

FUJIFILM

FUJIFILM
ТЕХНИЧЕСКИЙ СПРАВОЧНИК

Основы промышленной рентгеновской съемки





ВВЕДЕНИЕ

Неразрушающие методы исследования материалов играли и продолжают играть очень важную роль в том значительном прогрессе, который в последние годы наблюдается в научно-технологической области и в промышленности. Неразрушающие методы гарантируют надежность, качество и эффективность промышленной продукции, помогают улучшить производственные технологии и сократить затраты. Эти методы приобрели такое огромное значение, что без них уже нельзя обойтись в обрабатывающей промышленности, и при этом популярность их все возрастает.

Из всех неразрушающих методов, применяемых для исследований в современной промышленности, чаще всего используется проникающая радиация, к достоинствам которой относятся высокая надежность, универсальность и возможность получения постоянной регистрации данных. Рентгенография находит применение в огромном количестве случаев, а исследуемые объекты при этом варьируются от микроминиатюрных электронных цепей до кораблей и самолетов. Такими неразрушающими методами можно исследовать бесконечно разнообразное количество материалов, включая легкие и тяжелые металлы, пластик, дерево и фарфор.

Стараясь удовлетворить меняющиеся потребности современной промышленности, компания FUJIFILM Corporation всегда поставляла промышленные рентгенографические материалы отличного качества. Продолжается научно-исследовательская деятельность и разработка новых материалов для дефектоскопии и автоматических проявочных лабораторий, что позволяет соответствовать уровню новых методов рентгеновской съемки. Этот справочник был подготовлен для того, чтобы снабдить персонал, занятый такими видами работ, информацией по основам промышленной рентгеновской съемки. Он включает сведения о свойствах промышленных рентгеновских пленок и современных методах их обработки. Выделив время на ознакомление с содержанием данного справочника, вы сможете упростить и рационализировать свою работу.

ПРИМЕЧАНИЕ.

В данном справочнике выражение «рентгеновская пленка(-и)» означает «пленка(-и) для рентгеновской съемки».



ОСНОВЫ
ПРОМЫШЛЕННОЙ РЕНТГЕНОВСКОЙ СЪЕМКИ

СОДЕРЖАНИЕ

I. МАТЕРИАЛЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ РЕНТГЕНОВСКИХ СНИМКОВ	2
1. Источники рентгеновского и гамма-излучения	2
2. Усиливающие экраны	3
3. Эталоны чувствительности или показатели качества изображения.....	4
4. Промышленные рентгеновские пленки	4
5. Реактивы для обработки пленки	5
6. Оборудование для обработки фотоматериалов	8
II. ФОТОГРАФИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕНТГЕНОВСКИХ ПЛЕНОК.....	8
1. Фотографическая плотность	8
2. Характеристическая кривая	9
3. Светочувствительность	10
4. Средний градиент	10
5. Вуаль.....	10
6. Резкость или четкость изображения	11
7. Зернистость	11
III. ПРОЦЕСС ПОЛУЧЕНИЯ РЕНТГЕНОВСКИХ СНИМКОВ	12
1. Экспозиция рентгеновских пленок.....	12
2. Обработка рентгеновской пленки	13
3. Факторы, влияющие на пригодность рентгеновских снимков.....	18
4. Хранение пленки и фотолаборатория.....	19
IV. АВТОМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА.....	21
1. Автоматическая проявочная машина.....	21
2. Требования к рентгеновской пленке для автоматической обработки	24
3. Реактивы для автоматической обработки.....	24
V. ПРИМЕРЫ ПРОБЛЕМ, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ ОБРАБОТКЕ ПЛЕНКИ.....	27

I. МАТЕРИАЛЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ РЕНТГЕНОВСКИХ СНИМКОВ

1. ИСТОЧНИКИ РЕНТГЕНОВСКОГО И ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ

1.1 Рентгеновское и гамма-излучение

Рентгеновские лучи были открыты В.К. Рентгеном (W.C. Röntgen). Традиционно считается, что ученый открыл их случайно, заметив, что покрытый платиноцианидом бария экран флуоресцирует вблизи катодно-лучевой трубки.

В своей статье Рентген назвал вновь открытое излучение «Х-лучами», чтобы указать на то, что их природа неизвестна. Позднее это излучение было названо рентгеновским в честь особого научного достижения их первооткрывателя.

В 1912 г. М. фон Лауэ (M. von Laue) и другие исследователи установили, что рентгеновское излучение, хотя оно и невидимо, представляет собой электромагнитные волны, сходные по природе с видимым светом.

Проникающая способность рентгеновских лучей гораздо выше, чем у видимого света или ультрафиолета. Природа их такова, что чем меньше длина волны, тем выше проникающая способность.

Радий испускает альфа- (α), бета- (β) и гамма- (γ) излучение, которое, как и рентгеновское, является проникающим. В 1898 г. Мария Кюри назвала выделение этого элемента «радиоактивностью». С тех пор, помимо радия, были открыты многие другие радиоактивные элементы. В настоящее время не только излучение таких радиоактивных источников, но и корпускулярное излучение, и космические лучи, испускаемые в ядерных реакциях, также относят к радиоактивности.

В целом на практике из всех источников радиоактивности для промышленной рентгеновской съемки используют рентгеновские и гамма-лучи. Проникающая способность гамма-лучей выше, чем у рентгеновских. Рентгеновское излучение имеет плавный непрерывный спектр, в то время как гамма-лучи обладают дискретным спектром, характерным для того радиоактивного элемента, который является их источником.

Рис. 1. Типы и длины волн электромагнитного излучения



1.2 Генераторы рентгеновских лучей

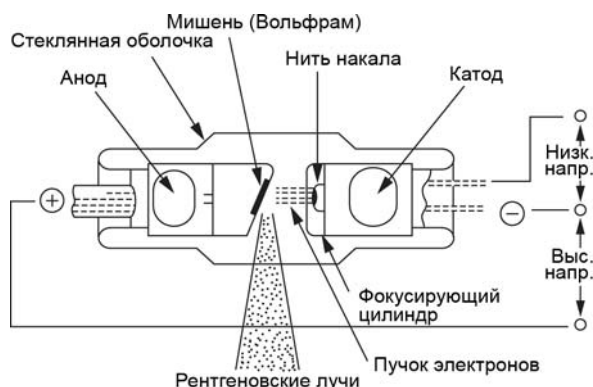
Когда быстрые электроны сталкиваются с некоторыми материалами, их движение останавливается, и часть энергии частицы излучается в виде рентгеновских лучей. Вакуумные трубки, в которых это явление используется для создания рентгеновских лучей, называют «рентгеновскими трубками». Схема рентгеновской трубки приведена на Рис. 2.

Когда между катодом и анодом пропускают постоянный ток высокого напряжения, катод начинает испускать электроны, которые движутся к аноду и там, сталкиваясь с ним, порождают рентгеновское излучение. Напряжение, прикладываемое к двум электродам, называется напряжением рентгеновской трубки, а поверхность анода, с которой сталкиваются электроны, называется мишенью.

Излучение электронов усиливается при нагревании, поэтому в катод встраивается нить накаливания, наподобие вольфрамовой нити в обычной лампе накаливания. Для того чтобы направить поток электронов, то есть, сфокусировать его на мишени, используется фокусирующий цилиндр. При столкновении электронов с анодом выделяется тепло, что приводит к повышению температуры анода. Поскольку мишень и другие узлы нагреваются до очень высокой температуры, то ее изготавливают из тугоплавкого вольфрама, что также облегчает генерирование рентгеновского излучения.

Количество электронов, испускаемых катодом, и, следовательно, дозу рентгеновского излучения, создаваемую на анодной мишени, можно изменить, меняя напряжение на нити накала рентгеновской трубки. Когда напряжение рентгеновской трубки меняется и скорость, с которой электроны сталкиваются с мишенью, что вызывает изменение характера рентгеновского излучения (распределение энергии по длинам волн). Рентгеновские лучи с относительно небольшой длиной волны называются жестким излучением, а с относительно большой — мягким.

Рис. 2. Схема устройства рентгеновской трубки



В генераторе рентгеновского излучения для изменения напряжения используют повышающий трансформатор и выпрямитель. В результате на рентгеновскую трубку подается пульсирующее напряжение. В рентгеновской съемке это пульсирующее напряжение, подаваемое на рентгеновскую трубку, выражается через пиковое значение, и единица измерения обозначается символом кВп. Напряжение, используемое для стимуляции излучения электронов вышеописанным способом, не может превышать 400 кВп из-за недостаточной диэлектрической прочности существующих в настоящее время изоляторов. Для дальнейшего ускорения электронов в генераторах рентгеновского излучения используют резонансные трансформаторы, электростатические генераторы, бетатроны или линейные ускорители.

1.3 Источники гамма-излучения

Типичный источник гамма-излучения состоит из непроницаемой для гамма-лучей металлической капсулы с радиоактивным элементом внутри, снабженной окошком, находящимся в определенном положении, которое открывается, если необходимо получить поток излучения. Обычно в качестве гамма-источников используются искусственные радиоактивные изотопы, такие как кобальт-60, иридий-192, цезий-137 и тулий-170.

2. УСИЛИВАЮЩИЕ ЭКРАНЫ

Проникающая способность рентгеновского и гамма-излучения настолько велика, что при столкновении с пленкой поглощается менее 1% энергии. Для более полной утилизации испускаемых гамма- или рентгеновских лучей прибегают к материалам, которые излучают менее проникающие вторичные электроны в форме флуоресцентного света под воздействием гамма- или рентгеновских лучей. Пленку помещают между двумя листами такого материала. Такой листовой материал называется «усиливающим экраном» или просто – «экраном». В общих чертах усиливающие экраны можно подразделить на свинцовые, флуоресцентные и флуорометаллические.

За счет интенсификации излучения сокращается срок экспозиции. Радиационно-усиливающее действие этих экранов по сравнению с длительностью экспозиции без них называется коэффициентом усиления, который варьирует от 2 до 200 в зависимости от напряжения на трубке и типа используемого экрана.

Промышленные рентгеновские пленки, как правило, классифицируются по применимому типу экрана. Пленки, которые используются с флуоресцентными экранами, называются экранными, а используемые с другими типами экранов или без них – безэкранными.

2.1 Свинцовые экраны

Некоторые материалы при облучении их гамма- или рентгеновскими лучами начинают испускать электроны. Такое излучение называется вторичным, и фото-пленка чувствительна не только к видимому свету, рентгеновским и гамма-лучам, но также и к вторичному излучению. Это явление используется в свинцовых экранах.

Свинцовая фольга, легко отдающая электроны при облучении рентгеновскими или гамма-лучами, крепится на подложку таким образом, чтобы не мешать проникновению излучения. Обычно толщина свинцовой фольги составляет от 0,03 мм до 1,0 мм; при этом она должна быть тем больше, чем выше энергия излучения. В рентгеновской съемке, однако, вторичные электроны, способные воздействовать на пленку, не возникают при напряжении на трубке ниже 100 кВп. Напротив, чувствительность пленки уменьшается, поскольку рентгеновское излучение поглощается свинцовым покрытием экранов. Обычно в рентгеновской съемке толщина переднего свинцового экрана составляет 0,03 мм, а заднего или нижнего – от 0,03 мм до 0,1 мм. В гамма-радиографии и передний, и задний экраны имеют толщину от 0,1 мм до 0,3 мм. Коэффициент усиления таких свинцовых экранов варьируется от 2 до 3.

2.2 Флуоресцентные экраны

Они представляют собой вещества, которые при облучении рентгеновскими лучами испускают свет. Поскольку каждое флуоресцентное вещество, обычно называемое фосфором, имеет свою собственную спектральную область флуоресценции, это позволяет получать коэффициенты усиления от 10 до 200 за счет подбора фосфоров относительно спектральной чувствительности рентгеновской пленки. Обычные флуоресцентные экраны делаются путем нанесения фосфора – например, вольфрамата кальция, – на подложку. Флуоресцентные экраны позволяют значительно снижать время экспозиции, но в промышленной съемке, где необходимо фиксировать малейшие дефекты, они не используются. Причина этого заключается в плохом разрешении получаемого снимка из-за отрицательного воздействия частиц фосфора.

2.3 Флуорометаллические экраны

Флуорометаллические экраны получают, помещая на подложку свинцовую фольгу и покрывая ее слоем фосфора. По своему характеру они являются промежуточным продуктом между свинцовыми и флуоресцентными экранами, но срок их службы короче, чем у свинцовых экранов. Флуорометаллические экраны можно применять как с экранной, так и с безэкранной пленкой, при этом коэффициент усиления в первом случае варьируется от 5 до 30, а во втором – от 30 до 150.

Рис. 4
Структурная и функциональная
схема флуоресцентного экрана

Рентгеновские лучи

Подложка

Слой фосфора

Защитный слой

Пленка

Защитный слой

Слой фосфора

Подложка

Рентгеновские лучи

Флуоресцентный свет

Рис. 3
Структурная и функциональная
схема свинцового экрана

Рентгеновские лучи

Подложка

Свинцовая фольга

Пленка

Свинцовая фольга

Подложка

Рентгеновские лучи

Вид кассеты в разрезе

Рентгеновские лучи

Вторичные электроны

Рис. 5
Структурная и функциональная
схема флуорометаллического
экрана

Рентгеновские лучи

Вид кассеты в разрезе

Рентгеновские лучи

Флуоресцентный свет

Вторичные электроны

Рентгеновские лучи

Подложка

Свинцовая фольга

Слой фосфора

Защитный слой

Пленка

Защитный слой

Слой фосфора

Свинцовая фольга

Подложка

Эталоны чувствительности используются как вспомогательные средства для определения выдержки, полученной в различных условиях, а также для построения по этим данным таблицы экспозиций (номограммы). Образцы экспонируются при условиях, определенных по номограмме. Изображение эталона на получившихся снимках проверяются для оценки выдержки. В некоторых странах мира процедура оценки изображения эталона стандартизирована. На Рис. 6 и 7 показаны типичные эталоны проволочного и пластинчатого типов.

