

Введение При радиографическом методе контроля промышленных изделий ставится задача выявления минимальных дефектов в исследуемом объекте. Радиационное изображение, сформированное после прохождения рентгеновского или гамма излучения через исследуемый объект, регистрируется радиографическим материалом. На радиографический материал падает не только ионизирующее излучение, сформировавшее за счёт поглощения радиационное изображение, но и рассеянное излучение. Частично это рассеянное излучение поглощается усиливающими экранами, а частично поглощается эмульсионным слоем. Это рассеянное излучение накладывается как фон на основное изображение, формируемое в эмульсионном слое и несущее информацию об исследуемом объекте [1,2]. Радиографическая плёнка в процессе использования проходит несколько технологических операций, включающих зарядку, разрядку и химико-фотографическую обработку. Эти операции осуществляются при неактивном освещении, создаваемым специальными светофильтрами, экранирующими источники света и имеющими полосу пропускания в жёлто-зелёной или красной области видимого спектра. Однако достаточно часто возникают несанкционированные засветки из-за плохого соблюдения светотехнического режима или неудовлетворительного состояния кассет. Кроме того микрокристаллы галогенида серебра, формирующие радиографическое изображение имеют чувствительность не только в собственной зоне поглощения (до 500 нм), но и в более длинноволновой части спектра, в области пропускания светофильтров неактивного освещения [3,4]. Эта чувствительность на несколько порядков ниже чувствительности галогенида серебра в собственной зоне поглощения, но она может вызвать почернение при длительном воздействии на радиографическую плёнку неактивного освещения. Два вида излучения (несанкционированные засветки и засветки от длительного пребывания под светофильтрами неактивного освещения) дополнительно к рассеянному ионизирующему излучению накладываются как фон (шум) на изображение, которое несёт информацию об исследуемом объекте. Эти факторы оказывают огромное влияние на такие показатели информативности снимка как разрешающая способность и пороговый контраст и, как следствие, выявляемость мелких деталей, а мелкие детали, как правило, находятся на пределе выявляемости. Одним из путей снижения влияния фоновых засветок активным и неактивным освещением является изыскание и введение в состав эмульсионного слоя специальных веществ - десенсибилизаторов, снижающих чувствительность микрокристаллов галогенида серебра к видимой области спектра, но не влияющих на их чувствительность к ионизирующему излучению. Цель исследований Целью настоящей работы являлось изыскание путей защиты радиографической плёнки от воздействия активного и неактивного освещения в условиях практической радиографии в процессе зарядки и разрядки кассет, а также при

проведении химико-фотографической обработки. Методика эксперимента

Проведены исследования по возможности использования в составе композиции для эмульсионного слоя радиографической плёнки для технических целей десенсибилизирующих веществ, снижающих чувствительность радиографического материала в области собственного поглощения галогенида серебра и в длинноволновой области спектра, но не оказывающих влияния на радиационную чувствительность к рентгеновскому и гамма излучению В качестве десенсибилизаторов были выбраны следующие вещества:

- пинакриптол жёлтый (6-этокси-1-метил-2-(3-нитростирол) хинолин метил сульфат, CAS № 25910-85-4);
- нитрон (1,4-дифенил-(3,5-энданил) - дигидро-1,2,4-триазол, CAS № 2218-94-2);
- МБТИ (метилбензтиазол йодид, CAS № 95-16-9).

Выбор этих соединений обусловлен их способностью хорошо адсорбироваться на поверхности микрокристаллов галогенида серебра и оказывать десенсибилизирующее действие [3]. Для проведения исследований синтезировали эмульсию, предназначенную для изготовления радиографической плёнки, содержащую желатин, плоские микрокристаллы галогенида серебра ($d_{ср} = 1,1$ мкм), стабилизатор Ф-1 (5-метил-7-окси-1,3,4-триазаиндолин), декстран (М.М.=75000), сополимер бутилакрилата, стирола и метакриловой кислоты, сорбитол, глицерин, кремнезоль Людокс АМ-30 ($d_{ср} = 4-6$ нм), моноватриевую соль 2,4-дихлор-6-окситриазина-1,3,5, и смачиватель (натриевую соль ди- α -этилгексилового эфира сульфоянтарной кислоты). Исследуемые соединения вводили в композицию перед смачивателем в количествах от 1 до 12 мг/моль галогенида серебра, затем композицию перемешивали, выдерживали в термостате при температуре 40 °С в течение 40 мин. и наносили на подслоированную полиэтилен-терефталатную подложку толщиной 175 мкм, студенили ($T = 8$ °С) и сушили конвективным способом при температуре 40 °С. Поверх эмульсионного слоя наносили желатиновый защитный слой, содержащий полиакриламид (М.М.=40000), суспензию полиметилметакрилата ($d_{ср} = 4-8$ мкм) и ацетат хрома. Толщина эмульсионного слоя составляла (7 ± 1) мкм. Толщина защитного слоя $(0,5-1,0)$ мкм соответственно. Толщину слоёв и полимерной подложки измеряли на вертикальном оптиметре ИКВ-3 по ГОСТ 5405 -2007. Готовые образцы помещали в эксикатор с насыщенным раствором азотнокислого аммония для поддержания относительной влажности $\phi = 63$ % при температуре (21 ± 2) °С. Рентгеносенситометрические показатели определяли в соответствии с методикой, изложенной в ОСТ 6-17-54-80. Средний градиент радиографической плёнки определяли по методике, изложенной в EN 584-1:2000. Чувствительность к неактиничному освещению определяли на сенситометре ФСР-41 при цветовой температуре вольфрамовой лампы накаливания 2850 К экранированной светофильтром ЖС18, зона пропускания которого более 500 нм, по методике, принятой для определения эффективных светочувствительностей

