого со средой приводит к образованию электрических зарядов. Так как ионизирующее излучение, состоящее из заряженных частиц, имеет малую проникающую способность, то для радиационного контроля сварных соединений обычно используют излучение фотонов или нейтронов. Наиболее широко используется *рентгеновское излучение* – это фотонное излучение с длиной волны $6 \cdot 10^{-13} \dots 1 \cdot 10^{-9}$ м. Имея ту же природу, что и видимый свет, но меньшую длину волны (у видимого света $4 \dots 7 \cdot 10^{-7}$ м), рентгеновское излучение обладает высокой проникающей способностью и может проходить через достаточно большие толщины конструкционных материалов. При взаимодействии с материалом контролируемого изделия интенсивность рентгеновского излучения уменьшается, что и используется при контроле. Рентгеновское излучение обеспечивает наибольшую чувствительность контроля. [6]

Получают рентгеновское излучение в рентгеновских трубках. Испускаемые с накаливаемого катода электроны под действием высокого напряжения разгоняются в герметичном баллоне, из которого откачан воздух, и попадают на анод. При торможении электронов на аноде их энергия выделяется в виде фотонов различной длины волны, в том числе и рентгеновских. Чем больше ускоряющее напряжение, тем

больше энергия образующихся фотонов и их проникающая способность.

Другим распространенным видом ионизирующего излучения, используемым при контроле сварных соединений, является γ -излучение – это фотонное излучение с длиной волны $1 \cdot 10^{-13} \dots 4 \cdot 10^{-12} \text{ м}$, возникающее при распаде радиоактивных изотопов, источником γ -излучения при радиационном контроле обычно являются радиоактивные изотопы тулия, иридия, цезия, кобальта: ^{170}Tl , ^{192}Ir , ^{137}Cs , ^{60}Co и др. Источники γ -излучения компактны и не требуют больших затрат электроэнергии (только на освещение и, возможно, на перемещение радиоактивного изотопа в рабочее положение и обратно). Однако γ -излучение более опасно для человека и, в отличие от рентгеновского, не может быть выключено. Проникающая способность γ -излучения выше, чем рентгеновского, поэтому могут просвечиваться изделия большей толщины, но чувствительность контроля при этом ниже, различие между дефектными и бездефектными участками менее заметно. Поэтому область применения γ -дефектоскопии – контроль изделий большой толщины (малые дефекты в этом случае менее опасны), контроль в монтажных и полевых условиях, в частности – трубопроводов и крупногабаритных резервуаров, просвечивание изделий сложной формы, если разместить рентгеновский аппарат нельзя. [5]

В зависимости от методов детектирования (обнаружения и регистрации) ионизирующего излучения различают *радиографию*, при которой фиксирование изображения внутренней структуры изделия происходит на пленке или бумаге, *радиоскопию* (изображение наблюдается на экране) и *радиометрию* (регистрируются электрические сигналы). Радиография получила наибольшее распространение с связи с простотой, наглядностью и документальным подтверждением результатов контроля. При радиографическом контроле для регистрации интенсивности прошедшего через металл излучения применяют радиографическую пленку или фотобумагу (метод прямой экспозиции), металлические активизируемые экраны или заряженные полупроводниковые пластины (метод переноса изображения). Более распространен метод прямой экспозиции. При нем могут использоваться все рассмотренные виды ионизирующих излучений. Оптическая плотность почернения радиографической пленки или фотобумаги зависит от дозы ионизирующего излучения, она больше на местах, перекрытых менее плотными участками контролируемого объекта. [5] Поэтому такие дефекты, как поры, трещины, непровары, а

также шлаковые включения, будут выглядеть на радиографической пленке в виде темных пятен соответствующей формы. Включения более плотные, чем основной металл (например, вольфрамовые при сварке алюминия неплавящимся электродом), будут на радиограммах иметь вид светлых пятен. Для лучшего выявления дефекта направление излучения должно по возможности совпадать с направлением его максимального размера.

