

## РАДИАЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ СОСУДОВ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ МАЛОГАБАРИТНОГО БЕТАТРОНА

В. А. БЕРДОНОСОВ

(Представлена научным семинаром НИИ ЭИ)

В связи с развитием современной техники и неуклонным повышением требований, предъявляемых к качеству и надежности выпускаемой продукции, возрастает роль дефектоскопии в промышленности.

Наиболее широкое распространение получили методы контроля качества материалов и изделий без их разрушения. Такие методы обеспечивают стопроцентный контроль материалов и изделий, во многих случаях поддаются автоматизации и позволяют существенно повысить качество выпускаемой продукции.

Среди других методов дефектоскопии контроль путем просвечивания представляет наибольший интерес. Исследователей привлекает наглядность и простота этого метода, возможность получения высокой выявляемости деталей и производительности. Достаточно сказать, что контроль качества материалов и изделий путем просвечивания излучением рентгеновских аппаратов, изотопов, ускорителей составляет приблизительно 70+80% в общем объеме всех случаев применения неразрушающего контроля [1, 4, 5].

Необходимость быстрее и надежнее контролировать изделия большой толщины и материалы с большим значением коэффициента ослабления при приемлемой выявляемости дефектов и производительности контроля определила внедрение в радиационную дефектоскопию источников излучения с энергией в несколько мегаэлектронвольт.

К преимуществам ускорителей, в частности, бетатронов, по сравнению с рентгеновскими аппаратами и радиоактивными изотопами следует отнести высокую удельную активность, благоприятную для просвечивания материалов, область энергий излучения и возможность изменения ее в широких пределах с целью установления оптимальной величины.

Кроме того, малые размеры фокусного пятна бетатронов, составляющие доли квадратного миллиметра, позволяют получить рентгенограммы с хорошей разрешающей способностью [2, 3].

С помощью жесткого излучения бетатронов можно бесконтактным способом определить наличие включений в материалах больших толщин, когда эти включения имеют иную плотность или иной эффективный атомный номер. В качестве источников информации при этом могут быть использованы возникающие за счет наличия дефектов изменения спектрального состава и величины потока прямого или отраженного излучения. При теневом методе дефектоскопии продольные по ходу луча размеры дефектов определяются по изменению величины потока излучения, вызванного различием коэффициентов ослабления излучения мате-

риалом дефекта и основного материала. Поперечные размеры определяются по размерам его тени на экране, построенной по законам геометрической оптики.

Ниже приводятся результаты экспериментальных исследований по промышленной проверке методики радиографического контроля рулонированных сосудов высокого давления с толщиной стенки до 250÷280 мм. Радиографирование производилось на базе малогабаритного бетатрона типа ПМБ-6 с максимальной энергией излучения 6 Мэв и мощностью экспозиционной дозы на расстоянии 1 м от мишени бетатрона 0,3+0,4 рентген/мин в условиях завода «Уралхиммаш» [2]. Отработка методики радиографии производилась в НИИ электронной интроскопии.

Объектом контроля являлись рулонированные сосуды высокого давления. Было представлено 3 типа образцов сосудов толщиной 200 мм с х-образной разделкой профиля шва:

а) заполнение профиля шва наплавленным металлом на 25% от высоты профиля шва;

б) заполнение профиля шва наплавленным металлом на 50% от высоты профиля шва;

в) заполнение профиля шва наплавленным металлом на 100% от высоты профиля шва.

Центральная труба была выполнена из стали марки X18H10T, материалом для рулона служила сталь 10Г2С. Таким образом, контролю были подвергнуты полностью и непольностью заваренные швы с толщинами 50, 100 и 200 мм. Кроме того, на заводе «Уралхиммаш» была осуществлена радиография образцов с толщинами шва 80, 150 и 280 мм.

В процессе экспериментов был произведен выбор материала и типа усиливающих экранов, пленок, фокусного расстояния, а также исследованы основные параметры радиационного контроля: чувствительность и производительность.

Поскольку все выпускаемые рентгеновские пленки имеют максимальную чувствительность при энергии квантов излучения 80 Кэв, представляло интерес определить основные характеристики находящихся в распоряжении рентгеновских пленок (чувствительность и контрастность эмульсионного слоя) для энергии излучения 6 Мэв. Как показали исследования, наилучшей из отечественных пленок по чувствительности и контрастности для указанной энергии излучения бетатрона является пленка типа РТ-2 (экранная), близка к ней по свойствам и пленка РТ-1 (РМ-1).

