

УДК 620.179.152

Ю. А. МОСКАЛЕВ, А. В. ДМИТРИЕВА

ТЕРМОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ В РАДИАЦИОННОМ КОНТРОЛЕ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ

Проведены исследования радиационного метода контроля с использованием термолюминесцентных преобразователей на основе термолюминофоров $\text{CdSO}_4\cdot\text{Mn}$, Sm и $\text{ZnS}\cdot\text{Cu}$. Установлены экспериментальные зависимости, определяющие эксплуатационные характеристики метода контроля и режимы экспонирования преобразователей. Определены возможности и перспективы развития радиоскопических систем с термолюминесцентными преобразователями.

Метод неразрушающего контроля с применением термолюминесцентных преобразователей (ТЛП) изображения во многом аналогичен пленочной радиографии. Основными преимуществами метода являются многократность применения экранов, отсутствие необратимых потерь серебра, экспрессность получения результатов контроля. Процесс радиографического контроля с применением термолюминесцентных экранов осуществляется следующим образом. Экран устанавливается совместно с объектом контроля в поле облучения рентгеновского аппарата и экспонируется в течение нескольких минут. При этом в люминесцентном слое образуется скрытое изображение подобное рентгенограмме, которое может сохраняться без существенных изменений в течение нескольких недель. Изображение проявляется нагревом экрана до температуры $150\ldots 180^\circ\text{C}$ в затемненном помещении на нагревателе с равномерным температурным полем в виде светящейся рентгенограммы объекта контроля с яркостью свечения $0,1\ldots 15\text{ св/м}^2$. Время свечения определяется температурой нагревателя и временем облучения экрана и составляет несколько минут. После окончания свечения экран охлаждается до комнатной температуры, после чего он может быть повторно использован. Разработанные для рентгеновской дефектоскопии термолюминесцентные преобразователи представляют собой экраны из алюминия размером 200 мм в диаметре или прямоугольные размером $(300 \times 400)\text{ мм}^2$ с нанесенным люминесцентным слоем толщиной $0,7\ldots 1,0\text{ мм}$. В качестве вещества, запоминающего рентгеновское изображение, используется термолюминофор, изготовленный на основе сульфата кадмия, активированного марганцем и самарием $\text{CdSO}_4\cdot\text{Mn}$, Sm . Данный термолюминофор обладает наибольшей чувствительностью к рентгеновскому излучению из известных в настоящее время термолюминофоров [1]. Энергетический выход термолюминесценции данного термолюминофора составляет $6,2\%$, а относительная

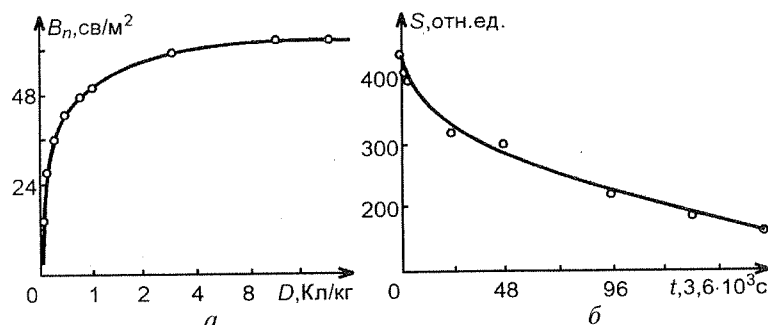


Рис. 1. Зависимость яркости свечения экрана ТЛП от дозы рентгеновского излучения (а) и светосуммы от времени хранения экспонированного экрана ТЛП (б)

светосумма, выраженная в единицах $\text{св/м}^2/\text{рентген}$, достигает $0,12$. Из графика зависимости свечения в пике кривой термовысвечивания, приведенного на рис. 1, а, видно, что линейность между яркостью свечения и дозой рентгеновского излучения соблюдается в диапазоне до 1000 Р , при этом яркость свечения ТЛП может достигать 36 св/м^2 . Спектральная характеристика ТЛП рассмотрена в работе [2]. Согласно проведенным исследованиям, максимум спектральной характеристики ТЛП из термолюминофора $\text{CdSO}_4\cdot\text{Mn}$, Sm с толщиной люминесцентного слоя

$0,5\ldots 0,7\text{ мм}$ расположен в области энергий рентгеновского излучения $35\ldots 60\text{ кэВ}$, а граница спектральной характеристики, определяющая диапазон эффективного использования ТЛП, соответствует 200 кэВ .

Термолюминесцентные преобразователи, поглощая рентгеновское излучение, прошедшее через объект контроля, осуществляют преобразование радиационного контраста в контраст оптический. При этом [3] за счет преимущественного поглощения низкоэнергетической части спектра происходит усиление контраста изображения на экране ТЛП.