Для повышения чувствительности контроля и ускорения просвечивания используют усиливающие флуоресцентные или металлические экраны из фольги тяжелых металлов (чаще свинца), наклеенной на гибкий пластик.[1]

Флуоресцентные экраны представляют собой пластмассовую или картонную подложку, на которую нанесен слой люминофора - вещества, светящегося под воздействием ионизирующего излучения. Они используются со специальными пленками, чувствительными к видимому ультрафиолетовому и инфракрасному излучениям. Наименьшие экспозиции получаются при использовании флуоресцентных экранов, а наилучшая чувствительность - при использовании металлических экранов.[5]

Радиографические пленки характеризуются чувствительностью к излучению и контрастностью. Чем больше чувствительность пленки, тем выше производительность контроля. Чем выше контрастность пленки, тем выше чувствительность контроля. Поэтому высококонтрастные пленки применяют при просвечивании ответственных изделий, а также легких металлов и деталей малой толщины.

Выявляемость дефектов при радиографическом контроле зависит также от резкости изображения. Причинами нерезкости могут быть образование в эмульсионном слое пленки фотоэлектронов (внутренняя нерезкость), рассеяние излучения в материале изделия (особенно при просвечивании изделий большой толщины), смещение или колебания относительного расположения источника, изделия и детектора (устраняются жестким закреплением) и отличие реальной формы источника излучения от точечной (геометрическая нерезкость). Для уменьшения геометрической нерезкости применяют источники излучения с возможно меньшим размером фокусного пятна, максимально приближают пленку к контролируемому изделию и увеличивают фокусное расстояние (от источника излучения до пленки) [6].

Подготовка к просвечиванию при радиографии заключается в предварительном осмотре сварного соединения и очистке его от шлака, масла и других загрязнений. Наружные дефекты удаляют. Участки шва маркируют с помощью свинцовых знаков, либо помечают пленку или флуоресцентные экраны. На поверхность изделия вблизи контролируемого шва устанавливаются эталоны чувствительности, чаще всего - канавочный: пластинка с канавками переменной глубины и ширины и проволочный: чехол с проволочками .

Время просвечивания определяется по номограммам экспозиции, которые обычно строят для каждого материала в зависимости от его толщины, энергии излучения (в частности, напряжения на аноде рентгеновской трубки), фокусного расстояния; типа применяемой пленки и усиливающих экранов. [5]

Основой радиографического метода является получение изображения предмета или изделия путем просвечивания рентгеновским или гамма-излучением. Этот метод контроля основан на свойстве данного излучения вызывать почернение эмульсии пленки или скрытое изображение на запоминающей пластине. Степень почернения различных участков на изображении после проявления определяется значением поглощенной дозы излучения, которая зависит от толщины, плотности и однородности просвечиваемого материала или изделия. [4]

Основным преимуществом радиографии по сравнению с другими методами радиационного контроля являются высокая чувствительность при обнаружении мелких дефектов, объективность получаемых результатов, представляемых в виде теневой картины просвечиваемого объекта, возможность определения линейных размеров и глубины залегания дефекта.

Основными составляющими при проведении радиационного контроля являются: источник излучения (рентгеновский аппарат или гамма-препарат), объект контроля, детектор (пленка или запоминающая пластина). Каждая составляющая контроля напрямую влияет на результат проведения контроля.

Беспленочная радиография

Беспленочная радиография является формой рентгеновского формирования изображения, где цифровые сенсоры рентгеновских лучей используются вместо традиционной пленки.

Схема контроля строится так же, как и в традиционной радиографии, только вместо рентгеновской пленки применяются

высококонтрастные гибкие многоразовые фосфорные пластины, слабочувствительные к свету.

Пластины имеют типовые для рентгеновской пленки размеры 6x24, 6x48, 10x24, 10x48, 18x24, 24x30, 30x40 и 35x43 см и экспонируются, аналогично пленки, в кассетах или гибких конвертах. Возможна также резка пластин, т. е. использование пластин нетиповых размеров. Для запоминания изображений в пластине использован слой с фотостимулируемой памятью – сложным химическим соединением.