Геометрия эксперимента определялась размерами контролируемых образцов и необходимой производительностью контроля. Нами были проведены исследования по выбору оптимального фокусного расстояния при просвечивании различных толщин стального поглотителя. При выборе фокусного расстояния необходимо помнить, что увеличение фокусного расстояния ведет к возрастанию просвечиваемой площади за одну экспозицию и в то же время к увеличению времени экспозиции, так как интенсивность излучения убывает обратно пропорционально квадрату фокусного расстояния. Выбор фокусного расстояния был произведен, исходя из получения необходимой производительности контроля, которая зависит от общего времени просвечивания шва и длины контролируемого за одну экспозицию участка кольцевого шва. Результаты исследований позволили выбрать фокусное расстояние равным 0,6 м, что удовлетворяет вышеперечисленным требованиям.

Для жесткого рентгеновского излучения изображение в фотоэмульсионной пленке создается за счет действия электронов, образующихся в результате взаимодействия этого излучения со средой, окружающей пленку. Устанавливая рядом с пленкой вещество с большим атомным номером, можно значительно увеличить количество электронов, попадающих

на пленку за единицу времени, т. е. увеличить почернение пленки. Усиливающие действия металлических фольг зависят от материала фольги, ее толщины, длины волны падающего излучения или энергии излучения. При выборе металлических усиливающих экранов ставились две основные задачи:

1) выбор оптимальной толщины усиливающих экранов с точки зрения их максимального усиливающего действия;

2) получение наилучшей выявляемости дефектов.

Во всех экспериментах по выбору оптимальной толщины усиливающих экранов использовались двойные экраны: передний и задний. В качестве материала экранов был выбран свинец.

Нами был проведен ряд экспериментов по определению наиболее эффективной толщины переднего усиливающего экрана. Толщина заднего экрана во всех случаях принималась равной 2,0 мм, поскольку эффект усиления и улучшения качества изображения для экрана мало зависит от его толщины.

Исследование влияния усиливающего действия свинцовых экранов проводилось для стального поглотителя толщиной 45, 75, 105, 145 и 200 мм.

Использовались отечественные пленки типов РТ-1 и РМ-1. Как показали результаты измерений, самое сильное почернение имеет поле, совпадающее с экраном толщиной 0,1 мм.

Однако удовлетворительное качество изображения достигается лишь при толщине 1 мм и более, что можно объяснить фильтрацией экраном рассеянных в поглотителе электронов и  $\gamma$ -квантов, размывающих изображение.

В ходе экспериментов исследовались и флуоресцентные усиливающие экраны. Эти экраны использовались для толщин более 150 мм, ибо при таком слое поглотителя экспозиции при применении только свинцовых экранов становятся очень большими, что в производственных условиях неприемлемо. В качестве активного слоя в таких экранах применялись кристаллические люминофоры типа  $\text{CaWO}_4$ , дающие под воздействием рентгеновских или  $\gamma$ -лучей наибольший выход света.

Исследовались также составные экраны (комбинация свинцовых и флуоресцентных усиливающих экранов). Применение таких экранов значительно увеличивает четкость изображения дефектов, хотя экспозиции увеличиваются при этом по сравнению с флуоресцентными экранами в 1,5–2 раза. Влияние составных экранов на качество радиограмм исследовано на толщинах 150, 200 и 280 мм. Время экспозиции при комбинации экранов 1, 2 ФПФ2 было равно соответственно 18, 26 и 150 мин, что в 3–3,5 раза меньше, чем при применении только свинцовых экранов. Выявляемость дефектов оказалась несколько хуже, чем при применении схем зарядки 1, 2П2. Приведенные выше данные справедливы для флуоресцентных экранов типа УФД.

Исследовалось также усиливающее действие мелкозернистых флуоресцентных экранов типа «Perlux». Эти экраны обуславливают большую разрешающую способность, но время экспозиции при этом получается в 2 раза больше, чем у экранов УФД.

Основными параметрами радиационного контроля является производительность просвечивания и выявляемость дефектов. Было проведено исследование этих основных факторов в зависимости от толщины контролируемых стальных образцов рулонированных сосудов.

Время экспозиции при просвечивании стального поглотителя зависит от толщины контролируемого объекта, мощности экспозиционной дозы и энергии генерируемого излучения, фокусного расстояния, чувствительности рентгеновской пленки и типа усиливающих экранов [4, 5]. Кроме того, время экспозиции существенно зависит от следующих фак-

торов: постоянства времени проявления, которое для указанных сортов пленки составляло 8 мин, постоянства температуры проявителя и т. д. Заэкспонированные за различными толщинами поглотителя пленки фотометрировались затем на микрофотометре МФ-4 и по результатам фотометрирования строились графики экспозиций.

