

ПОВЫШЕНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ РЕГИСТРИРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ К ЖЕСТКОМУ ИЗЛУЧЕНИЮ И СНИЖЕНИЕ ВРЕМЕНИ ИХ ЭКСПОЗИЦИИ В РЕНТГЕНОДЕФЕКТОСКОПИЧЕСКОМ КОНТРОЛЕ

О. В. МИХАЙЛОВ, П. В. ТЕРЕХОВ, А. В. КОНДАКОВ, Д. Ш. МУРАТОВ, А. С. ХАБИБУЛЛИН

Предложен и апробирован процесс усиления серебряных изображений на галогенсеребряных радиографических пленках для промышленного радиографического контроля, основанный на повышении степени дисперсности слагающего изображение элементного серебра. Показано, что при использовании данного процесса оптические плотности изображения в широком (0,5...2,0 ед) диапазоне возрастают в 3-5 раз, следствием чего является повышение почти на порядок фотографической чувствительности $S_{0,85}$ и $S_{2,00}$ при сохранении или незначительном увеличении градиента g , плотности вуали D_0 и разрешающей способности фотоматериала.

An approved process is proposed for enhancement of silver images on halogen-silver radiographic films for industrial radiographic control, based on increasing the degree of dispersity of elemental silver, making up the image. It is shown, that when this process is used, optical densities of the image in a broad (0.5 - 2.0 un.) range rise 3 to 5 times, which results in increase of photographic sensitivity of $S_{0,85}$ and $S_{2,00}$ by almost an order, with preservation or slight increase of g gradient, D_0 fog density and photomaterial resolution.

Как известно, одной из весьма серьезных проблем радиографического контроля является относительно низкая чувствительность используемого для этой цели регистрирующего материала — галогенсеребряных рентгеновских пленок — к рентгеновскому и γ -излучению, вследствие чего для достижения оптимальных значений оптических плотностей изображения объекта после проявления и фиксирования экспонированной фотопленки требуются весьма продолжительное время ее экспозиции (иногда до 1 ч и даже более). Естественно, указанное обстоятельство существенно снижает оперативность данного вида контроля. Использование относительно высокочувствительных ($S_{0,85} = 30...40 \text{ p}^{-1}$) пленок позволяет сократить время «просвечивания», однако такие пленки содержат 10 и более граммов серебра на 1 м^2 поверхности фотоматериала, что при нынешнем дефиците этого драгоценного металла представляется весьма значительным. Кроме того, пленки подобной чувствительности имеют, как правило, низкую разрешающую способность, что существенно снижает качество изображения и затрудняет выявление дефектов на объектах. Перспективным приемом для решения указанной выше проблемы может быть повышение оптических плотностей (так называемое усиление) фотографического изображения посредством его дополнительной обработки с использованием специфических химических процессов, которые можно разделить на три группы [1, 2]:

процессы, в результате которых носителем усиленного изображения оказывается только элементное серебро;

процессы, в результате которых носителем усиленного изображения оказывается элементное се-

ребро плюс еще как минимум одно иное химическое соединение;

процессы, в результате которых носителем усиленного изображения оказывается только как минимум одно иное химическое соединение.

В первом из перечисленных вариантов, когда усиленное фотографическое изображение (равно как и исходное) содержит только элементное серебро, его качество не должно сколько-нибудь существенно ухудшиться по сравнению с качеством первоначального изображения. Проблема, однако, состоит в том, как добиться достаточно значительного прироста оптических плотностей изображения по сравнению с таковыми для первоначального. Теоретически можно ожидать, что это произойдет, если в результате дополнительной обработки возрастет степень дисперсности элементного серебра (подобный прием был описан в работе [3]).

В данной статье авторы поставили целью изучение возможностей одного из вариантов усиления с так называемым переосаждением серебра, в рамках которого на первой стадии имеет место окисление элементного серебра $\text{Ag}(0) \rightarrow \text{Ag}(I)$, а на второй — восстановление $\text{Ag}(I) \rightarrow \text{Ag}(0)$, для улучшения фотографических характеристик современных рентгеновских пленок.