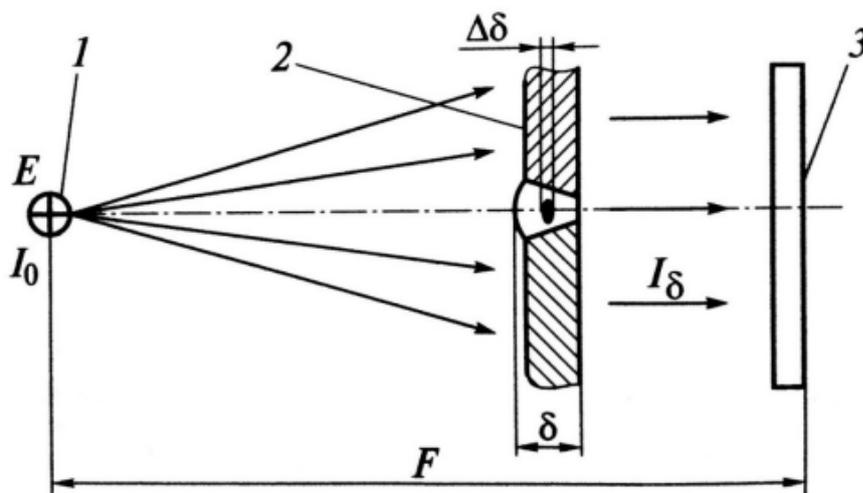


Рис.1. Структурные элементы радиационного контроля:

1 – Источник излучения; 2 – объект контроля (сварное соединение); 3 – детектор излучения; E – энергия излучения; δ – толщина материала; I_0 , I_δ – интенсивность падающего и прошедшего излучений соответственно; $\Delta\delta$ – характеристический размер дефекта; F – фокусное расстояние.

Метод основан на использовании способности некоторых люминофоров формировать скрытое изображение в зернах кристаллов люминофора, образующих покрытие пластины. Электроны, образующиеся в них в результате облучения рентгеновским или гамма-излучением, захватываются на энергетические уровни и остаются на них в течение длительного времени. Из этого состояния они могут быть выведены лазерным пучком. Поскольку считывание информации, записанной на флуоресцентную запоминающую пластину, возможно лишь с использованием современной компьютерной техники, этот вид записи получил название компьютерной, или цифровой радиографии.

Под действием рентгеновского или гамма-излучения электроны внутри «флуоресцентных» кристаллов возбуждаются и переходят в квазистабильное состояние. Специальный считыватель сканирует экспонированную пластину лазерным пучком. При этом электроны

высвобождаются из ловушки, что сопровождается эмиссией видимого света, длина волны которого отличается от длины волны излучения сканирующего лазера. Этот свет собирается фотоприемником и конвертируется в цифровой сигнал, преобразуемый в цифровое изображение.

Из процесса контроля исключена химическая обработка пленки, время получения изображения составляет от 1 до 2 минут. Изображения сохраняются сразу в электронном виде и могут подвергаться цифровой обработке с целью улучшения выявляемости дефектов. Становится возможным автоматизированный поиск дефектов и измерение их параметров. Громоздкие архивы рентгеновской пленки заменяются компактной компьютерной базой данных. Оператор может быстро и точно измерить размеры дефекта на увеличенном фрагменте изображения на экране компьютера. Сканер может быть размещен в передвижной лаборатории, что позволит проводить большие объемы контроля при ограниченном наборе пластин. Оператор может на месте, быстро проверить результат съемки и при необходимости повторить экспозицию.

Главное отличие фосфорных пластин от рентгеновской пленки - возможность многократного их использования (более 10 тысяч раз без потери качества).

Результаты

В качестве объекта контроля рассматривается труба диаметром 750 мм с толщиной стенки 11 мм.

Основным нормативным документом, определяющим методику контроля, является ГОСТ 7512-82 – «Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Радиографический метод».