Как показали проведенные исследования, усиление, определяемое как отношение контраста оптического к контрасту радиационному, составляет $1,3\ldots 2,0$ и достигает наибольших значений для объектов контроля малой плотности, например для алюминиевых изделий. Указанное свойство ТЛП в сочетании с большой динамической шириной, определяемой линейностью дозной характеристики, позволяет эффективно использовать данные преобразователи для контроля изделий с большими перепадами толщин.

Аккумуляционные свойства термолюминофора $\text{CdSO}_4 \cdot \text{Mn}$, Sm характеризуются графиком, приведенным на рис.1,б, где представлена зависимость светосуммы экспонированного ТЛП от времени, прошедшего после окончания облучения. Как видно из графика, через 24 ч после прекращения облучения светосумма, сохранившаяся в люминесцентном слое преобразователя, составляет 70%, а через 7 дней – 35% от первоначальной. Это позволяет разнести по времени моменты экспонирования и проявления изображения на ТЛП.

Разрешающая способность термолюминесцентных преобразователей определялась визуальным наблюдением изображения после просвечивания тест-объекта, составленного из набора металлических сеток с различными размерами ячеек. В результате установлено, что при напряжении на рентгеновской трубке 50 кВ на экране ТЛП различается сетка с размером ячейки 0,2 мм, что соответствует разрешающей способности 5 лин/мм. Чувствительность контроля с применением ТЛП оценивалась с помощью канавчатых эталонов ГОСТ 7512-82 при визуальном анализе изображения объекта контроля, наблюдаемого на экране ТЛП во время его нагрева. На рис.2,а приведен график зависимости чувствительности контроля от толщины объектов контроля из алюминия. Максимальная чувствительность наблюдается в диапазоне толщин 10...40 мм и составляет 1,5...2,0%. Подобный характер зависимости обусловлен контрастной чувствительностью человеческого глаза. При этом ход кривых на графике в области малых толщин определяется слабым контрастом изображения при указанных режимах просвечивания, а в области больших толщин – снижением яркости свечения ТЛП.

На рис.2,б приведена зависимость чувствительности ТЛП от времени экспозиции при контроле стальных и алюминиевых объектов различной толщины. Из графика следует, что после 120...180 с экспозиции зависимость чувствительности от времени облучения стабилизируется. Режимы облучения при этом следующие: напряжение на трубке – 150...200 кВ, ток трубки – 9 мА, фокусное расстояние – 500 мм.

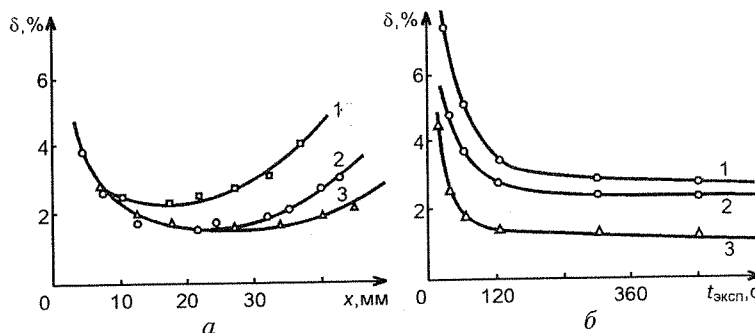


Рис.2. Зависимость чувствительности контроля от толщины алюминиевых объектов (а) при напряжении на трубке и времени экспозиции соответственно 100 кВ и 60 с (1), 80 кВ и 180 с (2), 100 кВ и 180 с (3), а также от времени экспозиции (б) для стали толщиной 15 (1), 20 (2) и алюминия толщиной 40 мм (3)

**Режимы просвечивания при контроле изделий из различных сплавов
методом термолюминесцентной радиографии при визуальном анализе изображения**

Толщина материала, мм	Напряжение на рентгеновской трубке, кВ	Время экспозиции, с
На основе железа		
1...5	150	120
5...10	170	120
10...20	200	180
На основе алюминия		
5...10	80	60
10...20	100	90
20...40	170	120
40...60	190	120
60...80	250	120
На основе магния		
10...30	90	120

Для контроля качества изделий и сварных соединений могут быть рекомендованы режимы просвечивания объектов с помощью рентгеновского аппарата РУП-150/300 (или РАП-150/300), приведенные в таблице. Ток рентгеновской трубки при этом должен быть в пределах 8...10 мА, фокусное расстояние – 250...1000 мм.

Изображение объекта на экране ТЛП в отличие от рентгеновского снимка позитивное, поэтому

все трещины, пустоты, поры и газовые пузыри видны в виде светлых пятен, а уплотнения и включения тяжелых металлов будут более темными по сравнению с общим фоном. Долговечность экрана в процессе эксплуатации определяется в основном механическими повреждениями и составляет по усредненным данным до 1000 циклов контроля.