Единицы: мм

F02

23783

40

3

Technical drawing of a mechanical part with dimensions and labels:

- Labels: **диам. 4 Т**, **диам. Т**, **диам. 2 Т**
- Dimensions: $\frac{1}{4}$ ", $\frac{1}{4}$ ", $\frac{7}{16}$ ", $\frac{3}{4}$ ", $\frac{1}{2}$ "
- Other features: A vertical section line on the left, a vertical slot on the right, and a horizontal slot at the bottom.

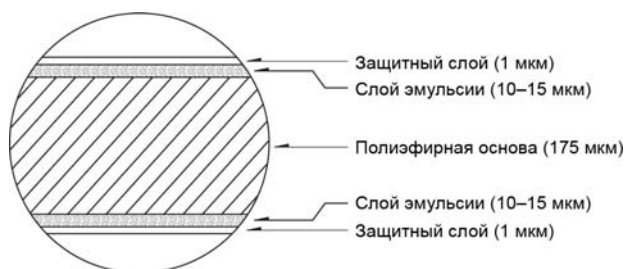
Промышленная рентгеновская пленка Fuji выпускается нескольких типов – для удовлетворения самых разных требований промышленной радиографии – и отличается высокой чувствительностью, контрастностью, мелким зерном и отличной резкостью изображения. Выбрав пленку в соответствии с назначением

и характером проверяемых образцов, получают рентгеновские снимки отличного качества.

4.1 Строение промышленной рентгеновской пленки

Рентгеновская пленка для промышленной радиографии состоит из эмульсии и полиэфирной пластиковой основы с голубым оттенком, толщиной 175 мкм. Эмульсия нанесена на обе стороны основы и с обеих сторон покрыта наружными защитными слоями. Эмульсия состоит из галогенидов серебра в качестве фоточувствительного материала, присадок и желатина. Галогениды серебра образуют изображение под воздействием рентгеновских лучей, гамма-лучей, вторичных электронов или флуоресцентного света. В обычной фотопленке светочувствительная эмульсия нанесена только с одной стороны основы, а на пленках для промышленной радиографии она покрывает обе стороны. Поглощение сильно проникающего рентгеновского излучения или гамма-лучей за счет нанесения двойного слоя эмульсии увеличивается, тем самым светочувствительное соединение серебра более эффективно поглощает излучение и электроны. Кроме того, два слоя эмульсии помогают увеличить контрастность и плотность изображения на рентгеновских снимках.

Рис. 8 Строение промышленной рентгеновской пленки



4.2 Характеристики различных типов промышленных рентгеновских пленок Fuji

В целом рентгеновские пленки классифицируются по их назначению, как показано в Таблице 1. Типы промышленных рентгеновских пленок, выпускаемых компанией FUJIFILM Corporation, представлены в таблице под заголовком «Промышленные рентгеновские пленки». Свойства, чувствительность и контрастность пяти промышленных рентгеновских пленок Fuji сравниваются в Таблице 2.

5. РЕАКТИВЫ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПЛЕНКИ

Химические вещества для проявления светочувствительных материалов, в том числе рентгеновских пленок перед использованием растворяются в воде. В основном применяются готовые смеси, которые при растворении в указанном объеме воды образуют проявочные растворы. Подробнее о проявочных реактивах рассказано в разделах III-2 «Обработка рентгеновских пленок» и IV-3 «Реактивы для автоматической обработки».

5.1 Проявитель

Когда фотопленка подвергается воздействию света или радиоактивного излучения, в эмульсионном слое возникает невидимое (так называемое «скрытое») изображение. Процесс превращения скрытого изображения в видимое называется «проявлением», при этом используется проявляющий раствор.

Состав проявителя

С химической точки зрения проявление означает восстанавливающее действие вещества. Для экспонированной пленки восстановлению до металлического серебра с образованием видимого изображения подлечит только соединение серебра, выделившееся в скрытом изображении при экспозиции. Вещество, выбранное для восстановления экспонированного соединения серебра до металлического состояния, называется проявляющим веществом. Проявляющее вещество используется не отдельно, а в сочетании с другими составляющими, которые выполняют особые функции. Сюда входят: ускоритель, активирующий проявляющее вещество; консервант, уменьшающий окисление проявителя воздухом; замедлитель, который предотвращает развитие вуали, замедляя действие проявителя на неэкспонированное соединение серебра, а также другие добавки.

Проявитель

Проявляющее вещество

[Монол] (эквивалент метола), гидрохинон,
[Пиразон], (эквивалент фенидона), и т.п.]

Другие составляющие

Ускоритель

[Карбонат натрия, гидроксид натрия и т.п.]

Консервант

[Сульфит натрия, бисульфит натрия и т.п.]

Замедлитель

[Бромид калия и т.п.]

Добавки

[Отвердитель желатина, умягчитель воды и т.п.]

* Торговые марки компании FUJIFILM Corporation

Многие проявители за счет ускорителя имеют щелочной характер. Чем выше щелочность проявителя или чем большее количество ускорителя добавлено к нему, тем сильнее действует проявитель. Проявитель для рентгеновской пленки содержит больше компонентов, чем проявитель для обычной черно-белой пленки, поскольку рентгеновские пленки содержат больше галогенидов серебра.

Чтобы избавить пользователей от необходимости взвешивать отдельные компоненты проявителя, компания FUJIFILM Corporation выпустила готовые проявляющие смеси Hi-Rendol I (жидкие концентраты), состав которых позволяет получать высококачественные однородные рентгеновские снимки.

Таблица 1. Классификация рентгеновских пленок



Таблица 2 Типы и характеристики промышленных рентгеновских пленок Fuji

Пленка	Назначение и характеристики	Относительная чувствительность*				Тип пленки	
		Рентген. лучи 100кВ ⁽¹⁾	Рентген. лучи 200кВ ⁽²⁾	Ir-192 ⁽²⁾	Ir-60 ⁽²⁾	ASTM E1815	EN584-1
#25	Детали микроэлектроники; литье – металлы с малыми и средними атомными числами. Высококонтрастная пленка класса Special согласно классификации Американского общества специалистов по испытаниям и материалам (ASTM) с очень мелким зерном, с максимальными характеристиками резкости и чувствительности. Пригодна для работы с новыми материалами, такими как пластики, упрочненные углеродным волокном, керамика и микроэлектронные устройства. IX25 обычно используется в методах непосредственной экспозиции или со свинцовыми экранами.	20	17		10	Special	C1
#50	Электроника, углепластики Пленка с ультра-мелким зерном, высококонтрастная, класса I согласно классификации ASTM с отличной резкостью и хорошей чувствительностью. Пригодна для работы с любыми материалами небольшой атомной массы, где особенно важно воспроизведение мелких деталей. Ультра-мелкое зерно делает ее пригодной для съемки малоконтрастных объектов в высокоэнергетических лучах, когда применение высокорadioактивных изотопов или мощных рентгеновских аппаратов позволяет работать с ней. Демонстрирует широкий диапазон экспозиции при использовании в областях с высокой контрастностью объекта. IX50 обычно применяется в методах непосредственной экспозиции или со свинцовыми экранами.	35	30	30	30	I	C3
#80	Сварные швы на металлах с малым или средним атомным числом, строительство и техническое обслуживание воздушных судов, углепластики. Пленка класса I согласно классификации ASTM с чрезвычайно мелким зерном, высококонтрастная, позволяет обнаруживать мельчайшие дефекты. Применяется для контроля материалов с малой атомной массой при помощи низковольтного рентгеновского излучения, а также для исследований материалов с большой атомной массой при помощи рентгеновских лучей высокого напряжения или источников гамма-лучей. Демонстрирует широкий диапазон экспозиции при использовании в областях с высокой контрастностью объекта. IX80 обычно используется в методах непосредственной экспозиции или со свинцовыми экранами.	55	55	55	55	I	C4
#100	Сварные швы – металлы со средним и высоким атомным числом. Литье – металлы со средним и высоким атомным числом. Высококонтрастная пленка класса II согласно классификации ASTM с очень мелким зерном, пригодная для исследования легких металлов при помощи источников излучения низкой активности и для исследования толстых, высокой плотности образцов при помощи высоковольтного рентгеновского излучения или источников гамма-лучей. Демонстрирует широкий диапазон экспозиции при использовании в областях с высокой контрастностью объекта. Хотя пленка IX100 обычно используется в методах непосредственной экспозиции или со свинцовыми экранами, она пригодна и для использования с флуоресцентными и флуорометаллическими экранами.	100	100	100	100	II	C5
#150	Тяжелые многослойные стальные детали, в качестве источников экспонирующего излучения используются изотопы с низкой радиоактивностью и маломощные рентгеновские лучи. Высокочувствительная мелкозернистая высококонтрастная пленка класса III согласно классификации ASTM, пригодная для исследования самых разных образцов рентгеновскими лучами малой и высокой мощности, а также гамма-излучением. На практике используется в тех случаях, когда источники высокоэнергетического гамма-излучения отсутствуют, или для исследования очень толстых образцов. Применяется также для рентгенодифракционного анализа. IX150 обычно применяется в методах непосредственной экспозиции или со свинцовыми экранами.	200	200	170	170	III	C6
#29	Литье и другие многослойные образцы. Пленка класса W-A согласно классификации ASTM с ультра-мелким зерном и контрастностью от средней до высокой, пригодная для контроля объектов различной толщины, таких как детали точного литья, при помощи источников рентгеновского или гамма-излучения. IX29 может использоваться в методах с непосредственной экспозицией или со свинцовыми экранами, а также с флуорометаллическими экранами.	22	22	22	22	W-A	-
#59	Литье и другие многослойные образцы. Пленка класса W-B согласно классификации ASTM, с чрезвычайно мелким зерном, средней контрастности, пригодная для контроля многослойных изделий из металлов с малым атомным числом и стальных литых деталей. IX59 может использоваться в методах с непосредственной экспозицией или со свинцовыми экранами, а также с флуорометаллическими экранами.	45	45	45	45	W-B	-

*Чувствительность по сравнению с пленкой типа №100, для которой этот показатель принимают за стандартный, равный 100.

(1) без экранов (2) с экранами

5.2 Стоп-ванна

Если вовремя не остановить действие проявителя, серебряное изображение станет слишком плотным для того, чтобы достигнуть заданной цели. Если пленку непосредственно перенести из проявителя в закрепитель, то закрепление может быть неоднородным. Чтобы прекратить действие проявителя и предотвратить неравномерное закрепление, в качестве стоп-ванны используется 1,5% - 3% раствор уксусной кислоты. В радиографии используется 3% раствор уксусной кислоты. Если стоп-ванна не применяется, то проявитель, переносимый вместе с пленкой, не только приводит к быстрой потере рабочих свойств закрепителя, но и может стать причиной неравномерности обработки или вызывать образование пятен на готовом снимке.

5.3 Закрепитель

После проявки и нейтрализации в стоп-ванне эмульсия все ещё содержит невосстановленные галогениды серебра, которые не нужны для создания изображения. Это нежелательно, в особенности для рентгеновских снимков, которые рассматривают в проходящем свете. Для удаления невосстановленного галогенида серебра используют закрепитель.

Наиболее распространенной фиксажной ванной является раствор тиосульфата натрия. Для быстрого закрепления также используют тиосульфат аммония. Под действием этих веществ галогениды серебра превращаются в растворимые соединения. Смягченная проявителем эмульсия отвердевает под действием закрепителя.

Кислотные отверждающие ванны, которые останавливают действие проявителя, перенесенного вместе с пленкой, и отверждают эмульсию, используются во всех направлениях фотосъемки, не говоря уж о радиографии. Практически все распространенные закрепители относятся к типу кислотного отвердителя.

Состав закрепителя

Закрепитель содержит растворитель для галогенидов серебра и другие составляющие, как указано ниже.

Закрепитель

Растворитель галогенидов серебра

[тиосульфаты натрия и аммония]

Другие составляющие

Консервант

[Сульфит натрия и т.п.]

Кислота

[Уксусная кислота и т.п.]

Отвердитель

[Алюмосульфат калия (калиевые квасцы) и т.п.]

Буферный раствор

[Набокс] (эквивалент слабой щелочи «Кодаку» и т.п.)

* Торговые марки компании FUJIFILM Corporation

Чтобы избавить пользователей от необходимости взвешивать отдельные компоненты закрепителя, компания FUJIFILM Corporation выпустила готовые фиксажные смеси Hi-Renfix I (жидкие концентраты), состав которых позволяет получить хорошие результаты при закреплении.

5.4 Ускоритель промывки (быстродействующее промывочное вещество)

Пленка, вынутая из фиксажной ванны, содержит не только некоторое количество закрепителя, но также и другие соединения, образовавшиеся при растворении

галогенидов серебра. Чтобы их удалить, пленку в течение 20 или более минут промывают в проточной воде. Для сокращения времени промывки компания FUJIFILM Corporation разработала ускоритель промывки Fuji QW. Этот продукт сокращает длительность промывки на одну треть/одну пятую по сравнению с тем временем, которое затрачивается без его применения.

5.5 Увлажняющее вещество

Процесс обработки пленки завершается сушкой. После промывки вода остается на пленке в виде капелек и потеков. Если пленку сушить в таком состоянии, это не только увеличит продолжительность сушки, но и оставит следы от воды на готовом изображении. Чтобы сократить время сушки и избежать пятен от воды на снимках, компания FUJIFILM Corporation разработала увлажняющее вещество под названием Drivel.

5.6 Прочие реактивы, используемые при обработке

В дополнение к тем реактивам, что обсуждались выше, могут также использоваться некоторые другие вещества. Если плотность получившегося изображения слишком высока, для ее уменьшения используется химический раствор под названием «ослабитель». Если плотность получившегося изображения слишком мала, для ее увеличения используется раствор вещества под названием «усилитель».

5.7 Реактивы для автоматической обработки

Некоторые из приведенных выше проявочных реактивов также используются и при автоматической обработке рентгеновских пленок, но проявитель и закрепитель для автоматической обработки имеют особый состав по раскрытым далее причинам. (Подробнее об автоматических проявочных машинах см. в разделе 6. «Проявочные машины» и Главе IV «АВТОМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА»).