В эксперименте использовали рентгеновские пленки типов РТ-1, РТ-К, РТ-5Д, РТ-7Т, РТ-12, РТ-14 и НН-15, выпускаемые ОАО «Тасма-Холдинг» (г. Казань, Россия), а также пленки РТ-1В и РТ-4М, выпускаемые ОАО «Свема» (г. Шостка, Украина). Образцы этих пленок в соответствии со стандартом [3] экспонировали рентгеновским излучением с дозой облучения на 15-м поле сенситометрического клина 0,8 или 1,6 рентген (в

зависимости от типа испытуемой рентгеновской пленки), проявляли в стандартном проявителе D-19 в течение 6 мин при 20 °С, промывали в проточной воде 2 мин, фиксировали в 25%-ном водном растворе тиосульфата натрия в течение 10 мин при 20... 25 °С и промывали в проточной воде 15 мин, после чего высушивали при комнатной температуре. Экспонирование указанных пленок проводили в полной темноте, проявление, промывку и фиксирование — при неактивном для данных фотоматериалов желто-зеленом освещении, завершающую промывку и сушку — при естественном освещении. Полученные образцы пленок с серебряным изображением далее последовательно подвергали:

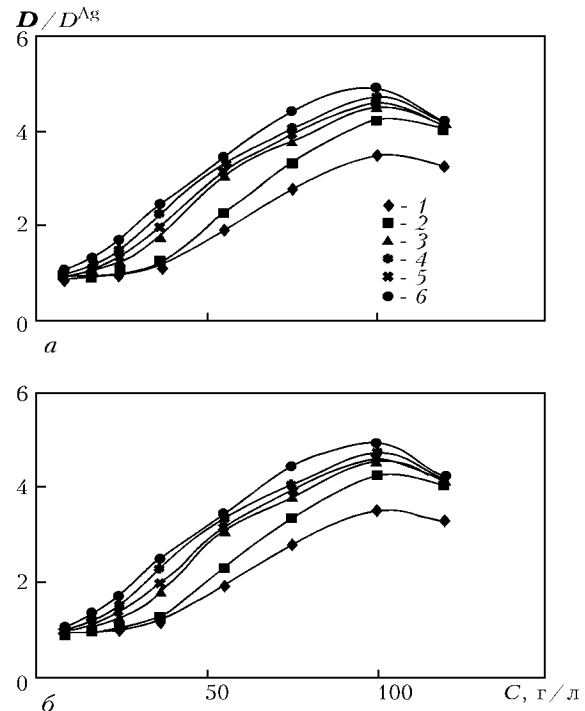
отбеливанию в водном растворе, содержащем красную кровяную соль, бромид калия, гидроксид калия и карбонат натрия, в течение 1...2 мин при 20... 25 °С;

промывке проточной водой в течение 1 мин;

усилению в водном растворе, содержащем хлорид олова (II), трилон Б, гидроксид калия и тиоцианат (роданид) калия в течение 1 мин при 20... 25 °С.

По завершении этой процедуры полученные образцы промывали проточной водой 10 мин и высушивали при комнатной температуре. На полученных образцах рентгеновских пленок измеряли значения оптических плотностей первоначального (D^{Ag}) и усиленного (D) серебряного изображения и по этим данным рассчитывали степень усиления (D/D^{Ag}) для различных вариантов изучаемого процесса усиления. Примеры зависимостей (D/D^{Ag}) от количества тиоцианата калия в усилителе для значений D^{Ag} в диапазоне 0,40... 1,60 представлены на рисунке. Измерения величин D и D^{Ag} проводили с помощью денситометра Masebeth TD504 (Kodak, США) за синим светофильтром с максимумом пропускания при $\lambda = 450$ нм.