Для достижения поставленных задачи в качестве источника излучения был выбран переносной рентгеновский аппарат постоянного напряжения У.ХРОС 01. Аппарат разработан специально для жестких полевых условий, может одинаково хорошо применяться как для рентгенографии, так и в системах реального времени.

Для получения рентгеновского изображения были использованы различные типы запоминающих пластин:

- 1) Kodak HR
- 2) Kodak SO170.

В соответствии с выбранной схемой контроля все используемые элементы радиографического контроля (сам объект контроля, источник ионизирующего излучения, запоминающая пластина) были

расположены в необходимой последовательности.

Изображение швов считывается портативным рентгеновским сканером Duerr HR-CR 35 NDT. При помощи программы «ВидеоРен Про» можно выполнять с изображением следующие функции:

- калибровка по оптической плотности;
- калибровка изображений по расстоянию; – измерение геометрических размеров объектов по изображению и профилю плотности;
- построение линий уровня оптической плотности с измерением площади охватываемой области;
- текстовые вставки в изображение;
- проверка снимка на соответствие ГОСТ 7512-82;
- автоматический поиск дефектов;
- классификация и расшифровка дефектов по ГОСТ 7512-82, 23055-78;
- возможность адаптации модуля расшифровки дефектов под любую техническую документацию;
- печать изображений и протоколов результатов контроля [7].

Условия проведения контроля:

- 1) $U_a=160$ кВ, $I_a=7,5$ мА, $t_E=15$ с, $r=1200$ мм – пленка HR;
- 2) $U_a=160$ кВ, $I_a=7,5$ мА, $t_E=10$ с, $r=1200$ мм – пленка HR
- 3) $U_a=160$ кВ, $I_a=7,5$ мА, $t_E=15$ с, $r=1200$ мм – пленка IP.

Данные выбраны из условий схемы контроля выбранной по ГОСТ 7512-82. Нашему случаю соответствует схема а на рисунке 2.

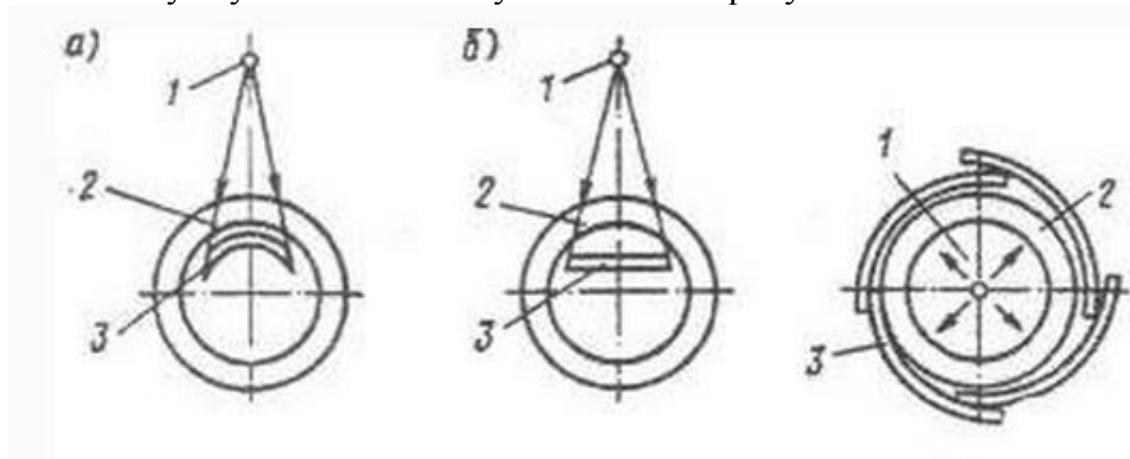


Рис. 2. Схема проведения контроля. 1 - источник излучения; 2 - контролируемый участок; 3 - кассета с пленкой.