А. Проявитель

В автоматических проявочных машинах роликового типа (таких как Fuji FIP 7000) для обработки промышленных рентгеновских пленок проявочные растворы используются при более высокой температуре (около 30 °C), чтобы ускорить процесс. Множество транспортных роликов прикатывают поверхность пленки, убирая отработанные растворы.

Проявители для автоматических проявочных машин имеют особый состав. Например, состав Fuji Superdol L делает вещество пригодным для проявления при высокой температуре, и содержит специальные компоненты, которые корректируют контрастность и вуаль, а также отвердитель, который закрепляет эмульсию, чтобы она могла выдержать давление при прикатке роликами.

В. Закрепитель

Закрепитель, используемый в автоматических проявочных машинах роликового типа, имеет специальный состав (как, например, Fuji Super FI), он вызывает более сильное отверждение эмульсии, чем реактив, используемый при обработке вручную. Ролики проявочного участка уменьшают количество проявителя, переносимого с пленкой в закрепитель. Это продлевает срок службы вещества, хотя первоочередное назначение роликов состоит в продвижении пленки через аппарат.

Примечания:

- Стоп-ванна
Стоп-ванна в автоматических проявочных машинах не используется, поскольку ролики достаточно хорошо удаляют проявитель с поверхности пленки. Это увеличивает срок службы закрепителя во много раз по сравнению с обработкой вручную.
- Ускоритель промывки
В автоматических проявочных машинах роликового типа ролики фиксажного бачка эффективно удаляют закрепитель с поверхности пленок, а ролики промывного бачка обеспечивают постоянный обмен свежей воды на поверхности пленок, поэтому на сегодняшний момент нет необходимости использовать ускоритель промывки.
- Увлажняющее вещество
В автоматических проявочных машинах роликового типа ролики эффективно отжимают промывную воду с поверхности пленки, поэтому нет необходимости пользоваться увлажнителем.

6. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ФОТОМАТЕРИАЛОВ

Существуют два основных направления в обработке фотоматериалов – это ручную и автоматическую. При обработке вручную проявочные реактивы наливаются в поддон (кювету), туда же кладется пленка, и кювету покачивают взад и вперед, чтобы вызвать реакцию, или же реактивы наливают в бачок, а пленку подвешивают в нем таким образом, чтобы можно было двигать ее туда и обратно в растворе. При обработке вручную необходимым оборудованием являются поддон (кювета), бачок для раствора, кронштейн для подвешивания пленки и т.п. В этом случае используемое оборудование находится в непосредственном контакте с реактивами, и потому должно быть сделано из некорродирующих материалов. Помимо этого, необходимо оборудование для контроля температуры растворов. При обработке вручную некоторые виды оборудования помещаются непосредственно в проявочные растворы, например, подогреватель, в других случаях приходится пользоваться баней с регулировкой температуры.

Автоматическая полная обработка («от сухого к сухому») становится все более и более распространенной, поскольку сам по себе результат обработки фотоматериалов в этом случае оказывается более стабильным, не говоря уже об ускорении процесса и уменьшении числа его этапов. Большинство таких устройств оснащено роликами, приводящими друг друга в движение или двигающимися одновременно. Этапы проявочного процесса в таком аппарате состоят из четырех процедур: проявления, закрепления, промывки и сушки, при этом задействовано значительное количество роликов. Все эти ролики вращаются с одной и той же скоростью, одновременно, поэтому пленка, проходя между ними, перемещается и проявляется. Обычно в проявочные аппараты также включаются такие устройства, как блоки контроля температуры проявочных растворов, подогреватели воздуха для сушки, вентилятор и устройства автоматического долива израсходованных реагентов. Более подробно об этом см. Главу IV «АВТОМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА».

II. ФОТОГРАФИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕНТГЕНОВСКИХ ПЛЕНОК

1. ФОТОГРАФИЧЕСКАЯ ПЛОТНОСТЬ

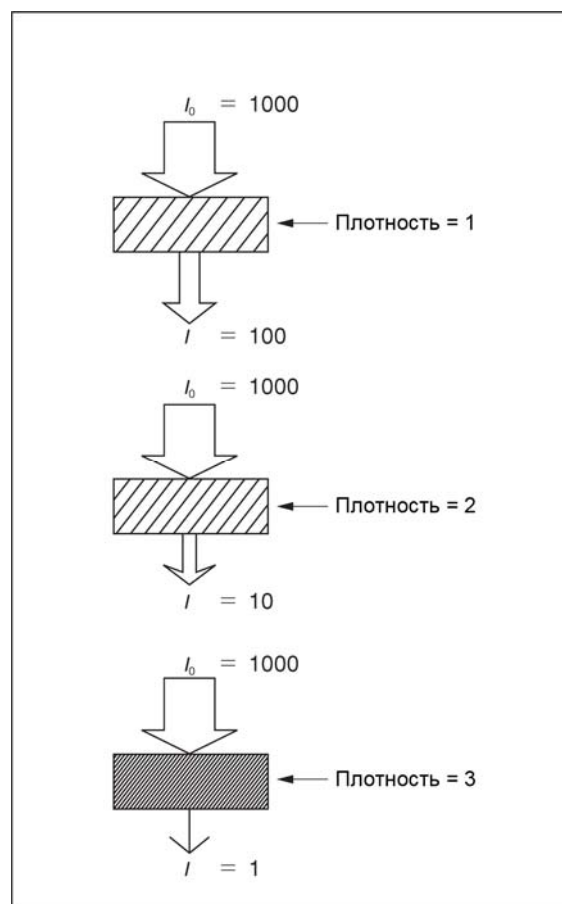
Степень затемнения фотографического изображения называется фотографической или оптической плотностью, и она бывает двух типов. Первый тип – это оптическая плотность в проходящем свете, второй – в отраженном свете. Первый тип плотности используется как выражение плотности фотографического изображения на пленке. Плотность изображения в проходящем свете выражается как логарифм ее плотности затемнения. Допустим, интенсивность света, падающего на поверхность пленки, равна I_0 (проходящий свет), а интенсивность света после того, как он прошел через пленку, равна I , тогда применяются следующие формулы:

$$\text{Прозрачность} = I/I_0$$

$$\text{Плотность затемнения} = I_0/I$$

$$\text{Плотность} = \text{Log } I_0/I$$

Рис. 9 Плотность



2. ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКАЯ КРИВАЯ

Свойства рентгеновской пленки можно выразить несколькими способами. Наиболее распространенным из них является характеристическая кривая. Под характеристической кривой рентгеновской пленки понимают кривую, получаемую в результате построения графика зависимости плотности изображения от экспозиции (длительности воздействия рентгеновских или гамма-лучей) при проявке пленки, как показано на Рис.10. Эта характеристическая кривая дает информацию о светочувствительности рентгеновской пленки, ее контрастности (среднем значении градиента) и вуали. Так как абсолютную силу рентгеновских или гамма-лучей измерить трудно, определяют относительную экспозицию, а ее логарифм откладывают по горизонтальной оси, в то время как соответствующие значения плотности наносятся вдоль вертикальной оси через те же интервалы, что и на горизонтальной оси. Форма характеристической кривой и ее положение на графике различаются в зависимости от типа пленки или источника излучения. Кроме того, при изменении условий проявки и при использовании интенсифицирующих экранов наблюдаются изменения в характере кривых.

Традиционно характеристическая кривая делится на пять участков, как показано на Рис. 10: (1) неэкспонированное положение; (2) нижний криволинейный участок или область недодержки; (3) прямолинейный участок; (4) верхний криволинейный участок или область передержки; и (5) участок соляризации.

Примечание. Термин «сенситометрия» (или «измерение светочувствительности») относится к методу установления точных численных значений для соотношений экспозиции и плотности и определения таких параметров пленки как вуаль, светочувствительность, контрастность и т.п. на основании характеристической кривой.

Рис. 10 Обозначение пяти участков на характеристической кривой



*1 Плотность вуали

Плотность вуали может учитывать основную плотность, а может и не включать ее. Во многих случаях не указывается, включает ли величина основной (базовой) вуали, или нет.

*2 Область недодержки, прямолинейная область и область передержки
Эти обозначения относятся к хорошо различимым областям характеристической кривой, но не имеют таких четко определенных точек, как В и С на Рис. 10.

*3 Логарифм относительной выдержки при облучении пленки рентгеновскими или гамма-лучами.

Неэкспонированный участок:

На неэкспонированных участках пленки при проявке появляется едва заметное потемнение (плотность), и это явление называется «вуаль».

Участок недодержки:

Как правило, плотность в пределах, заданных данным участком кривой, развивается при недостаточной экспозиции пленки.

Прямолинейный участок:

Правильно экспонированная пленка обычно имеет плотность изображения, отвечающую интервалу, заданному прямолинейным участком кривой и участком недодержки. С прямолинейным участком тесно связано понятие «контрастности» пленки.

Участок передержки:

Плотность изображения на слишком сильно экспонированной пленке соответствует интервалу, задаваемому прямолинейным участком и участком передержки.

Участок соляризации:

При дальнейшем увеличении экспозиции (выходе за пределы участка передержки) плотность изображения может даже уменьшиться. Этот участок не учитывается в экспозициях, используемых при создании фотографического изображения.

Рис. 11 Характеристическая кривая безэкранной пленки

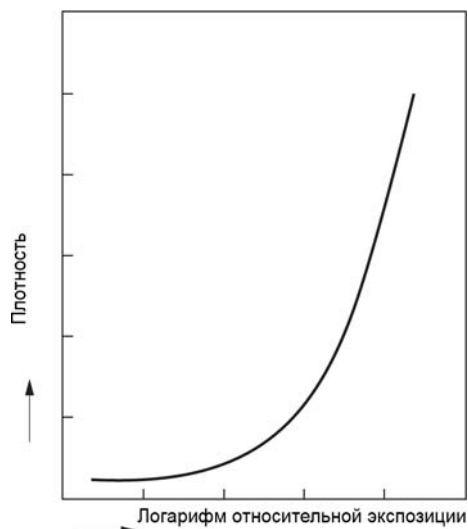
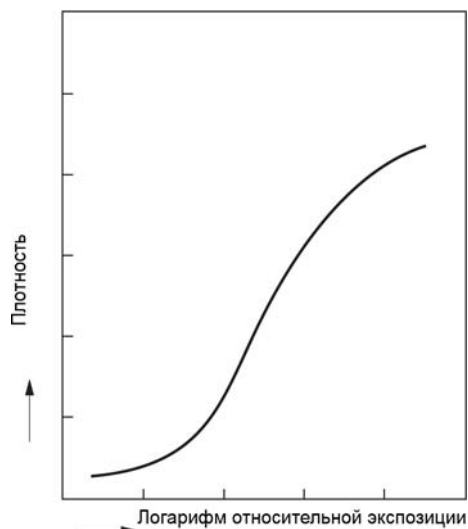


Рис. 12 Характеристическая кривая экранной пленки



3. СВЕТОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ

Под светочувствительностью в радиографии понимают чувствительность рентгеновской пленки к гамма- или рентгеновскому излучению. Светочувствительность фотоматериала обычно выражается величиной, обратной экспозиции (см. примечание), определенной по характеристической кривой, которая получается в развитии определенной плотности изображения при проявлении пленки в данных условиях. Подобно относительной экспозиции, использованной при построении характеристической кривой рентгеновской пленки, полученная из нее величина светочувствительности также является относительной, вследствие чего она называется относительной чувствительностью пленки.

Примечание. Шкала светочувствительности организована таким образом, что с ростом экспозиции чувствительность уменьшается, а с уменьшением экспозиции – возрастает. Следовательно, для простоты понимания можно сказать, что чувствительность – это величина, обратная экспозиции.

На Рис. 13 показаны характеристические кривые пленок четырех типов – а, b, c и d – подвергнутых воздействию рентгеновских лучей и проявленных в одних и тех же условиях. При построении графика значения плотности откладывались вдоль вертикальной оси, а относительной экспозиции – вдоль горизонтальной с равными промежутками, начиная с величины 0,0 в левой части горизонтальной оси. Из точки на характеристической кривой с плотностью, равной 2,0 над величиной базовой плотности + вуали, можно провести прямую линию вниз до пересечения с горизонтальной линией. Определив относительные экспозиции для четырех типов пленки, можно вычислить антилогарифмы соответствующих значений. Приняв одну из пленок, например, а, за основу при сравнении с чувствительностью, равной 100, можно получить величины относительной светочувствительности для других пленок с использованием параметра сравнения 100 и обратных отношений антилогарифмов величин, считанных с горизонтальной оси. Определенные таким образом относительные величины светочувствительности трех типов пленок показаны в Таблице 3.

Таблица 3. Относительная светочувствительность пленок

Тип пленки	A	B	C	D
Относительная светочувствительность	100	209	48	26

4. СРЕДНИЙ ГРАДИЕНТ

Контрастность промышленных рентгеновских пленок выражается через среднее значение градиента ($\bar{G}$)*. Определенный интервал всех плотностей, формирующих изображение, значительно влияет на его контрастность. Тангенс угла наклона прямой, соединяющей точки максимальной и минимальной плотностей в этом интервале на характеристической кривой называется средним значением градиента.

* $\bar{G}$ читается как «Джи с черточкой»

Предел рабочих плотностей (ΔD) для промышленных рентгеновских пленок рассчитывается как:

$$\Delta D = (\text{вуаль} + \text{базовая плотность} + 3,5) - (\text{вуаль} + \text{базовая плотность} + 1,5)$$

Интервал плотностей на характеристической кривой показан на Рис. 15.