Из рисунка видно, что в результате процесса усиления отмечается существенный (в некоторых случаях почти 5-тикратный!) прирост оптической плотности усиленного изображения по сравнению с таковой для первоначального. Окраска подобного изображения варьирует от черно-коричневой до темно-коричневой. Химический анализ его носителя свидетельствует о том, что оно более чем на 99,9 % состоит из элементного серебра. Рентгенофазовый же анализ этого носителя свидетельствует о наличии в нем двух различных фаз, что в свою очередь указывает на присутствие в нем двух разновидностей частиц элементного серебра. Частицы первой из них, судя по всему, имеют степень дисперсности, близкую к таковой для частиц, слагающих первоначальное черно-белое серебряное изображение, и вносят в усиленные изображения серо-черные тона, тогда как частицы второй разновидности, имеющую более высокую дисперсность, красные тона. Степень усиления изображения (D/D^{Ag}) непосредственно связана с соотношением между количествами этих частиц в полученном усиленном изображении: чем больше доля частиц второй разновидности в нем, тем более значительной оказывается и указанная величина. При этом с ростом концентрации роданида калия



Зависимости (D/D^{Ag}) от количества тиоцианата калия в усилителе при оптической плотности исходного фотографического изображения: а — 0,40 (1), 0,50 (2), 0,75 (3), 0,95 (4), 1,15 (5) и 1,60 (6) для рентгеновской пленки РТ-1В; б — 0,42 (1), 0,53 (2), 0,74 (3), 1,00 (4), 1,20 (5) и 1,57 (6) для рентгеновской пленки РТ-4М

количество частиц второй категории увеличивается, тогда как первой — напротив, уменьшается. Соотношение же этих количеств зависит от концентрации тиоцианата калия, но практически не зависит от типа используемой в эксперименте рентгеновской пленки. Измерения разрешающей способности полученных описанным способом усиленных серебряных изображений показали, что она практически не изменяется по сравнению с разрешающей способностью первоначального изображения для каждой из перечисленных выше рентгеновских пленок. В этой связи имеются все основания утверждать, что ухудшения качества изображения в результате использования описанного нами варианта усиления не должно иметь места. Фотографические характеристики для некоторых усиленных изображений представлены в таблице.

Можно наметить четыре варианта практической реализации тех потенциальных возможностей, которые заложены в описанном выше способе:

1) сокращение времени экспозиции в процессе радиографического контроля изделий и материалов при сохранении неизменной или повышении оптической плотности фотографического изображения;

2) повышение чувствительности радиографического контроля за счет применения мелкозернистых рентгеновских пленок, чувствительность которых в результате усиления может быть доведена до уровня чувствительности крупнозернистых;

3) повышение фотографической чувствительности пленок с сохранением нормативного содержания серебра в них;

4) сокращение расхода серебра в процессе изготовления фотоматериалов для промышленной и

Рентгеносенситометрические показатели усиленного фотографического изображения на пленках РТ-1 и РТ-К, полученного в результате переосаждения элементного серебра

Количество тиоцината калия в усилителе, г/л	$S_{0,85}, p^{-1}$	$S_{2,00}, p^{-1}$	γ	$g_{1,5...2,5}$	D_0	Нанос Ag, г/м ²
Пленка РТ-1						
Исходный фотоматериал	33	14,0	4,0	3,4	0,05	13,5
—	30	13,0	4,1	3,6	0,05	13,5
8,0	32	16,0	5,2	4,5	0,04	13,5
16,0	40	22	5,5	4,7	0,04	13,5
24,0	55	28	4,0	3,5	0,04	13,5
36,0	75	40	5,1	4,0	0,04	13,5
55,0	120	70	4,7	4,5	0,05	13,5
75,0	180	80	4,5	4,2	0,05	13,5
95,0	250	110	4,2	3,2	0,11	13,5
120,0	230	100	3,9	2,8	0,15	13,5
Пленка РТ-К						
Исходный фотоматериал	5,0	1,5	4,5	4,0	0,03	12,5
—	4,7	1,4	4,9	4,4	0,02	12,5
8,0	5,0	1,5	5,4	4,7	0,02	12,5
16,0	5,5	2,0	5,7	5,1	0,02	12,5
24,0	7,5	3,0	5,5	4,8	0,03	12,5
36,0	9,8	4,3	5,3	4,6	0,03	12,5
55,0	15,5	7,3	5,0	4,5	0,04	12,5
75,0	24	8,2	4,7	4,4	0,05	12,5
95,0	40	13	4,5	4,2	0,07	12,5
120,0	34	12	4,3	3,5	0,09	12,5

медицинской радиографии с сохранением нормативных сенситометрических и структурометрических показателей.