Все снимки швов представлены в приложении 1. По этим снимкам можно сделать следующие заключения:

- 1) достигнута требуемая чувствительность;
- 2) снимки получили с разной контрастностью;

3) на всех снимках отчетливо видны следующие дефекты:

- а) зона 1 – превышение проплава корня шва;
- б) зоны 2 – брызги металла;
- с) зона 3 – непровары;
- д) зона 4 – подрез;
- е) зоны 5 – кратеры;

(зоны дефектов обозначены на разных снимках)

Из перечисленных дефектов можно выявить, те которые в большей степени влияют на качество: это зона 1, зоны 3 и зоны 5.

Заключение

С помощью радиационных методов контроля выявляются трещины, непровары, непропаи, включения, поры, подрезы и другие дефекты. Результаты контроля наглядны, поэтому по сравнению с другими методами неразрушающего контроля при радиационном контроле легче определить вид дефекта. Как правило, не требуется высокая чистота поверхности сварных швов и изделий, можно контролировать сравнительно большие толщины.

К недостаткам радиационных методов необходимо, прежде всего, отнести вредность для человека, в связи с чем требуются специальные меры радиационной безопасности: экранирование, увеличение расстояния от источника излучения и ограничение времени пребывания оператора в опасной зоне. Кроме того, радиационными методами плохо выявляются несплошности малого раскрытия (трещины, непровары), расположенные под углом более $7... 12^\circ$ к направлению просвечивания, метод малоэффективен для угловых швов.

Метод цифровой радиографии сочетает достоинства радиографии и рентгенотелевидения. Это, с одной стороны, присущие рентгенотелевидению оперативность контроля, электронная обработка и архивирование изображений, исключение расходных материалов и процессов химической обработки, а с другой стороны - возможности исследования объектов любой конфигурации и неограниченных габаритов, а также приближения приемника излучения вплотную к объекту, как при съемке на пленку.

Преимущества этой методики по сравнению с пленочной радиографией таковы:

– время экспозиции сокращается на 5 %, либо на 20 % по сравнению с пленкой;

- погрешность измерения остаточной толщины стенок можно снизить приблизительно до 3 %, в то время как при ручном измерении на пленке она составляет 10 %;
- время измерения составляет менее 15 с, тогда как, для пленки - несколько минут;
- можно грубо оценить остаточную толщину стенок путем измерения уровня серого с применением ступенчатого клина известной толщины, расположенного сбоку от трубы;
- цифровая радиография и широкий динамический диапазон запоминающих пластин позволили расширить количество радиографических измерений, которые могут выполняться в ходе эксплуатации.

Список использованных источников

1. Практика радиографического контроля: учебное пособие / В.К. Кулешов, Ю.И. Сертаков, П.Ф. Ефимов, В.Ф. Шумихин; ТПУ. – Томск: Изд-во ТПУ, 2011. – 208 с.
2. ГОСТ 7512-82 – «Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Радиографический метод»
3. ГОСТ 24034-80 – «Контроль неразрушающий радиационный. Термины и определения»
4. «Актуальные проблемы и инновации в приборостроении» - конференция, Секция 3, Михайленко М.А., Контроль сварных соединений труб методом беспленочной радиографии
5. <http://www.svarkainfo.ru/rus/lib/quolity/radiation/>, Электронный ресурс
6. <http://weldingsite.com.ua/st316.htm>, Электронный ресурс
7. VideoRep. Инструкция по эксплуатации. Россия, Санкт-Петербург– 75 с.