Рис. 13 Характеристические кривые для пленок четырех типов

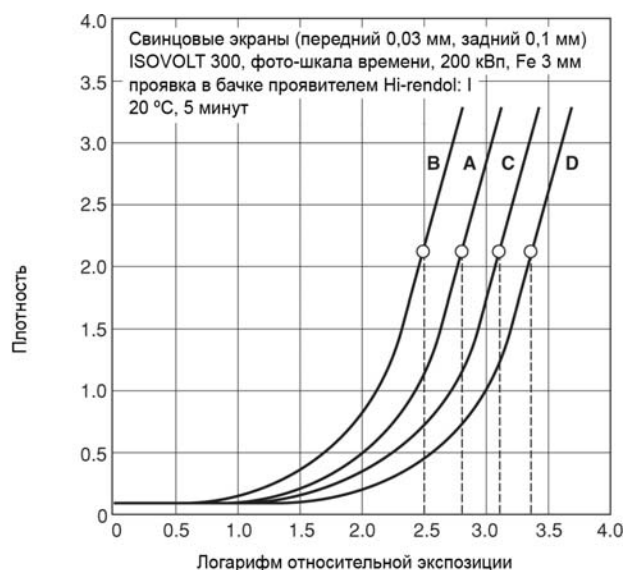
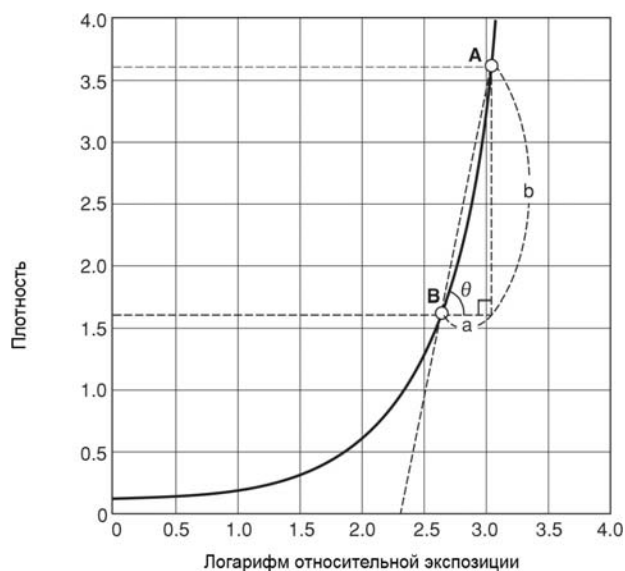


Рис. 14 Средний градиент



Точка A = вуаль + базовая плотность + 3,5

Точка B = вуаль + базовая плотность + 1,5

$\Delta D = b$

Тангенс угла наклона ($\tan \theta = b/a$) прямой линии, соединяющей точки A и B, относительно горизонтальной оси, называется средним градиентом ($\bar{G}$)

5. ВУАЛЬ

На пленке может развиваться незначительное потемнение без воздействия видимого света, рентгеновского или гамма-излучения. Это потемнение возникает, когда галогенид серебра в эмульсии на пленке частично восстанавливается, и называется «вуалью». Поскольку возникновение вуали, более темной, чем некоторое предельно допустимое значение, отрицательно сказывается на качестве снимков, ее развитию следует препятствовать как можно сильнее.

Причин возникновения вуали может быть несколько: играют роль и условия хранения пленки, и состав проявителя, и условия проявки и обработки пленки. Нежелательное потемнение под действием света и давления также называется вуалью. Нежелательное затемнение пленки при слишком длительном воздействии безопасного света (даже если в качестве безопасного используется свет той длины волны, которая на протяжении разумного промежутка времени не оказывает воздействия на чувствительный материал) называется «вуалью безопасного света». Нежелательное затемнение, возникшее вследствие воздействия высокого давления на пленку, называется «вуалью давления».

Все эти типы вуали вызваны воздействием нежелательных внешних факторов, негативно влияющих на качество фотоизображения, и, соответственно, следует предотвращать возможность такого воздействия.

6. РЕЗКОСТЬ ИЛИ ЧЕТКОСТЬ ИЗОБРАЖЕНИЯ

«Резкость» – это фотографический термин, используемый для указания того, насколько четко определяются границы между разными уровнями плотности, а также для определения четкости мелких деталей на изображении.

С недавнего времени для выражения резкости фотографических изображений используют пространственно-частотные характеристики. Идея пространственной частоты была взята из электронных систем измерения. В электронике характеристики, например, микрофона выражаются через построение амплитудно-частотной характеристики. Соотношение амплитуд на входе и выходе (называемое откликом) рассчитывается для каждой звуковой частоты, а затем частоты откладываются вдоль горизонтальной оси, а значения отклика – вдоль вертикальной. Таким путем получают график частотной характеристики, например, такой, как показан на Рис. 16.

Если воспроизведение низких звуков плохое, то отклик на участке низких частот будет мал, и если высокие звуки воспроизводятся недостоверно, то отклик на участке высоких частот тоже мал. Такая амплитудно-частотная характеристика очень полезна при оценке качества воспроизведения звуков. С другой стороны, в фотографии частотная характеристика представляет собой график зависимости количества черных и белых линий на мм (так называемая «пространственная частота» - по аналогии со звуковой частотой) от соотношения значений сигналов входа и выхода, в данном случае, отклика воспроизводимого изображения по отношению к видимому свету или радиоактивному излучению, играющему роль входной величины (Рис. 16). В фотографии такую графическую зависимость называют «функцией отклика» или «частотно-контрастной характеристикой».

7. ЗЕРНИСТОСТЬ

Фотографическое изображение, полученное после проявки, состоит из частиц серебра размеров в несколько микронов, расположенных нерегулярно. Поэтому рентгеновские снимки обычно выглядят зернистыми при рассмотрении невооруженным взглядом.

Это называется зернистостью. «Зернистый» вид снимку придают группы зерен серебра, а не отдельные зерна. Зернистость снимка – субъективное впечатление, а объективный его аспект называется «зернистостью фотоэмульсии». Первое определяется субъективно невооруженным глазом при постоянном освещении или по сравнению с фоном, имеющим постоянную яркость. Метод определения подбирается в зависимости от того, для чего предназначается пленка, для рентгеновских пленок больше всего подходит освещение постоянным светом.

С другой стороны, зернистость фотоэмульсии – физическое явление и относится к структуре светочувствительной эмульсии, которая может быть объективно определена физическими методами. Измерение зернистости фотоэмульсии по воспроизводимости и объективности превосходит определение зернистости изображения в качестве научной меры отклонений в распределении отложений серебра. Зернистость эмульсии определяется методом Селвина (с применением анализа Фурье).

Рис. 15. Звуковая амплитудно-частотная характеристика

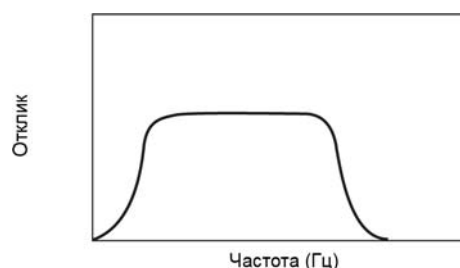


Рис. 16. Фотографическая частотно-контрастная характеристика

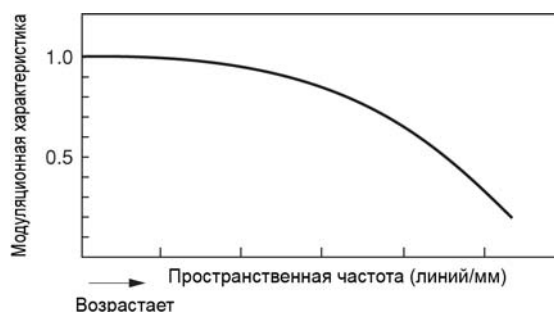
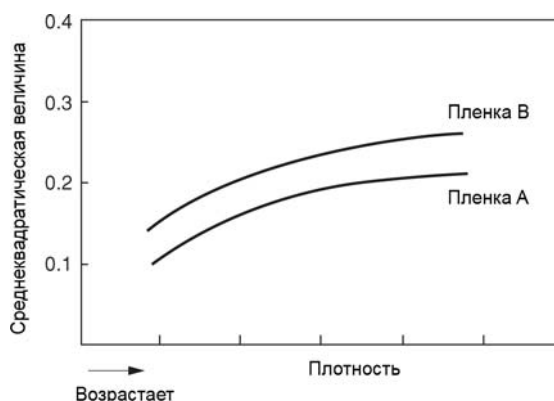


Рис. 17. Зернистость фотоэмульсии (среднеквадратическая)



Зернистость фотоэмульсии G по Селвину выражается через произведение квадратного корня из величины площади измерительной щели микрофотометра a на величину стандартного отклонения σD для сред-

ней величины оптической плотности D . Зернистость по Селвину: $G = \sigma D \sqrt{a}$. Однако если площадь отдельных зерен серебра превышает площадь измерительной щели a , то данная формула не дает постоянного значения G . В настоящее время зернистость фотозумульсии чаще выражают просто среднеквадратичным отклонением величины D , а не через постоянную Селвина, и называют ее среднеквадратичной зернистостью. Чем меньше величина среднеквадратичной зернистости, тем лучше зернистость. Например, у пленки А на Рис. 17 зернистость лучше, чем у пленки В.

III. ПРОЦЕСС ПОЛУЧЕНИЯ РЕНТГЕНОВСКИХ СНИМКОВ

1. ЭКСПОЗИЦИЯ РЕНТГЕНОВСКИХ ПЛЕНОК

1.1 Меры предосторожности при подготовке к съемке

Важно соблюдать стандарты, принятые для промышленных рентгеновских пленок, и учитывать воздействие геометрических факторов (например, расстояния от пленки до образца) на качество изображения в процессе определения взаимного расположения источника излучения (рентгеновского или гамма), кассеты, образца и эталона чувствительности. Также до начала работы следует выбрать метод экспонирования в соответствии с материалом исследуемого образца и его формой. Например, при дефектоскопии сварного шва наиболее подходящими для выбора являются методы простой радиографии, стереоскопической радиографии и метод параллакса (двойной экспозиции).

1.2 Определение условий экспонирования

В промышленной радиографии необходимо установить такую выдержку, чтобы она удовлетворяла требованиям существенной плотности изображения и определенному разрешению эталона.

Таблица 4. Факторы, влияющие на экспозицию

УМЕНЬШАЮТ ←	ВРЕМЯ ЭКСПОЗИЦИИ	→ ПОВЫШАЮТ
Тонкий	← Толщина образца	→ Толстый
Низкая	← Относительная плотность образца	→ Высокая
Высокое	← Напряжение	→ Низкое
Короткое	← Фокусное расстояние до пленки	→ Длинное
Большой	← Коэффициент усиления экрана	→ Небольшой
Большой	← Ток рентгеновской трубки	→ Маленький

ПРИМЕЧАНИЕ. Условия экспонирования образцов неоднородной толщины определяются с помощью экспозиционной номограммы.

Рентгеновское оборудование до начала работы должно прогреться в соответствии с указаниями производителя, а для источников гамма-излучения необходимо подтвердить их радиоактивность, выраженную в Ки (кюри). При использовании рентгеновских лучей снимки высокого разрешения получаются при задействовании низковольтного излучения и длительной выдержке. Как правило, для определения условий экспозиции (напряжения, тока трубки и времени экспонирования) применяется специальная номограмма. Обычные экспозиционные номограммы строятся путем откладывания толщины образца вдоль горизонтальной оси, а экспозиции (мА*мин или мА*с) или напряжения (кВп) - вдоль вертикальной оси

графика. Однако рекомендуется составлять и использовать экспозиционные номограммы для условий экспонирования в каждом случае, так как результат экспонирования зависит от переменных характеристик источника рентгеновского излучения, фокусного расстояния до пленки, материала образца и желаемой плотности изображения. В случае, показанном на Рис. 18, требуемое напряжение в киловольтах вычисляется по толщине образца, а выдержка производится при условиях (мА*мин), определяемых напряжением. В случае, показанном на Рис. 19, по толщине образца выбирается подходящий усиливающий экран, а экспозиция выполняется при том напряжении, которое определяется типом экрана.

Рис. 18 Пример экспозиционной номограммы

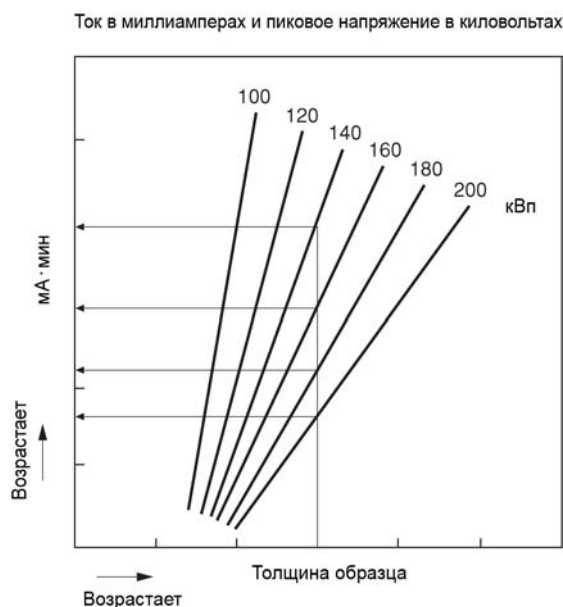
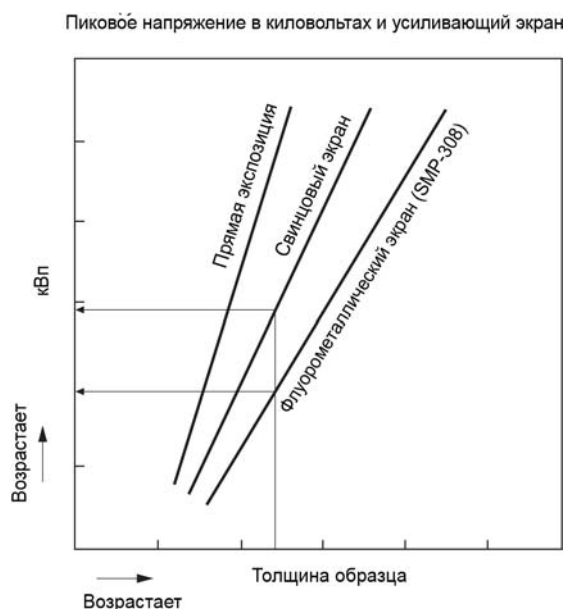


Рис. 19 Пример экспозиционной номограммы



1.3 Осторожность при обращении с пленкой

Вынимать рентгеновскую пленку из футляра, в котором она проложена бумагой, следует осторожно, не прилагая к бумажной прослойке излишнего давления, иначе на пленке могут появиться царапины и следы, вызванные электростатическими разрядами. Если рентгеновскую пленку до начала работ оставляют на рабочем столе, то бумажную прокладку снимать не следует, так как она предохраняет пленку от грязи, металлической пыли, влаги, химических веществ и других нежелательных воздействий.