На рис. 1 приведены графики экспозиций, построенные для пленок РТ-1, РМ-1 при толщинах поглотителя 40÷300 мм и фокусном расстоянии 0,6 м. При толщинах 40÷200 мм использовалась схема зарядки 1,2ПП2, 0; при толщинах 150÷280 мм—схема 1,2ФПФ2, 0. Средняя плотность почернения снимков составляла 1,6 ед. оптической плотности.

Для сокращения времени экспозиции при просвечивании больших толщин стали (от 200 мм и выше) можно рекомендовать метод двойных пленок (схемы зарядки 1, 2ПП2, 0 и 1, 2ФПФ2, 0). После экспонирования и обработки пленки накладываются одна на другую по заранее установленным меткам и просматриваются. Недостатком метода является двойной расход пленки, но зато это компенсируется следующими достоинствами:

а) время экспозиции сокращается примерно в 2 раза по сравнению с экспонированием одной пленки;

б) наблюдается улучшение контрастности изображения, что способствует хорошей выявляемости протяженных дефектов.

Одним из основных параметров, определяющих область применения неразрушающего контроля материалов и изделий, наряду с производительностью, является выявляемость дефектов.

Выявляемость дефектов исследовалась при помощи эталонных дефектометров с канавками (ГОСТ 7512—55) ввиду отсутствия дефектометров, регламентируемых ГОСТ 7512—69. В опытах дефектометр располагался в самом неблагоприятном, с точки зрения выявляемости, положении со стороны изделия, обращенной к источнику излучения. Экспонированные пленки высушивались и исследовались на микрофотометре МФ-4. Измерялись плотности почернения канавок и полей (фона) между канавками, причем для удобства отсчета плотности полей (фона) приводились к одной величине. По результатам замеров строились графики абсолютной и относительной выявляемости (рис. 2).

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Производительность контроля сварных швов толщиной до 250÷280 мм с помощью радиографического метода при использовании в качестве источника излучения бетатрона ПМБ-6 приемлема для производственных условий.

2. Минимальное время экспозиции на толщине 45 мм при схеме зарядки 1, 2П2, 0 составляет 3,5 мин; время экспозиции при схеме зарядки 1, 2ФПФ2, 0 на толщине 280 мм—150 мин; при схеме зарядки 1, 2ФППФ2, 0—80 мин.

3. Полученная на радиограммах выявляемость во всем диапазоне исследуемых толщин не хуже 1,2%.

4. Наиболее благоприятным является контроль швов в диапазоне толщин 80÷160 мм, так как в этом интервале относительная выявляемость оказывается наилучшей.

5. Полученная выявляемость дефектов на указанных толщинах значительно выше, чем при применении рентгеновских и изотопных источников излучения.