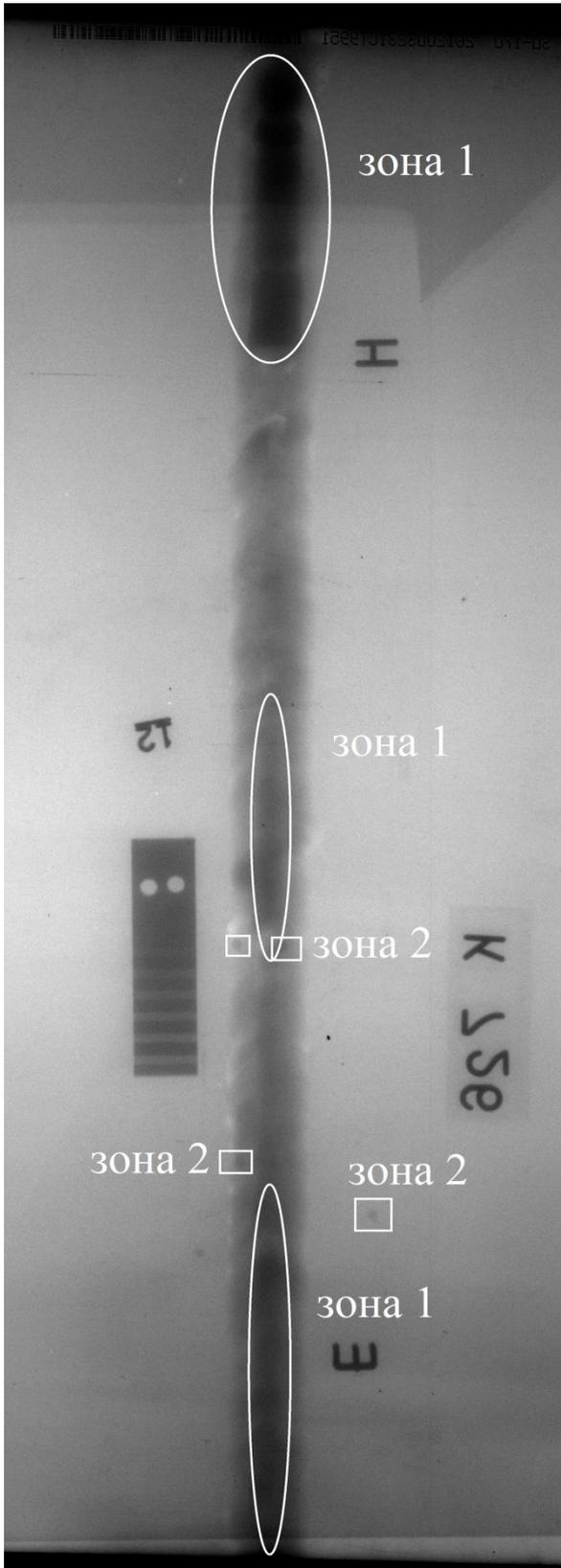


Рисунок 3. Пленка KODAK SO 170

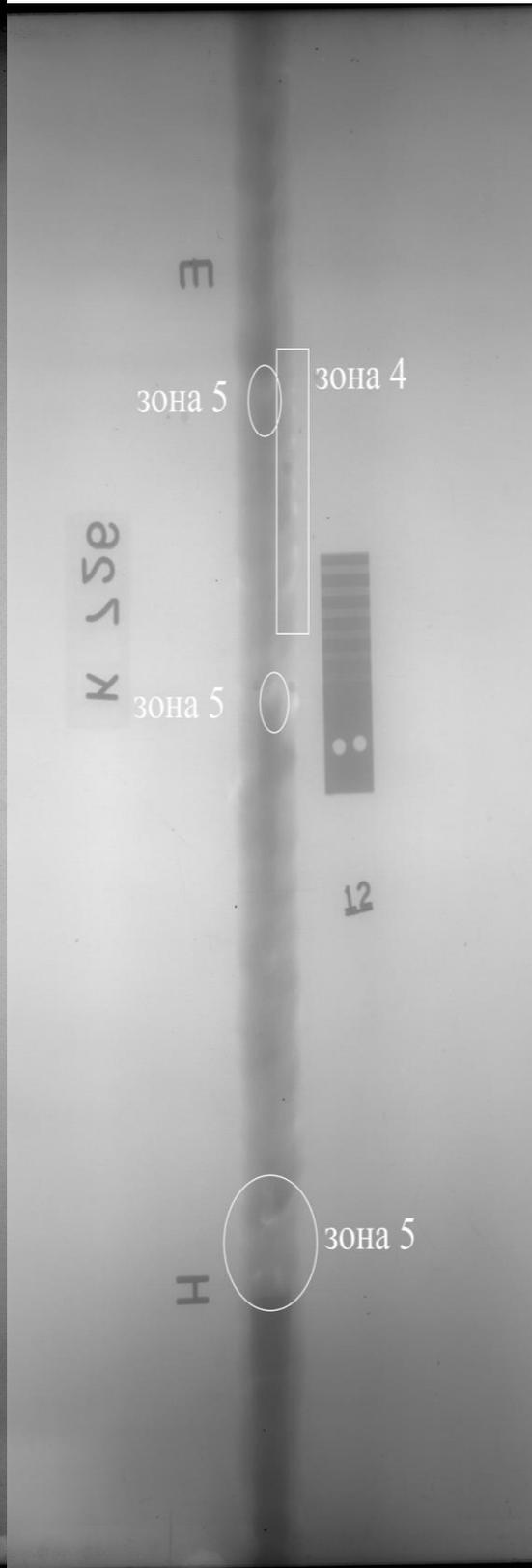