Очень важно, чтобы экран прилегал к пленке равномерно и плотно. Плохое прилегание резко снижает резкость и разрешение снимка. Особое внимание следует обратить на плотность прилегания экрана к пленке при использовании гибких кассет. Вынимая пленку из вакуумной кассеты, следует вытащить ее вместе с экранами, раскрыть экраны и изъять пленку, чтобы избежать трения об экраны.

2. ОБРАБОТКА РЕНТГЕНОВСКОЙ ПЛЕНКИ

Изображение, получаемое на рентгеновской пленке под воздействием рентгеновских лучей, гамма-лучей или света, невидимо, но при погружении в специальный раствор оно становится видимым. Этот этап обработки пленки называется проявлением. Получив желаемую плотность и контрастность изображения, проявление прекращают. Затем пленку погружают в стоп-ванну, которая останавливает действие проявителя. После стоп-ванны пленку помещают в фиксажную ванну, в которой растворяются не вступившие в реакцию светочувствительные соли серебра. На обработанной таким образом пленке оказывается постоянное изображение. Все этапы получения постоянного изображения после экспозиции в совокупности называются обработкой. В данном разделе речь пойдет об обработке пленки вручную, а об автоматической обработке рассказывается в Главе IV.

2.1 Проявление

Проявление оказывает значительное воздействие на фотографическое качество рентгеновских снимков. Чтобы результат был наилучшим, следует проявлять пленку в одних и тех же условиях. Об отдельных важных факторах будет рассказано в данном разделе.

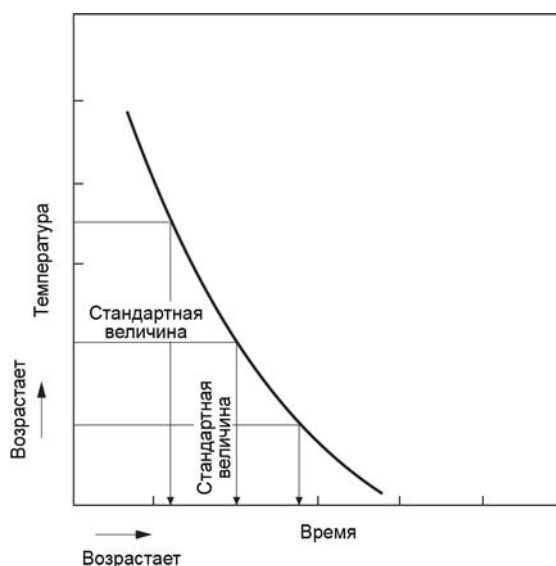
Температура проявителя и время проявки

Плотность изображения и контрастность радиографического снимка в значительной степени зависят от того, как долго и при какой температуре проявлялась пленка. Необходимо придерживаться указанной температуры проявителя (обычно это 20 °С для обработки вручную) и проявлять пленку строго в течение указанного времени. При повышении температуры проявителя результат напоминает тот, что получается при превышении времени проявления, и наоборот. В любом случае, однако, желательно, чтобы температура проявителя поддерживалась в пределах от 18 до 23 °С. Так как время проявления обычно зависит от марки проявителя, обязательно нужно соблюдать инструкции производителя. Технические условия по времени и температуре проявления для проявителя Fuji Hi rendol I составляют 5 минут и 20 °С.

Свойства проявления в зависимости от времени

Фотографические свойства рентгеновской пленки изменяются при модификации времени проявления, в то время как другие параметры процесса, такие как температура или смешивание, остаются неизменными. Чувствительность и контрастность повышаются в определенной степени, но контрастность может и уменьшиться из-за развития вуали или по иным причинам, а зернистость может стать более грубой, если будет превышено определенное время проявления. Даже если необходимо увеличить время проявления для того, чтобы увеличить светочувствительность и контрастность, не следует превышать максимальной длительности, составляющей 8 минут при температуре 20 °С. На Рис. 21 показано, как связаны между собой время проявления и фотографические свойства рентгеновской пленки.

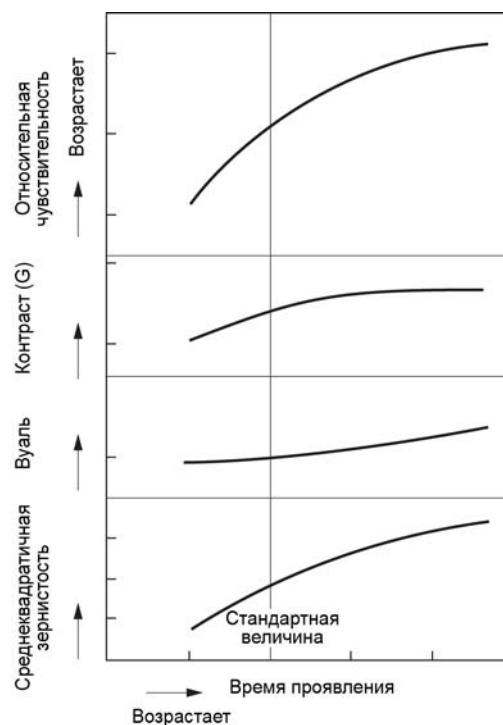
Рис. 20 Кривая зависимости температуры проявителя от времени



Перемешивание проявителя

Во время проявления либо сам раствор проявителя, либо подвешенная на крючках пленка совершают частые колебательные движения, чтобы эмульсия находилась в постоянном контакте со свежим раствором, тем самым достигается равномерность проявления. Если не покачивать пленку при проявлении, то раствор над темными участками снимка быстро потеряет рабочие свойства, и процесс проявления в этих участках остановится, в то время как над более светлыми участками проявитель не успеет потерять свои свойства, и процесс там будет продолжаться. В результате такой рентгеновский снимок получится мало контрастным. Перемещаясь из одного участка пленки к другому, потерявший свои свойства раствор влияет на общую скорость и равномерность проявления. Тщательное и равномерное встряхивание пленки во время проявления очень важно. При проявлении пленок в кювете нужно следить за тем, чтобы снимки не слипались, и покачивать кювету из стороны в сторону, достигая постоянного перемешивания и перераспределения раствора.

Рис. 21 Зависимость фотографических свойств рентгеновских пленок от времени проявления



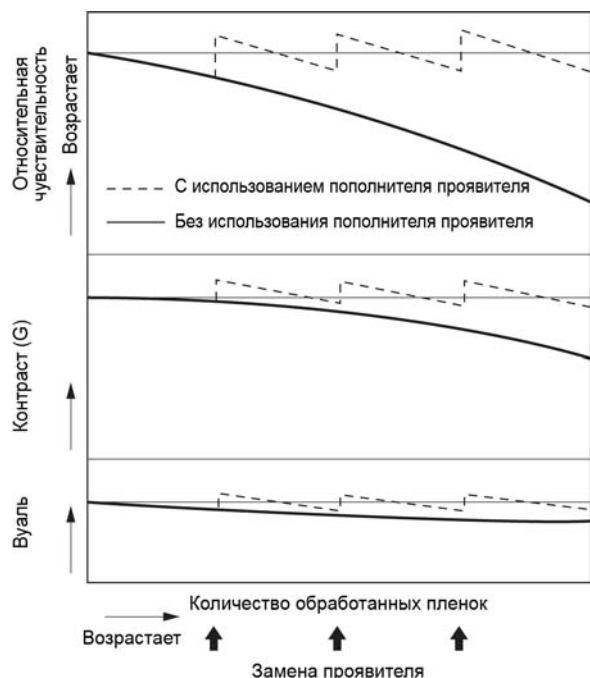
Ухудшение рабочих свойств проявителя и его замена

Если при приготовлении раствора проявителя не был точно выдержан объем воды, то свойства полученного проявителя будут отличаться от исходных, подразумеваемых техническими требованиями, что может привести к появлению вуали. Следовательно, важно точно отмерить объем воды. Однако следует помнить, что по мере использования даже правильно приготовленного проявителя его проявляющая способность уменьшается. Необходимо проверять пригодность раствора проявителя, для чего нужно вести записи о количестве и размере проявленных пленок, а также записывать срок приготовления раствора и следить за количеством дней использования.

Чтобы рентгеновские снимки получались одинаковыми по качеству, следует проверять условия использования проявителя и регулярно добавлять свежий раствор пропорционально количеству обработанных пленок. На Рис. 22 показан график, демонстрирующий, как добавление свежего проявителя влияет на фотографические свойства рентгеновской пленки. Частота пополнения раствора зависит от величины и количества проявляемых пленок и средней плотности изображения. Чем более плотное изображение и чем больше размер пленки, тем быстрее уменьшается проявляющая способность раствора, и наоборот. Ниже приводятся относительные площади пленок разного размера, при этом за единица (1) взята пленка размером 25,4 x 30,5 см (10 x 12 дюймов).

Размер пленки	Относительная площадь
35,6 x 43,2 см (14 x 17 ")	2
25,4 x 30,5 см (10 x 12 ")	1
11,4 x 43,2 см (4-1/2 x 17 ")	0,6
8,5 x 30,5 см (3-1/3 x 12 ")	0,3

Рис. 22 Влияние наполнителя проявителя на свойства рентгеновских пленок



Свежий проявитель нужно добавлять в небольших количествах и часто, чтобы уменьшить отклонения в проявляющей способности раствора для получения однородных результатов радиографии.

2.2 Стоп-ванна

Так как задача стоп-ванны состоит в прекращении действия проявителя при помощи уксусной кислоты, следует обратить особое внимание на то, что действие проявителя должно быть остановлено на всей поверхности пленки. Следует также проявлять осторожность, чтобы избежать резкого изменения степени набухания эмульсионного слоя. Чтобы удовлетворять этим условиям, стоп-ванна должна иметь постоянную температуру, близкую к температуре проявителя. Если температура проявителя составляет 20 °C, то температура стоп-ванны должна поддерживаться на уровне 15 -20 °C.

На протяжении примерно 15 секунд после погружения пленки в стоп-ванну она должна постоянно находиться в движении, как это делается для предотвращения неравномерности проявления. Следует соблюдать осторожность, чтобы пленки не слиплись друг с другом; общая длительность пребывания в стоп-ванне — около 30 секунд.

Работоспособность стоп-ванны проверяется pH-метром. Когда pH стоп-ванны превышает 6,0, ее нейтрализующая способность уменьшается в такой степени, что больше не может выполнять свои функции в должной мере. Нужно взять за правило заменять стоп-ванну, когда ее pH становится равным 5,5. Если по каким-либо причинам нет возможности приготовить стоп-ванну, то взамен уксуснокислой стоп-ванны можно использовать свежую проточную воду.

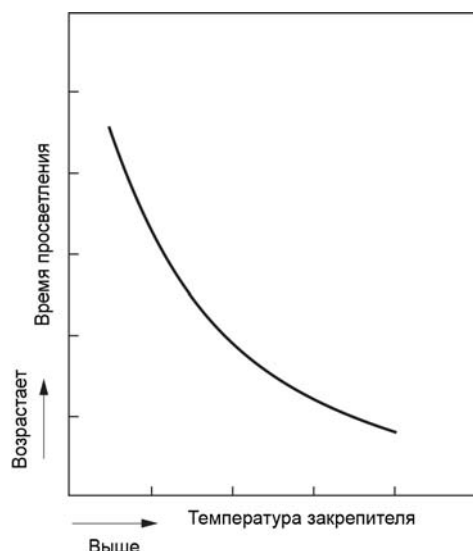
2.3 Закрепление

Без обработки закрепителем невозможно сохранить устойчивое изображение на экспонированной и проявленной рентгеновской пленке. Так как условия закрепления сильно влияют на стойкость рентгеновских снимков, следует уделять достаточное внимание соблюдению требуемых условий закрепления и строго следить за состоянием закрепителя.

Температура и время закрепления

Температура закрепителя не влияет в столь же значительной степени на скорость процесса, как это характерно для проявителя, но в целом время закрепления уменьшается по мере увеличения температуры закрепителя. Взаимосвязь температуры закрепителя и времени закрепления показаны на Рис. 23. Необходимо выдерживать температуру закрепителя ближе к температуре проявителя, чтобы из-за резкого перепада температур не пострадала эмульсия.

Рис. 23 Кривая зависимости температуры закрепителя от времени



Для закрепления необходимо вдвое больше времени, чем проходит с того момента, когда на погруженной в раствор закрепителя пленке эмульсия молочного цвета становится полностью прозрачной. Если не соблюдается нужное время закрепления, то на пленке остаются некоторые нерастворимые соли (комплексные тиосульфаты серебра). Если допустить наличие их остатка на пленке, они будут медленно разлагаться, воздействуя на изображение и приводя к изменению оттенка и побледнению. Даже если время закрепления превысит время просветления более чем вдвое, это не приведет к ухудшению качества обрабатываемых рентгеновских снимков. Поэтому рекомендуется дольше выдерживать пленку в растворе закрепителя, даже с риском превысить удвоенное время просветления, так как это дает дополнительную гарантию того, что снимок не выцветет и не побледнеет. Однако, с другой стороны, если пленку надолго оставить в закрепителе, плотность изображения уменьшится, а сам снимок приобретет коричневый оттенок. В зависимости от обстоятельств может также ухудшиться зернистость. Следует внимательно относиться к тому, чтобы не оставлять пленку в фиксажной ванне слишком долго и не забывать ее там.