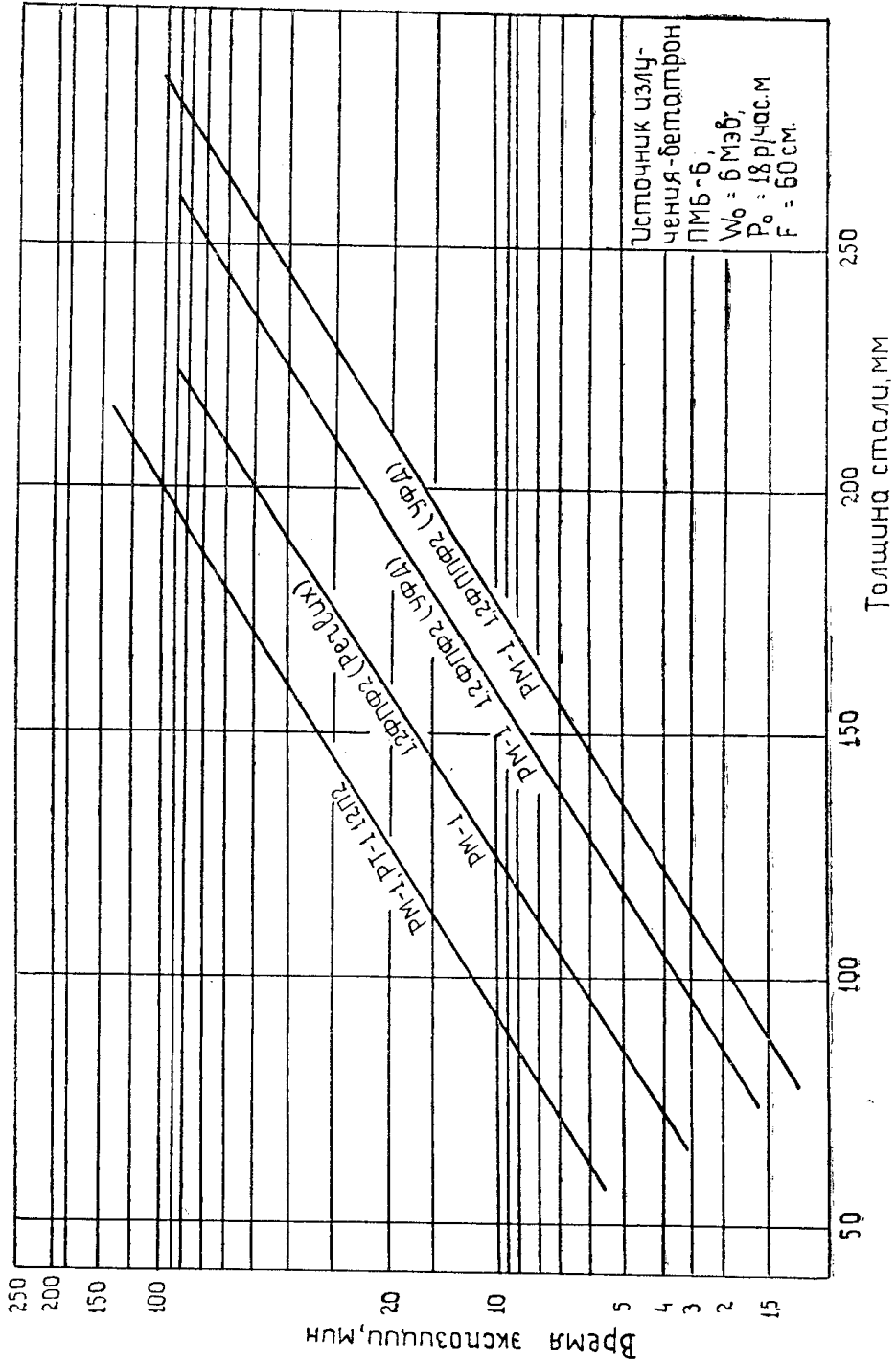


рис. 1. Графики экспозиций при просвечивании стали тормозным излучением бетатрона ПМБ-6

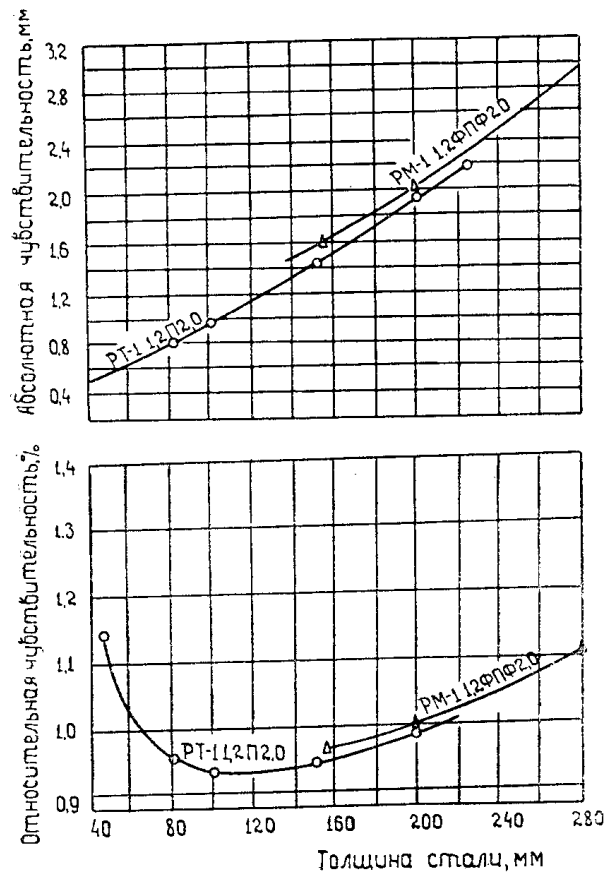


Рис. 2. Зависимость чувствительности просвечивания от толщины стальных изделий

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Л. М. Ананьев, А. А. Воробьев, В. И. Горбунов. Индукционный ускоритель электронов — бетатрон. М., Атомиздат, 1961.
2. Л. М. Ананьев, В. А. Чахлов, М. М. Штейн, Ю. П. Ярушкин. Малогабаритные бетатроны и их применение в промышленности. «Дефектоскопия», 1968, № 5.
3. Бетатронная гамма-дефектоскопия стали. М., АН СССР, 1961.
4. А. А. Воробьев, В. И. Горбунов, В. А. Воробьев, Г. В. Титов. Бетатронная дефектоскопия материалов и изделий. М., Атомиздат, 1965.
5. Промышленная радиография. Под ред. У. Дж. Уайтшайра. М., Атомиздат, 1960.