Опираясь на данные, приведенные в таблице и на рисунке (они определяются заранее опытным путем непосредственно у потребителя), а также на аналогичные им по другим типам рентгенпленок, можно подобрать степень усиления (D/D^{Ag}) или соотношение чувствительностей $S_{0,85}/S_{0,85}$ ($S_{0,85}$ — чувствительность соответствующей рентгенпленки, достигаемая в результате использования рассматриваемого процесса усиления изображения; $S_{0,85}$ — чувствительность той же пленки, достигаемая в результате проведения стандартной химико-фотографической обработки по стандарту [4] таким образом, чтобы сохранить уже достигнутые ранее те оптимальные значения оптической плотности фотографического изображения, которые использовались при детектировании соответствующего объекта. В таком случае реализуется вариант 1), при котором существенно сокращается время экспонирования детектируемого объекта ионизирующим излучением. Вследствие этого, с одной стороны, повышается оперативность радиографического контроля, с другой — существенно снижаются дозы облучения детектируемого материала, а также персонала, работающего с источниками ионизирующего излучения. Кроме того, расширяется возможность использования мелко-

зернистых рентгеновских пленок типа РТ-К или РТТ-4М, обладающих высокой разрешающей способностью, в практике дефектоскопического контроля. Вследствие низкой их чувствительности к ионизирующему излучению эта их способность, как правило, не раскрывается в полном объеме, поскольку для достижения необходимых для детектирования оптических плотностей требуются весьма значительная продолжительность экспонирования анализируемого объекта. Длительное же «просвечивание» детектируемого объекта жестким ионизирующим излучением далеко не всегда оказывается технически возможным, и применение предлагаемого нами способа усиления изображения позволяет преодолеть этот недостаток мелкозернистых рентгенпленок, снизив время экспонирования до практически приемлемого уровня с сохранением оптимальных значений оптической плотности изображения. Поскольку мелкозернистые низкочувствительные рентгеновские пленки имели более высокую разрешающую способность по сравнению с крупнозернистыми высокочувствительными, то в результате замены вторых на первые автоматически повышается и чувствительность радиографического контроля. Именно это и предусматривается вариантом 2), который, на наш

взгляд, вообще является наиболее важным из всех рассмотренных путей реализации данного способа. И наконец, в рамках варианта 3) появляется возможность увеличения фотографической чувствительности почти на порядок, причем этот прирост по существу не зависит от типа обрабатываемой рентгенпленки. Например, в случае РТ-1 наблюдается прирост чувствительности $S_{0,85}$ от 30 до 250 p^{-1} , $S_{2,00}$ — от 14 до 120 p^{-1} , РТ-К — от 50 до 40 и от 1,5 до 13 p^{-1} (таблица), РТ-1В — с 30 до 220 и 15 до 125 p^{-1} , РТ-4М — с 6,5 до 50 и 1,3 до 11 p^{-1} соответственно. Отметим в этой связи, что аналогичный в количественном отношении прирост чувствительности имеет место и в случае других указанных выше рентгеновских пленок. В результате появляется возможность повысить оптические плотности изображения, если по каким-либо причинам они оказываются недостаточно высокими для проведения детектирования (в частности вследствие значительной толщины стенок «просвечиваемого» объекта и в то же время необходимости ограничения продолжительности детектирования с использованием того или иного источника ионизирующего излучения).