Перемешивание закрепителя

Когда пленку переносят из стоп-ванны в закрепитель, в первые 10 секунд ее надо покачивать непрерывно, а затем - время от времени. Нужно следить за тем, чтобы пленки не слиплись друг с другом. Если стоп-ванна не делается (вообще же пропускать стоп-ванну не следует никогда - иначе это приведет к неравномерному проявлению пленок), и пленка непосредственно из проявителя переносится в закрепитель, или если она переносится в закрепитель после промывки проточной водой, в этом случае пленку нужно покачивать в растворе закрепителя в течение 30 секунд довольно сильно. Если делать это недостаточно сильно, закрепитель может подействовать неравномерно, а в случае потери раствором закрепляющих свойств может даже появиться дихроичная вуаль и пятна.

Закрепляющая способность

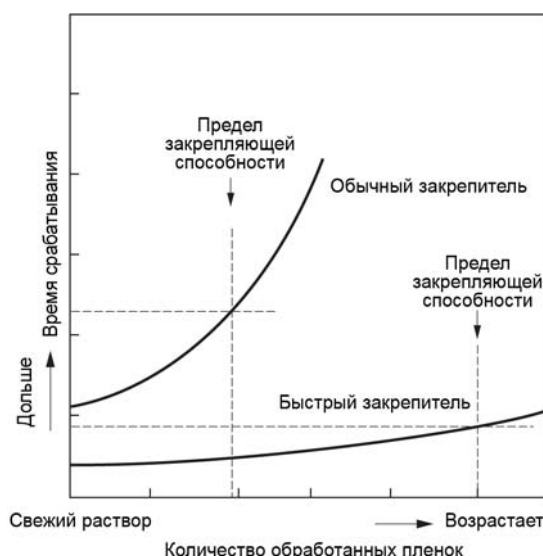
Обычно закрепитель не обновляют до тех пор, пока он не станет совсем непригоден. По мере использо-

вания закрепителя его отверждающая способность снижается до тех пор, пока время, необходимое для просветления эмульсии, не станет вдвое больше необходимого при использовании свежеприготовленного раствора. Когда достигается это критическое состояние, раствор закрепителя следует заменить. Если этого не сделать, хорошее закрепление не происходит, даже если пленку оставить в растворе закрепителя на время, более чем вдвое превышающее время просветления. Кроме того, такой закрепитель вызовет выцветание снимка или его побледнение.

Если в качестве быстродействующего закрепителя пользоваться тиосульфатом аммония, то не только уменьшается время просветления пленки, но и закрепляющая способность такого реактива более чем вдвое превышает закрепляющую способность обычного закрепителя. Предельное значение закрепляющей способности при использовании быстродействующих закрепителей легко может быть превышено, поскольку время просветления для них небольшое, даже когда для закрепления требуется вдвое больше времени, чем при использовании свежего раствора.

Однако, поскольку использование негодных закрепителей приводит к выцветанию или побледнению снимка, этого следует избегать. Время просветления и закрепляющая способность обычного и быстродействующего закрепителя сравниваются на Рис. 24.

Рис. 24 Время просветления и закрепляющая способность закрепителей



По мере того, как пленка за пленкой переносят растворы из предыдущей стадии обработки в фиксажную ванну, закрепитель теряет свои свойства. Количество перенесенных на пленку обработочных растворов заметно сказывается на эффективности закрепителя. Чем меньше такое количество, тем в меньшей степени пострадает закрепитель. Если пленку нужно хорошо осушить, то ее следует вынуть из раствора на достаточно длительный срок, а взаимодействие с воздухом может привести к ее выцветанию. Нельзя оставлять на воздухе пленку, смоченную какими-либо обрабатываемыми растворами, дольше, чем на 10 секунд.

Когда пленки снова и снова переносятся непосредственно из раствора проявителя в фиксажную ванну или промываются проточной водой и переносятся в

фиксирующую ванну без использования стоп-ванны, отверждающая способность закрепителя уменьшается весьма быстро, т.е. пленки могут быть легко поцарапаны или после промывки заметно увеличится время их сушки. Более того, в таких условиях проявление может продолжаться и в фиксирующей ванне, что может привести к появлению дихроичной вуали* и неравномерному закреплению изображения. В таких случаях необходимо заменить раствор закрепителя до того, как он потеряет свои закрепляющие свойства.

* Дихроичная вуаль

Этот тип вуали возникает при наличии следов проявителя в фиксирующей ванне. При просмотре в проходящем свете на пленке с дихроичной вуалью видны желтовато-коричневые пятна. При просмотре в отраженном свете пятна имеют голубоватый, зеленоватый или желтоватый оттенок с металлическим блеском.

2.4 Промывка

Тщательная промывка необходима для того, чтобы устранить обрабатывающие растворы и комплексные соли серебра (комплексные тиосульфаты серебра). Как это часто бывает, после закрепления пленке не уделяется должного внимания. Если допустить наличие остатков соли на пленке, они будут медленно разлагаться, воздействуя на изображение и приводя к его выцветанию и побелению.

Скорость протока промывной воды и ее температура

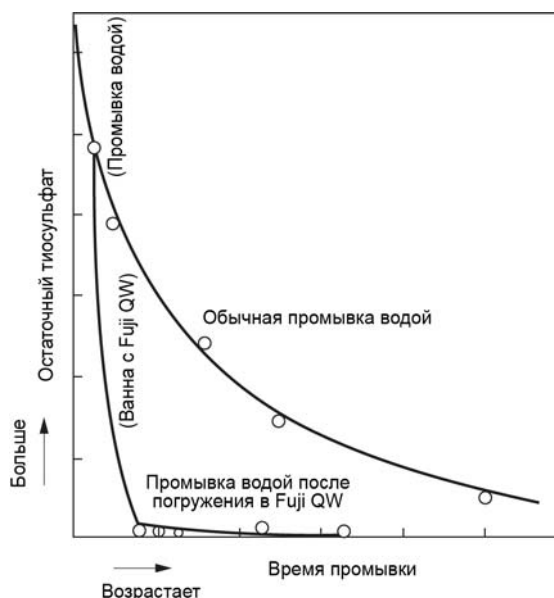
Чем быстрее течет вода, вступающая в контакт с эмульсией, тем скорее нежелательные вещества будут удаляться, и тем меньше времени нужно на промывку. Желательно, чтобы во избежание повреждения эмульсии температура промывной воды была чуть ниже, чем температура закрепителя. На практике, однако, нужно довольно много усилий для поддержания соответствующей температуры промывной воды. В идеале при температуре проявителя 20 °C температура промывной воды должна составлять 15-17 °C, но этот показатель сильно зависит от времени года. (Нередки колебания температуры воды от 30 °C в летнее время до 10 °C и ниже зимой). Если такие колебания имеют место, не остается ничего другого, как только изменить температуру стоп-ванны и закрепителя таким образом, чтобы они были ближе к температуре промывной воды, как показано на примере в Таблице 5.

Время промывки

Обработанная рентгеновская пленка должна промываться в проточной воде при 20 °C в течение 50 или более минут. Если используется ускоритель промывки Fuji QW, то промывать рентгеновскую пленку следует согласно инструкции.

После закрепления рентгеновскую пленку промывают в проточной воде 30 секунд. Затем погружают в раствор QW на 1-2 минуты и промывают в проточной воде в течение 5 минут.

Рис. 25 Время промывки и остаточное содержание тиосульфатов



На Рис. 26 показаны время промывки и количество остаточного тиосульфата после промывки с применением Fuji QW и без применения ускорителя.

2.5 Сушка

Сушить пленку нужно немедленно после промывки. Потёки и капли воды остаются на поверхности пленки, и, если их не убрать до начала высушивания, то области под ними будут сохнуть дольше, чем окружающие участки, что приведет к изменению плотности серебряного изображения и появлению пятен. Неравномерной сушки можно избежать, осторожно вытерев пленку перед началом сушки губкой или погружая ее в раствор увлажняющего вещества Fuji Drivel (Средство Drivel разбавляется водой в соотношении 1:200, пленку в него погружают перед сушкой на 30 секунд). Вентиляторная сушилка должна быть оснащена фильтром перед вентилятором на входе воздуха, а также обеспечивать температуру потока горячего воздуха вдоль пленки на уровне 45 -50 °C.

2.6 Стандартная процедура обработки и изменение температуры растворов в процессе обработки

Этапы обработки (температура 20 °C)

Проявление:	Hi-Rendol I или Rendol	5 минут
Стоп-ванна:	3% раствор уксусной к-ты	30 секунд
Закрепление:	Hi-Renfx I или Renfx	5-10 минут
Предварительная промывка:	Проточная вода	30 секунд
Ускоритель промывки:	Раствор Fuji QW	1-2 минуты
Промывка водой:	Проточная вода	5 минут
Сушка:	На воздухе или в сушилке	

Следует обратить внимание на то, чтобы разница температур между растворами была не более ± 5 °C. Если это значение будет превышено, то в отдельных местах эмульсия станет набухать, что вызовет появление трещин (ретикуляцию пленки).

Таблица 5. Примеры изменения температуры растворов при обработке пленки

	ПРОЯВИТЕЛЬ	СТОП-ВАННА	ЗАКРЕПИТЕЛЬ	ПРОМЫВНАЯ ВОДА
Лето	20 °С	22 – 25 °С	25 – 28 °С	30 °С
Зима	20 °С	18 – 15 °С	16 – 13 °С	10 °С

Таблица 6 Факторы, определяющие радиографическую контрастность

	ВЫСОКАЯ	←	КОНТРАСТНОСТЬ	→	НИЗКАЯ
Контрастность пленки (факторы, связанные с пленкой и ее обработкой)	Высокий	←	Уровень плотности	→	Низкий
	Интенсивное	←	Перемешивание проявителя	→	Слабое
	Незначительное	←	Истощение проявителя	→	Заметное
	Соответствующее	←	Время проявления	→	Слишком короткое или долгое
	Соответствующая	←	Температура проявителя	→	Слишком высокая или низкая
	Большая	←	Контрастность за счет проявителя	→	Малая
	Большая	←	Собственная контрастность пленки	→	Малая
Контрастность объекта (факторы, связанные с образцом и выдержкой)	Используется	←	Свинцовый экран	→	Не используется
	Используется	←	Фильтр	→	Не используется
	Ограниченное	←	Рассеяние излучения	→	Значительное
	Низкое	←	Напряжение	→	Высокое
	Большая	←	Разница в толщине образца на различных участках	→	Малая

Таблица 7 Факторы, определяющие радиографическую резкость

	ВЫСОКАЯ	←	РЕЗКОСТЬ	→	НИЗКАЯ
Факторы, связанные с проявкой, наличием флуоресцентного экрана и пленкой	Высокая	←	Контрастность пленки	→	Низкая
	Мелкая	←	Зернистость пленки	→	Грубая
	Соответствующая	←	Степень проявленности	→	Избыточная
	Мелкая	←	Зернистость флуоресцентного экрана	→	Грубая
Факторы, связанные с экспозицией	Отсутствует	←	Смещение рентгеновского оборудования	→	Значительное
	Отсутствует	←	Движение объекта	→	Значительное
	Хороший	←	Контакт между экраном и пленкой	→	Плохой
	Короткое	←	Расстояние от предмета до пленки	→	Длинное
	Длинное	←	Расстояние от фокуса до пленки	→	Короткое
	Маленькая	←	Фокальная поверхность	→	Большая
	Тонкий	←	Толщина образца	→	Толстый
	Низкое	←	Напряжение	→	Высокое

3. ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ПРИГОДНОСТЬ РЕНТГЕНОВСКИХ СНИМКОВ

К факторам, определяющим пригодность рентгеновских снимков, относятся контрастность, резкость и плотность.

3.1 Контрастность

Под контрастностью понимают разницу между максимальной и минимальной плотностью изображения на снимке.

Этот термин также может относиться к степени изменения плотности изображения на снимке. Контрастность рентгеновского снимка выражается сочетанием контрастности пленки и объекта съемки.

3.2 Резкость

Факторы, влияющие на резкость изображения рентгеновского снимка, перечислены в Табл.7.

При возрастании напряжения зерно серебра становится более грубым, и это особенно заметно при использовании флуоресцентных экранов. Эти факторы следует учитывать при рентгеновской съемке, проводимой для изучения мелких деталей снимаемого объекта.

3.3 Плотность

Для снимков, используемых в неразрушающих методах исследований важно иметь плотность изображения, выдержанную на одном уровне. При повышении плотности изображения у незкранируемых пленок возрастает разрешение.

3.4 Увеличение и искажение изображения

Изображение на рентгеновском снимке может быть увеличено или искажено в зависимости от геометрического расположения источника излучения, образца и пленки. Случаи увеличения и искажения изображений приведены в Таблице 8.

4. ХРАНЕНИЕ ПЛЕНКИ И ФОТОЛАБОРАТОРИЯ

4.1 Хранение рентгеновской пленки и уход за ней

Неэкспонированная рентгеновская пленка легко подвергается отрицательному воздействию химических веществ, тепла, влаги, механического давления, видимого света и излучения, такого как рентгеновские или гамма-лучи, требуя крайней осторожности при хранении и обращении, а также тщательного выбора мест хранения.

а. Как правило, промышленные рентгеновские пленки хранятся вблизи источника излучения, подготовленными к использованию по назначению, но по этой причине они более чувствительны к радиоактивному излучению, чем другие виды светочувствительных материалов. При хранении неэкспонированных рентгеновских промышленных пленок первое место по важности занимает вопрос организации адекватной защиты фотоматериалов от радиации. При хранении неэкспонированных пленок и кассет в помещении, где производится рентгеновская съемка, их следует помещать в контейнеры, выложенные свинцом. Фотолаборатория должна быть отделена от помещения для рентгеновской съемки или от источника излучения стенкой, способной полностью отсечь излучение.