Рисунок 4. Пленка

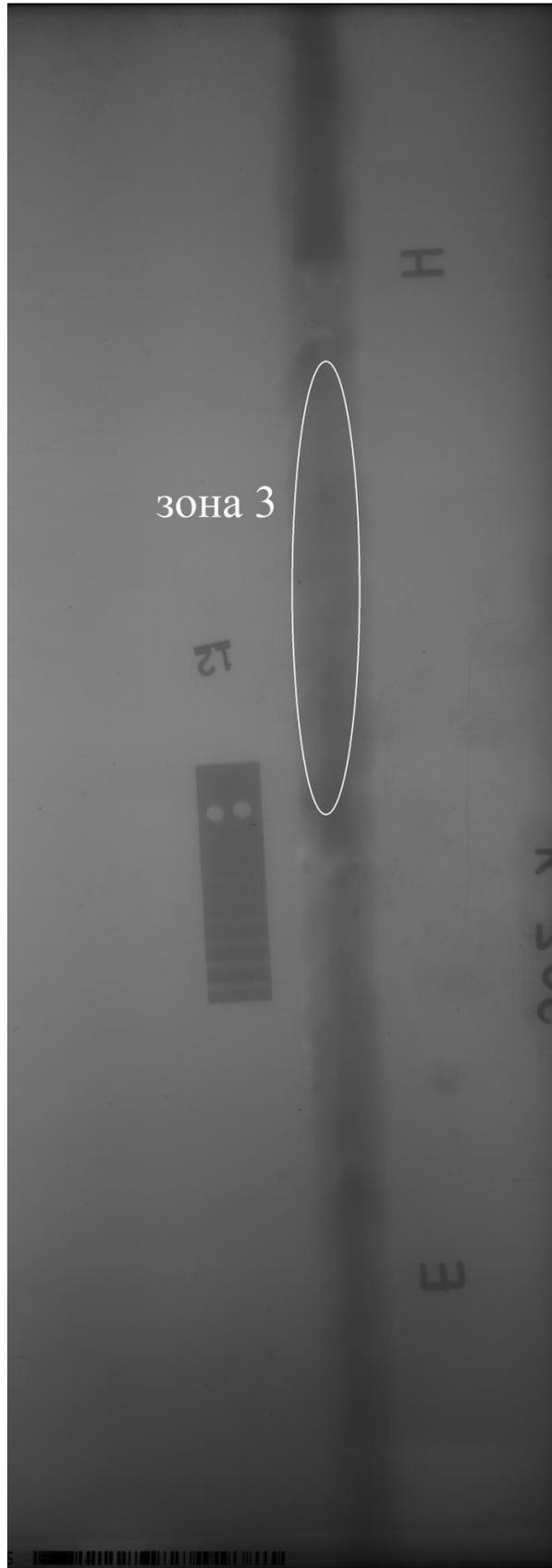


Рисунок 5. Пленка KODAK HR