аэрокосмических материалов. Светочувствительность в дневном свете определяли на сенситометре ФСР-41 с лампой, имеющей цветовую температуру 2850 К и экранированной светофильтром дневного света ($T=6500$ К). Оптические плотности измеряли на денситометре «Macbeth TD-504» по ГОСТ 8.588-2006.

Экспериментальная часть На рисунке 1 показано изменение радиационной чувствительности радиографического материала при введении в состав эмульсионного слоя исследуемых соединений. Рис. 1 - Изменение чувствительности радиографической плёнки к рентгеновскому излучению при введении в состав эмульсионного слоя исследуемых веществ - десенсибилизаторов

Из рисунка 1 видно, что введение пинакриптола жёлтого в эмульсионный слой в небольших количествах (до 4 мг/моль галогенида серебра) повышает радиационную чувствительность. При дальнейшем повышении концентрации этого соединения в эмульсионном слое чувствительность несколько понижается и затем стабилизируется. Введение нитрона в малых количествах не оказывает влияние на радиационную чувствительность. При дальнейшем повышении концентрации нитрона в эмульсионном слое чувствительность радиографического материала постепенно снижается. Введение небольших количеств метилбензтиазол йодида (до 2 мг/моль галогенида серебра) не влияет на радиационную чувствительность материала, но дальнейшее повышение его концентрации в эмульсионном слое приводит к резкому падению чувствительности. Следует отметить, что максимум чувствительности к рентгеновскому излучению при введении пинакриптола жёлтого, монотонное снижение чувствительности при введении нитрона и резкое падение чувствительности при введении в эмульсионный слой метилбензтиазол йодида наблюдаются в близких концентрациях исследуемых соединений. Это, вероятно, связано с их адсорбцией и десенсибилизирующим действием на наиболее чувствительных микрокристаллах галогенида серебра.

На рисунке 2 показано изменение чувствительности радиографического материала к свету в видимой области спектра при введении в состав эмульсионного слоя пинакриптола жёлтого, нитрона и метилбензтиазол йодида. Анализ результатов эксперимента позволяет сделать вывод, что все исследуемые соединения снижают светочувствительность радиографического материала к видимой области спектра. В наибольшей степени действие на светочувствительность радиографического материала в видимой области спектра оказывает пинакриптол жёлтый. Нитрон и метилбензтиазол йодид в меньшей степени снижают чувствительность радиографического материала к видимой области спектра. Рис. 2 - Изменение светочувствительности радиографической плёнки к свету в видимой области спектра при введении в состав эмульсионного слоя десенсибилизаторов

На рисунке 3 показано изменение светочувствительности радиографического материала к свету с длиной волны более 500 нм, то есть в зоне, не совпадающей с зоной

собственного поглощения галогенида серебра. В этой области спектра свет создаётся светофильтрами неактивного освещения (жёлто-зелёная и красная зона спектра). Микрочастицы галогенида серебра в этой области имеют примесную чувствительность, которая на несколько порядков ниже чувствительности в зоне собственного поглощения галогенида серебра, но при длительных экспозициях свет в этой зоне спектра может создавать фон и накладываться на изображение, формируемое ионизирующим излучением и, за счёт этого, снижать градиент, что приводит к уменьшению информативности снимка, понижению качества и достоверности радиографического контроля. Рис. 3 - Изменение светочувствительности радиографической плёнки к свету с длиной волны более 500 нм при введении десенсибилизаторов