б. Так как промышленные рентгеновские пленки весьма чувствительны к воздействию тепла и влаги, для их хранения следует выбрать сухое и прохладное помещение. Температура хранения должна поддерживаться на уровне 10-15 °С. Промышленные рентгеновские пленки Fuji уложены в разделительные бумажные футляры и упакованы в свето- и водонепроницаемые конверты, так что, оставаясь в упаковке,

они в какой-то мере защищены от влаги. Однако стоит вынуть пленку из упаковки, как эмульсия начинает впитывать влагу, и это продолжается до тех пор, пока влажность пленки не сравняется с содержанием влаги в окружающем воздухе. Влажность воздуха при работе с промышленной рентгеновской пленкой должна составлять 60-70%. С другой стороны, нельзя хранить промышленную рентгеновскую пленку в слишком сухом месте, так как на ней в этом случае будет скапливаться статический заряд, что вызовет появление следов на снимках. Вынутую из конверта промышленную рентгеновскую пленку необходимо плотно обернуть в воздухо непроницаемое виниловое защитное покрытие и хранить на холоде. За несколько часов до использования пленку вынимают и выдерживают до достижения комнатной температуры. Если температура пленки не будет близка к температуре окружающей среды, влага может сконденсироваться на ней.

с. Контакт с полированными металлическими и окрашенными поверхностями, растворителем, перекисью водорода, угольным газом, сероводородом, аммиаком, парами ртути, формалином, выхлопными газами двигателя, ацетиленом и скипидаром может привести к появлению вуали на промышленной рентгеновской пленке. Необходимо принять меры для предупреждения такого явления (оно называется «ложной засветкой»).

д. Сильное трение приводит к появлению трещин на эмульсии, что на готовом снимке проявляется в виде черных линий. Тень в виде полумесяца, обычно называемая «загибом», проявляется на снимке, если пленку сгибают или складывают пополам. Как правило, загиб неэкспонированной пленки приводит к появлению участка с меньшей плотностью материала по сравнению с окружающим его периметром, а загиб экспонированной пленки вызывает появление более плотного пятна. Подобное же действие оказывает механическое давление. Во избежание появления на пленке следов от пальцев, испачканных химикатами для проявки, нужно носить тонкие мягкие хлопчатобумажные перчатки. Перчаток, изготовленных из синтетического волокна или из смешанных натурально-синтетических материалов, следует избегать, так как от них могут возникнуть статические разряды, оставляющие на пленке следы.

Таблица 8. Увеличение и искажение изображения

НЕЗНАЧИТЕЛЬНОЕ	←	УВЕЛИЧЕНИЕ И ИСКАЖЕНИЕ	→	ЗНАЧИТЕЛЬНОЕ
Небольшое	←	Расстояние от предмета до пленки	→	Большое
Большое	←	Расстояние от фокуса до пленки	→	Небольшое
Тонкий	←	Толщина образца	→	Толстый
Прямой угол	←	Угол между центром пучка рентгеновских лучей и плоскостью образца и пленки	→	Непрямой

4.2 Обустройство фотолaborатории

Площадь фотолaborатории обычно определяется, исходя из предполагаемого объема выполняемых в ней работ, но, в целом, высокая эффективность деятельности может быть достигнута, когда в ней достаточно места для одновременной работы троих человек. Фотолaborатория должна быть полностью изолирована от воздействия излучений. Внутреннюю поверхность фотолaborатории отделывают материалом, стойким к технологическим реактивам и позволяющим мыть водой на тех участках, где она используется. Стены окрашивают в светлый тон, хорошо отражающий безопасный свет лабораторного фонаря. Стены лабиринта окрашиваются в матово-черный цвет для поглощения отраженного света, а на уровне глаз проводится белая линия, чтобы облегчить ориентирование при входе и выходе. Также необходим вентилятор, направляющий воздух из сухой зоны во влажную, а затем наружу. В фотолaborатории оборудуется тамбур или лабиринт, которые служат эффективными светоловушками.

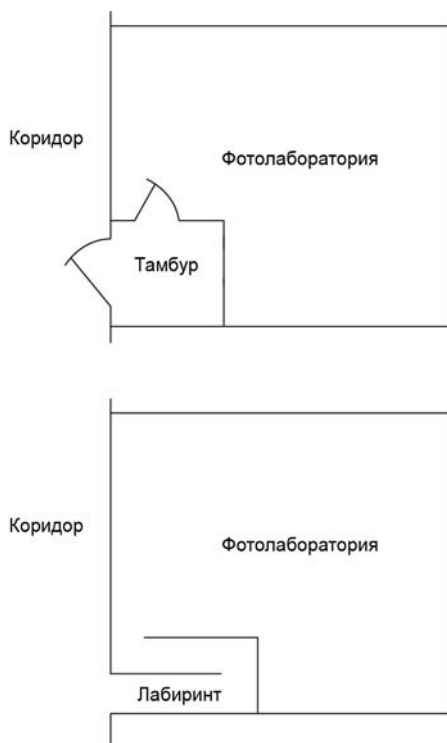
Желательно иметь отдельную комнату для зарядки пленки и другую – для ее обработки. Если зарядка пленки и ее обработка выполняются в одном и том же помещении, то влажную зону следует располагать напротив сухой. Если фотолaborатория достаточно велика для того, чтобы в ней можно было оборудовать помещения для зарядки и проявки пленки, при этом следует соблюдать следующие меры предосторожности.

Помещение для зарядки пленки (сухая зона)

В помещении для зарядки пленки должны быть емкости с пленкой, хранилище кассет и адаптеров, а также стол для зарядки.

Помещение для зарядки пленки должно всегда содержаться в чистоте, там не допускается наличие воды и химикатов для проявки пленки.

Рис. 26 Светоловушки в фотолaborаториях



Лаборатория обработки пленки (Влажная зона)

Для лучшей организации обработки пленки в этом помещении необходимо обеспечить наличие бачков для проявки и промывки пленки, стойки для ее просушки и рабочие столы. Так как в горячей и влажной атмосфере проявочной быстро развиваются бактерии, в помещении необходимо установить приточно-вытяжную вентиляцию. Для сушки воздуха может также понадобиться кондиционер.

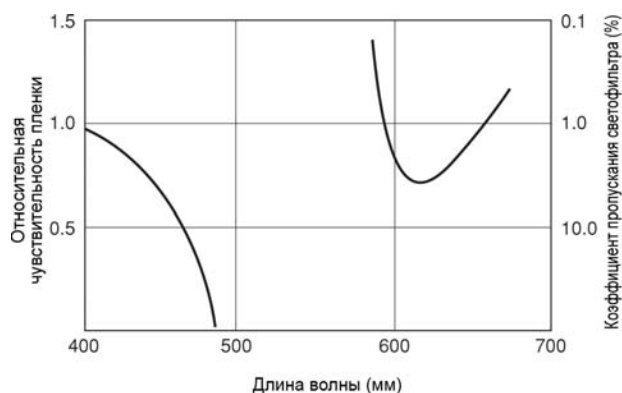
4.3 Безопасное лабораторное освещение

Для безопасного освещения лаборатории следует использовать свет, спектральные свойства которого не воздействуют на пленку. Для использования в фотолaborатории в качестве безопасного предлагается светофильтр Fuji Safelight Filter SLG 8U темного красно-оранжевого цвета. Взаимосвязь между спектральной чувствительностью промышленной рентгеновской пленки Fuji и коэффициентом светопропускания светофильтра безопасного освещения Fuji Filter SLG 8U показана на Рис. 27. Работать с промышленной рентгеновской пленкой нужно на расстоянии не менее 1 метра от источника безопасного света с фильтром Fuji Filter SLG 8U, в который вставляется 15- или 20-ваттная лампочка с питанием от сети напряжением 100 вольт. При нормальных условиях безопасный свет можно включать на 10-15 минут без риска повредить рентгеновскую пленку.

Безопасность освещения определяется описанным далее образом. Лист рентгеновской пленки помещают на рабочий стол в нормальном рабочем положении и прикрывают черной бумагой. Затем черную бумагу сдвигают понемногу через каждые 5 минут, открывая пленку для воздействия безопасного света, при этом часть пленки остается неэкспонированной. Потом пленку обрабатывают в стандартных условиях, после чего по проявленной пленке можно определить, сколько времени при безопасном освещении она может пробыть без риска появления вуали.

Светофильтры безопасного освещения проверяются каждые шесть месяцев на обесцвечивание или побледнение и при необходимости меняются, так как из-за воздействия тепла ламп накаливания, влажности и химикатов стекло может выцвести или побледнеть.

Рис. 27 Спектральные характеристики промышленной рентгеновской пленки Fuji и безопасного светофильтра SLG 8U



4.4 Проявочные бачки

Растворы для обработки пленки – кислые или щелочные, поэтому проявочные бачки должны быть стойкими к воздействию кислот и щелочей. Подходящими материалами являются нержавеющая сталь, пластик или эмалированная лабораторная посуда.

Низкая теплопроводность пластиков позволяет сохранять подогретые растворы реактивов теплыми, но при этом нет возможности быстро подогреть или охладить такие растворы за счет внешнего воздействия. Нержавеющая сталь находит в этом случае широкое применение, так как она достаточно хорошо сопротивляется коррозии и позволяет легко изменять температуру растворов.

Относительные размеры бачков:

Проявочный бачок	2
Фиксажный бачок	3–4
Бачок для промывки	5–6
Бачок для стоп-ванны	1

IV. АВТОМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

За последние несколько лет потребность промышленности в быстрых методах неразрушающих исследований возросла. Оборудование, разработанное для решения различного рода проблем, связанных со сложностью обработки промышленных рентгеновских пленок, становится все более распространенным. Обработка «от сухого к сухому», которая в ручном режиме выполнения занимает час, при использовании автоматической проявочной машины длится всего пять минут. Более того, автоматическая проявка может снижать неоднородность качества рентгеновских снимков. Однако сама по себе проявочная машина не может обеспечить такие замечательные результаты без использования хорошей пленки и реактивов. В этой главе рассказывается об основах автоматической обработки пленки с точки зрения проявочных машин, самой пленки и реактивов.

1. АВТОМАТИЧЕСКАЯ ПРОЯВОЧНАЯ МАШИНА

До недавнего времени проявка рентгеновских пленок в основном выполнялась вручную, но этот процесс постепенно вытесняется автоматической обработкой. Автоматическая обработка требует тщательного контроля аппарата и растворов, применяемых для обработки, но обладает множеством преимуществ по отношению к обработке вручную. Помимо устранения неоднородности качества рентгеновских снимков, автоматическая проявочная машина не занимает много места, помогает поддерживать фотолабораторию в чистоте, легко устанавливается и значительно экономит время и трудозатраты при проявке. Как правило, в качестве транспортера для пленки используется система роликов. На Рис. 28 показано устройство проявочной машины Fuji FIP 7000 (в разрезе).

1.1 Быстрое получение готовых рентгеновских снимков при помощи автоматической обработки

Для быстрого получения готовых рентгеновских снимков путем автоматической обработки используются следующие методы.

Повышение температуры обрабатывающего раствора

Протекание химических реакций ускоряется при относительно высокой температуре проявочных растворов.

Усиленная подача химических растворов к поверхности пленки

Проявочные растворы наносятся на поверхность пленки через мелкие форсунки или струйный распылитель, при этом сами растворы принудительно циркулируют в проявочной емкости (бачке), хорошо перемешиваются и находятся в постоянном подвижном контакте с поверхностью пленки. Эти методы облегчают протекание химических реакций между эмульсией и проявочными реактивами.

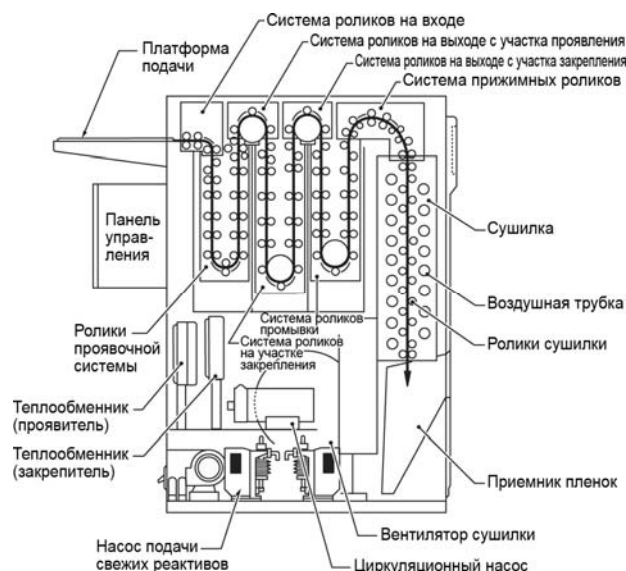
Повышение взаимодействия между пленкой и реактивами за счет прижимного действия роликов

Пленка непосредственно контактирует с транспортными роликами, которые не только прижимают ее, но и вдавливают проявочные реактивы в поверхность пленки, что облегчает протекание химических реакций.

1.2 Автомат для обработки промышленных рентгеновских пленок

В качестве примера в Таблице 11 приведены стандартные условия обработки пленки в автомате Fuji FIP 7000. Качество результатов, полученных в проявочном автомате Fuji FIP 7000 (с реактивом Superdol I), может несколько отличаться от проявки в бачке с реактивом Fuji Hi-Rendol I, это зависит от типа используемой пленки.

Рис. 28 Вид проявочного автомата Fuji FIP 7000 в разрезе



Автомат для проявки промышленных пленок Fuji FIP 7000



Таблица 9 Условия ручной и автоматической проявки пленок

	ПРОЯВЛЕНИЕ	СТОП-ВАННА	ЗАКРЕПЛЕНИЕ	ПРОМЫВКА	КОНЕЧНАЯ ВАННА	СУШКА	ВСЕГО
РУЧНАЯ ОБРАБОТКА	20 °C	20 °C	20 °C	20 °C	20 °C	40 °C	
	5 минут	30 секунд	5 минут	50 минут	30 секунд	30 минут	91 минута
АППАРАТ FUJI FIP 7000	30 °C	—	31 °C	31 °C	—	Прибл. 45 °C	
	1 мин. 00 сек.	—	1 мин. 05 сек.	1 мин. 00 сек.	—	50 сек.	5 мин. 45 сек.
	23 °C	—	31 °C	Макс. 35 °C	—	Прибл. 45 °C	
	2 минуты	—	2 мин. 10 сек.	2 минуты	—	1 мин. 40 сек.	11 мин. 30 сек.