Варианты 1)–3) могут быть реализованы у потребителя рентгеновских пленок. Значительные потенциальные возможности предлагаемого нами процесса, однако, могут быть задействованы и у изготовителя таких пленок — уже в рамках ва-



рианта 4). В данном случае может быть организован выпуск соответствующих типов рентгеновских пленок, имеющих нормативные фотографические характеристики ($S_{0,85}$, $S_{2,00}$, γ , $g_{1.5...2.5}$ и D_0), но субнормативное (т. е. сниженное по сравнению с номиналом) содержание в них серебра. Подобные пленки могут выпускаться вместе с комплектом реагентов, входящих в состав обрабатывающих (т. е. отбеливающего и усиливающего) растворов, которые приготавливаются уже в процессе эксплуатации их потребителем. Комплект реагентов может быть представлен для использования или в жидком (концентратов каждого из обрабатывающих растворов, которые перед употреблением доводятся до нужного объема водой), или же в твердом виде (смеси твердых веществ, входящих в состав указанных растворов, которые готовятся у потребителя путем растворения этих смесей в определенных количествах воды). Благодаря этому, как нетрудно заметить, у изготовителя рентгеновских пленок появляется весьма существенный дополнительный резерв экономии драгоценного металла — серебра. В тех же случаях, когда при изготовлении рентгеновских пленок используются усиливающие экраны (например, свинцовые), появляется еще одна возможность — сохранив нормативное содержание серебра в соответствующих пленках, обойтись без использования этих экранов при выпуске таких пленок, обеспечив за счет описанного выше процесса необходимую степень усиления изображения и тем самым его оптимальные оптические плотности, необходимые для детектирования. В данном случае изготовитель также может добиться определенной экономии за счет снижения фактической себестоимости выпускаемых им пленок подобных типов.

Вывод

Предлагаемый нами процесс дополнительной обработки серебряного изображения занимает всего 3–4 мин (1–2 мин — отбеливание, 1 мин — промывка и 1 мин — усиление). Он может быть осуществлен в рамках любой фотолаборатории и не требует какой-либо дополнительной квалификации работников. Специально проведенные нами эксперименты показали, что используемые в рамках данного способа обрабатывающие растворы (как отбеливающий, так и усиливающий) мало критичны к качеству воды, и могут быть приготовлены как на дистиллированной, так и на технической (водопроводной) воде, типичной для большинства потребителей рентгеновских пленок. Вследствие этого описанный способ может без особых проблем использоваться в практике рентгенодефектоскопических работ. Отметим в заключение, что в качестве добавки в усиливающем растворе помимо роданида калия могут быть использованы и некоторые другие химические соединения, причем как неорганические (тиосульфат натрия), так и органические (1,2-этилendiамин, моноэтаноламин).

1. Джеймс Т. Х. Теория фотографического процесса. — Л.: Химия, 1980. — 680 с.
2. Михайлов О. В. // Журн. научн. и прикл. фотокинематографии. — 1991. — 34, № 3. — С. 344–355.
3. Радиографический контроль с усилением снимков по методу диспергирования серебра / Хвалюк В. Н., Врублевский А. Б., Кисель Л. Ф. и др. // Техн. диагностика и неразруш. контроль. — 1991. — № 2. — С. 90–92.
4. ОСТ 6-17-54-80. Материалы фотографические черно-белые на прозрачной основе. Метод рентгеноситиметрического испытания рентгенографических и флюорографических пленок. — М.: Гос. комитет СССР по стандартам, 1980.

Казанск. гос. технолог. ун-т,
ОАО «Гасма-Холдинг»,
Казань, Россия

Поступила в редакцию
09.06.2003

XVIII ПЕТЕРБУРГСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ДЕФЕКТОСКОПИЯ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ

1–3 июня 2004 г.

Тематика

- Новые функциональные решения и принципы построения приборов и преобразователей ультразвукового контроля
- Методические принципы, технологии и опыт применения ультразвукового контроля на базе автоматизированных и микропроцессорных средств
- Метрологическое обеспечение и стандартизация ультразвукового контроля

Организационный комитет

НК-Центр, 196070, Санкт-Петербург, а/я 105

Тел./факс: (812) 310 33 26, 122 65 46,

e-mail: utm2004@ndt.sp.ru http://www.ndt.sp.ru

Конференция проводится в г. Зеленогорск на живописном побережье
Финского залива в 50 км от Санкт-Петербурга