Из рисунка 3 видно, что все исследуемые соединения снижают чувствительность радиографического материала в зоне спектра более 500 нм. В наибольшей степени понижение чувствительности наблюдается при введении пинакриптола жёлтого. В меньшей степени понижают чувствительность к этой зоне спектра нитрон и метилбензтиазол йодид. Одним из основных показателей, определяющих качество радиографического изображения, является средний градиент радиографического материала. При экспонировании фотоматериалов светом наблюдается линейная зависимость между оптической плотностью и логарифмом экспозиции. Поэтому градиент на всём полезном участке характеристической кривой имеет одинаковую величину, и при оценке изображения (в условиях одинаковой яркости) качество и информативность снимка одинаковы на всём прямолинейном участке характеристической кривой. В условиях экспонирования ионизирующим излучением, вследствие особенностей поглощения этого излучения исследуемыми объектами и радиографической плёнкой при формировании скрытого радиографического изображения, градиент не остаётся постоянным при увеличении оптической плотности, а увеличивается с её возрастанием. Поэтому в практической радиографии оптическая плотность исследуемого объекта должна быть не менее 1,5. Чем выше оптическая плотность - тем больше градиент и, при одинаковом значении шума, тем выше оптический контраст изображения, а, следовательно, и выявляемость мелких малоконтрастных деталей на снимке. На рисунке 4 показано изменение среднего градиента радиографической плёнки при введении десенсибилизаторов. Рис. 4 - Изменение среднего градиента радиографической плёнки при введении десенсибилизаторов

Из рисунка 4 видно, что при введении в эмульсионный слой радиографической плёнки небольших количеств пинакриптола жёлтого средний градиент незначительно возрастает. В эмульсионном слое радиографической плёнки всегда имеется разброс микрочастиц галогенида серебра по чувствительности. Величину градиента можно считать критерием однородности микрочастиц по чувствительности - чем более однородны микрочастицы по чувствительности -

тем выше средний градиент. Вероятно, небольшие количества пинакриптола жёлтого адсорбируются на поверхности микрокристаллов галогенида серебра, десенсибилизируют наиболее чувствительные из них и таким образом выравнивают микрокристаллы по чувствительности к рентгеновскому излучению [5]. При дальнейшем увеличении этого соединения в эмульсионном слое средний градиент несколько понижается. При введении в эмульсионный слой небольших количеств нитрона средний градиент не изменяется, а при дальнейшем увеличении постепенно понижается. Введение метилбензтиазол йодида в небольших количествах не влияет на средний градиент радиографической плёнки. Увеличение его количества в эмульсионном слое приводит к резкому падению среднего градиента. Анализ проведённых исследований, результаты которых показаны на рисунках 1 - 4, показал, что для сведения к минимуму действия на радиографический материал дневного света и света с длиной волны более 500 нм (создаваемого светофильтрами неактиничного освещения), можно использовать исследуемые соединения. Наиболее заметно их действие проявляется при введении в количестве 4 мг/моль галогенида серебра. Для сравнения эффективности действия исследуемых соединений и практической оценки возможности их использования изготавливали лабораторные образцы радиографической плёнки с использованием пинакриптола, нитрона и метилбензтиазол йодида. Критерием эффективности действия исследуемых соединений на основные свойства радиографической плёнки являлось отношение основных эксплуатационных показателей, получаемых с исследуемым соединением, к такому же показателю радиографического материала без исследуемого соединения. На рисунке 5 приведены диаграммы этих отношений. Столбец 1 соответствует отношению чувствительностей к рентгеновскому излучению. Столбец 2 - отношению среднего градиента. Столбец 3 и 4 соответствуют отношению чувствительности радиографического материала к дневному свету и неактиничному освещению, создаваемому светофильтрами соответственно. Рис. 5 - Соотношение основных эксплуатационных показателей образцов радиографической плёнки. Сравнение результатов экспериментов, полученных при введении исследуемых соединений, показывает, что при введении в эмульсионный слой радиографической плёнки пинакриптола жёлтого наблюдается незначительное повышение чувствительности к рентгеновскому излучению и увеличение среднего градиента. При этом одновременно значительно снижается чувствительность к дневному свету и к свету фонарей неактиничного освещения. Введение нитрона не влияет на чувствительность к рентгеновскому излучению, значительно снижает чувствительность к неактиничному освещению и несколько понижает чувствительность к дневному свету. Введение метилбензтиазол йодида также приводит к понижению чувствительности радиографического материала к неактиничному освещению (более 500 нм) и к

дневному свету, но это соединение вызывает падение чувствительности радиографического материала и его среднего градиента при экспонировании радиационным излучением. Выводы Введение в состав эмульсионных слоёв радиографической плёнки для технических целей десенсибилизирующих веществ позволяет снизить чувствительность к неактивному освещению, создаваемому светофильтрами, и к дневному свету. Введение пинакриптола жёлтого и нитрона в эмульсионный слой в оптимальных концентрациях позволяет свести к минимуму появление фона от воздействия неактивного освещения и снизить вероятность несанкционированных засветок дневным светом без снижения чувствительности и среднего градиента к радиационному излучению. Это повысит надёжность, достоверность и качество радиографического контроля, особенно в тех условиях, когда трудно или невозможно соблюдать светотехнический режим.