Весьма перспективным является применение ТЛП в системах интроскопии при использовании излучения с энергией 1–10 МэВ для дефектоскопии изделий большой толщины. С этой целью в НИИИН при ТПУ разработан интроскоп на основе ТЛП и телевизионной системы. В качестве преобразователей использовались экраны из термолуминофора $\text{CdSO}_4 \cdot \text{Mn}$, Sn и $\text{ZnS} \cdot \text{Cu}$ на подложках из нержавеющей стали. В данном случае экран одновременно являлся и нагревателем, поскольку нагрев люминесцентного слоя до 200–250 °С осуществлялся пропусканием тока через металлическую подложку. Величина тока при этом составляла 800–1000 А при напряжении 1,5–2 В, а время нагрева до пика кривой термовысвечивания 6–10 с. Изображение, возникающее на ТЛП регистрировалось телевизионной системой с высокочувствительной телевизионной трубкой ЛИ-702. В качестве источника излучения использовался малогабаритный бетатрон МИБ-6 с максимальной энергией тормозного излучения 6 МэВ. Для повышения чувствительности ТЛП к излучению применялись металлические и металлофлуоресцентные усиливающие экраны.

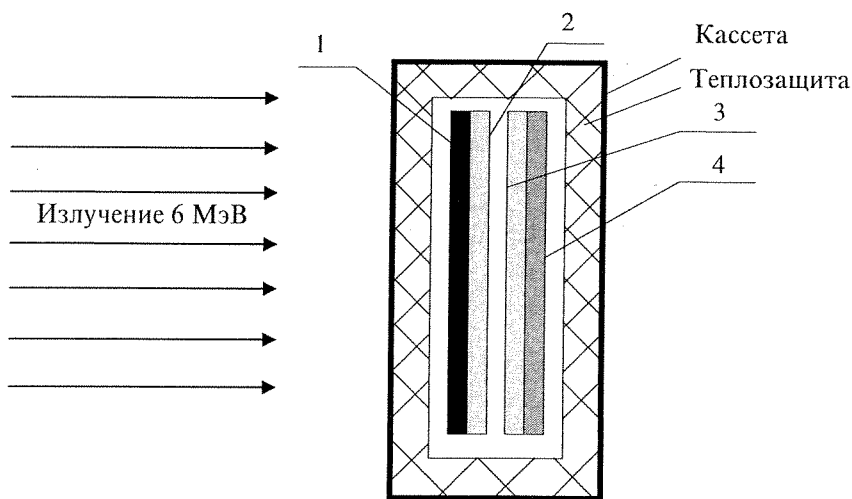


Рис.3. Схема зарядки кассеты с ТЛП: 1 – свинец 1 мм; 2 – CaWO_4 0,2 мм; 3 – $\text{ZnS} \cdot \text{Cu}$ 1 мм; 4 – подложка сталь X18НТ

CaWO_4 толщиной 0,2 мм. Схема зарядки кассеты с ТЛП приведена на рис.3.

В результате экспериментов было установлено, что динамический диапазон ТЛП, определяемый как отношение минимальной дозы облучения, необходимой для получения рентгеновского изображения (20 мР) к максимальной (500–1000 Р), составляет $(2 \div 5) \cdot 10^4$. Учитывая, что последние разработки CCD-камер имеют динамический диапазон $9 \cdot 10^3$ и световую чувствительность до 10^{-5} лк, можно уверенно прогнозировать, что последние разработки интроскопов на основе ТЛП и CCD-камер позволят получить дефектоскопическую чувствительность до 0,1% при толщине стали до 200 мм и дозе облучения экрана 10–20 мР.

На основе проведенных исследований было установлено, что ТЛП могут эффективно использоваться для дефектоскопии стальных изделий толщиной до 150 мм. Получаемая при этом дефектоскопическая чувствительность составляет 2–4%. Наибольшая эффективность регистрации излучения была получена на ТЛП из $\text{ZnS} \cdot \text{Cu}$ с металлофлуоресцентным усиливающим экраном при экспонировании при температуре $-10 \div -20$ °С. Разработанный для данного ТЛП усиливающий экран представлял собой слоеную композицию из свинцового экрана толщиной 1 мм с нанесенным на нее люминесцентным слоем

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.с. 711092 (СССР), МКИ С09 К 11/10. Способ получения термолуминофора на основе сульфата кадмия/ Ю. А. Москалев, А. В. Дмитриева. Оpubл. 25.01.80. Бюл. № 3.
2. Горбунов В. И., Москалев Ю. А., Шпагин А. П. Исследование функции контраста термолуминесцентных преобразователей изображения // Дефектоскопия. – 1978. – № 2 – С.11–15.
3. Москалев Ю. А. Преобразование радиационных изображений термолуминесцентными экранами при дефектоскопии изделий из алюминиевых сплавов // Авиационные материалы: Дефектоскопия материалов. – М., 1979. – С.139–143.