1.3 Меры предосторожности при автоматической обработке

При автоматической обработке пленки необходимо постоянно соблюдать все обязательные условия, указанные в таблице 10. Следует обеспечить строгий технологический контроль посредством периодиче-

ских замеров, чтобы избежать отклонений в температуре растворов, расходе возобновляемых реактивов и проточной воды. Все основные проверки, которые необходимо осуществлять при работе проявочного автомата Fuji FIP 7000, указаны в Таблице 11.

Таблица 10 Условия обработки в проявочном аппарате Fuji FIP 7000

ФАКТОР		УСЛОВИЯ ОБРАБОТКИ	
		(5-минутная обработка)	(11-минутная обработка)
ПРОЯВЛЕНИЕ	Проявитель	Superdol 1 (25 мл на литр исходного раствора Superdol SI)	
	Температура проявителя	30 °C	23 °C
	Время проявления	1 минута	2 минуты
	Объем бачка с проявителем	30 литров	
	Периодичность пополнения	65 мл/каждые 4 листа пленки размером 8,5 x 30,5 см	
ЗАКРЕПЛЕНИЕ	Закрепитель	Super FI	
	Температура закрепителя	31 °C	
	Время закрепления	1 минута 05 секунд	2 минуты 10 секунд
	Объем бачка с закрепителем	24 литра	
	Периодичность пополнения	200 мл /каждые 4 листа пленки размером 8,5 x 30,5 см	
ПРОМЫВКА	Расход воды на промывку	10 л/мин	
	Температура промывной воды	31 °C	
	Время промывки	1 минута	2 минуты
СУШКА	Температура сушки	Прибл. 45 °C	
	Время сушки	50 секунд	1 минута 40 секунд
СКОРОСТЬ ОБРАБОТКИ	Скорость перемещения пленки	60 см/мин	30 см/мин
	Производительность аппарата	400 листов в час (пленка размером 8,5 x 30,5 см)	200 листов в час (пленка размером 8,5 x 30,5 см)

Таблица 11 Таблица проверок для проявочного аппарата Fuji FIP 7000

	ПРОВЕРКА	ПРОЦЕДУРА	НАСТРОЙКА
ПРОЯВОЧНЫЕ РАСТВОРЫ	Измерить периодичность пополнения проявителя и закрепителя	Вынуть скобу из наполнительного отверстия и взять пробу вещества.	Отрегулировать периодичность пополнения при помощи регулятора.
	Измерить температуру растворов проявителя, закрепителя, воды и воздуха в сушке	Снять показания термометров и измерить температуру в бачках.	Отрегулировать термостаты и при необходимости изменить настройки температуры.
РЕНТГЕНОВСКАЯ ПЛЕНКА	Проверить фотографические свойства полученных снимков.	Провести проверочное экспонирование при помощи сенситограммы или технологическое экспонирование, чтобы констатировать фотографические свойства готовых рентгеновских снимков.	Откорректировать объем начального раствора, температуру проявителя и скорость восполнения проявителя.
	Проверить другие результаты обработки	- Проверить фиксирующую способность закрепителя (путем измерения скорости закрепления) - Проверить условия сушки - Проверить состояние эмульсии.	Откорректировать температуру закрепителя и периодичность его пополнения. Откорректировать расход промывной воды. Откорректировать температуру сушки.

2. ТРЕБОВАНИЯ К РЕНТГЕНОВСКОЙ ПЛЕНКЕ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Промышленная рентгеновская пленка, предназначенная для автоматической обработки, должна отвечать следующим требованиям.

Повышенная приспособленность к быстрой обработке

Несмотря на успешное проявление изображения, рентгеновские снимки могут со временем выцвести или изменить цвет, если процесс закрепления, промывки или сушки не был проведен как следует. Пленки, обрабатываемые в автоматических проявочных машинах, должны отвечать специальным требованиям, которые не обязательны для обычных рентгеновских промышленных пленок. Например, слой эмульсии для них должен быть тоньше, а сама эмульсия должна реагировать с проявочными растворами быстрее.

Повышенная прочность эмульсионного слоя

Все преимущества быстрой обработки будут напрасны, если полученные рентгеновские снимки будут по качеству хуже тех, которые получаются при проявке вручную. При повышении температуры раствора увеличивается также степень смягчения и набухания эмульсии, т.е. пленка должна выдерживать более суровые физические условия и давление, создаваемое роликами. Поэтому эмульсионный слой промышленных рентгеновских пленок, предназначенных для автоматической проявки, должен быть достаточно прочным для того, чтобы выдерживать суровые условия обработки.

Введение полиэфирной основы

Прошло более десяти лет с тех пор, как легковоспламеняемый нитрат целлюлозы в качестве основы пленки был заменен негорючим ацетатом целлюлозы. Позже, по мере развития промышленности по производству пластических масс, и в связи с появлением автоматических проявочных машин в коммерческую эксплуатацию поступили и материалы на полиэфирной основе. В качестве основы полиэфирные материалы имеют несколько преимуществ. Они отличаются толщиной и большой прочностью. Так как они не гигроскопичны, то коэффициент сжатия/расширения очень незначителен. Эти характерные свойства полиэфиров в качестве основы пленок чрезвычайно важны при быстрой обработке в проявочных машинах.

3. РЕАКТИВЫ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

В некотором отношении реактивы для использования в автоматических машинах отличаются по составу от тех, что применяются при ручной обработке. Наиболее явное отличие состоит в том, что реактивы для автоматической обработки содержат вещества, предохраняющие пленку от механического давления и пятен от роликов. Реактивы для автоматической обработки пленки выпускаются в виде концентрированных растворов, и для простоты их применения используется система предварительного разбавления.

В данном разделе обсуждаются основные требования, которым должны отвечать реактивы для автоматической обработки.

Быстрое протекание реакции и восстановление активности

При автоматической обработке и проявление, и закрепление должны протекать быстро и завершаться в течение приблизительно полутора минут. Растворы для обработки должны быстро восстанавливать свои свойства при пополнении в количестве, пропорциональном количеству обработанных пленок, чтобы результаты проявки были постоянными по качеству.

Пригодность для высокотемпературной обработки

Все реактивы работают при высокой температуре, поэтому их состав должен быть таким, чтобы повышение температуры не сказывалось отрицательно на их эффективности.

Способность работать длительное время

Обычно проявочные растворы используются в устройствах автоматической проявки пленки в течение длительного периода без замены. На протяжении этого срока проявочные растворы должны демонстрировать устойчивое качество работы и не загрязнять бачки, роликовые системы и пленку.

3.1 Контроль состояния проявочных растворов

Весьма редко бывает так, чтобы реактивы, даже произведенные в совершенно одинаковых условиях, имели бы абсолютно одинаковые свойства. На практике свойства их более или менее отличаются. Поэтому неизбежно некоторое отличие в качестве рентгеновских снимков, получаемых при автоматической обработке пленки. На качество получаемых рентгенографических снимков влияют следующие факторы, что требует сведения к минимуму их изменения при контроле состояния проявочных растворов.

3.2 Контроль состояния проявителя

Как и при обработке вручную, активность раствора проявителя поддерживается на постоянном уровне за счет добавления свежего раствора. Степень расхода действующего вещества проявителя может отличаться в зависимости от типа проявочной машины, средней плотности рентгеновского снимка и качества воды, даже если количество обработанных пленок остается неизменным.

Хотя в различных фотолабораториях используются одни и те же скорости возобновления проявителя, остается только удивляться тому, что в разных ситуациях активность проявителя изменяется по-разному. Поэтому в каждой отдельной лаборатории следует контролировать активность проявителя в соответствии с конкретными местными условиями. Проверять состояние проявителя можно различными методами, но в радиографии обычно применяют сенситометрический и денситометрический способы из-за их большой практической важности.

Сенситометрический метод

Этот метод позволяет добиться высочайшей точности контроля. Контрольная пленка, поэтапно экспонированная видимым светом или рентгеновским излучением, проявляется в заранее заданных условиях, по этой пленке строится характеристическая кривая. На ней графически отображаются характеристические свойства пленки (светочувствительность, контрастность и вуаль).

Если эти показатели отличаются от обычных, то принимаются необходимые меры, чтобы восстановить качество проявителя. На практике характеристические величины, полученные на свежем проявителе, используются в качестве стандарта, а контрольную пленку проявляют после того, как обработано определенное количество пленок, или в начале каждой рабочей смены (после того, как стабилизируются условия обработки после подготовки проявочной машины). Результаты проявки контрольной пленки сравниваются со стандартными, чтобы в случае отклонения можно было принять меры для стабилизации качества проявителя.

Денситометрический метод

В денситометрическом методе также используются контрольные пленки, как и в сенситометрическом. Плотность определенного участка с высокой степенью засветки используется для построения контрольного графика. Контрольная пленка обрабатывается в те же временные периоды, когда проводится сенситометрический контроль.

3.3 Контроль состояния закрепителя

Потерявший свои свойства раствор проявителя отрицательно сказывается на стойкости готовых рентгеновских снимков. Необходимо регулярно проверять, не ослабел ли раствор закрепителя, и пополнять его свежим веществом, чтобы химическая активность сохранялась на постоянном уровне.

Рис. 29 Качество готовых рентгеновских снимков



Контроль состояния закрепителя путем определения остаточного содержания солей серебра

Для определения активности закрепителя необходимо измерить количество солей серебра, оставшихся на пленке после закрепления. Берется кусочек прозрачной неэкспонированной полностью проявленной пленки, и измеряется его оптическая плотность. Затем этот кусочек подвергают испытанию при условиях, изложенных ниже. Если на нем остались соли серебра, они превращаются в сульфид серебра и окрашивают пленку в коричневый цвет. Оптическую плотность обработанной и необработанной пленки измеряют через голубой светофильтр. Если разница оптических плотностей, полученных для этой прозрачной пленки до обработки в исследуемом растворе и после обработки, меньше или равна 0,03 единиц, считается, что раствор закрепителя достаточно активен.

ХОД ИСПЫТАНИЯ

Формула контрольного раствора

Вода	100 мл
Сульфид натрия	2 грамма

Контрольный раствор следует хранить в плотно закупоренном сосуде не более одного месяца. При использовании его разбавляют водой в соотношении 1:9; разбавленным раствором можно пользоваться не дольше недели.

Порядок проверки

Выдержка в растворе	3 минуты
↓	
Промывка	10 минут
↓	
Сушка	

3.4 Контроль качества промывной воды

Расход воды, температура и качество промывной воды – очень важные факторы, влияющие на качество рентгеновских снимков при автоматической обработке пленки, когда промывка заканчивается довольно быстро. Обычно требуется поддерживать расход на уровне 10 литров в минуту или более, хотя в целом это зависит от типа проявочной машины. В целом эффективность промывки тем выше, чем больше расход воды, в то время как длительность промывки может быть сокращена за счет повышения температуры воды. Эффективность процесса промывки оценивается посредством измерения количества тиосульфата серебра, остающегося на пленке после промывки, для чего используется один из четырех указанных ниже методов. Обычно на практике, однако, гораздо чаще используется метод с применением нитрата серебра, поскольку он обеспечивает большую точность и более прост в исполнении.

- Метод с применением перманганата калия
- Йодный метод
- Метод с применением нитрата серебра
- Метод с использованием дихлорида ртути

Метод с использованием нитрата серебра

Для испытаний берут прозрачную часть полностью проявленной неэкспонированной пленки, отрезают кусочек и измеряют его оптическую плотность. Затем кусочек подвергают обработке нитратом серебра в указанных условиях, его плотность измеряют с голубым фильтром. Если оптическая плотность пленки до и после погружения в раствор нитрата серебра отличается не более чем на 0,05 единиц, считается, что процесс промывки достаточно эффективен.

ХОД ИСПЫТАНИЯ

Формулы контрольных растворов

Раствор А	Вода	700 мл
	Ледяная уксусная кислота	30 мл
	Нитрат серебра	10 граммов
	Долить водой до необходимого уровня	1000 мл
Раствор В	Вода	700 мл
	Хлорид натрия	50 граммов
	Долить водой до необходимого уровня	1000 мл
Раствор С	Вода	700 мл
	Тиосульфат натрия	50 граммов
	Сульфит натрия	19 граммов
	Долить водой до необходимого уровня	1000 мл

Порядок проверки

Раствор А	4 минуты
↓	
Раствор В	4 минуты
↓	
Раствор С	4 минуты
↓	
Промывка	5-10 минут
↓	
Сушка	

- * Плотность пленки после каждого такого испытания в растворе следует определять быстро, так как под воздействием видимого света она потемнеет.

V. ПРИМЕРЫ ПРОБЛЕМ, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ ОБРАБОТКЕ ПЛЕНКИ

ПРОБЛЕМЫ, ВОЗНИКАЮЩИЕ ПРИ ХРАНЕНИИ

Вуаль от света

Признаки

На рентгеновском снимке видна вуаль, по форме совпадающая с текстурой бумаги, которой прослаивают пленки.

Возможная причина

Пленка попала под действие света, будучи упакованной в бумагу.

Меры для исправления

1. Проверить, нет ли засветки в фотолаборатории.
2. Проверить, нет ли щелей, через которые проникает свет, в коробке для хранения рентгеновской пленки.
3. Прежде, чем включать в лаборатории обычное освещение, возьмите за правило проверять, лежит ли пленка на лабораторном столе.
4. После использования проверяйте, закрыт ли корпус держателя пленки.

Радиационная вуаль

Признаки

На рентгеновском снимке проявляется тень неожиданного объекта или отпечаток свинцовой фольги, вставленной в корпус держателя пленки.

Возможная причина

Во время хранения пленка подверглась воздействию рентгеновских или гамма-лучей.

Меры для исправления

Держать рентгеновскую пленку в коробке, покрытой свинцовой фольгой, и хранить ее в месте, свободном от излучения.

ПРОБЛЕМЫ, СВЯЗАННЫЕ С ВОЗДЕЙСТВИЕМ БЕЗОПАСНОГО СВЕТА

Вуаль от безопасного освещения

Признаки

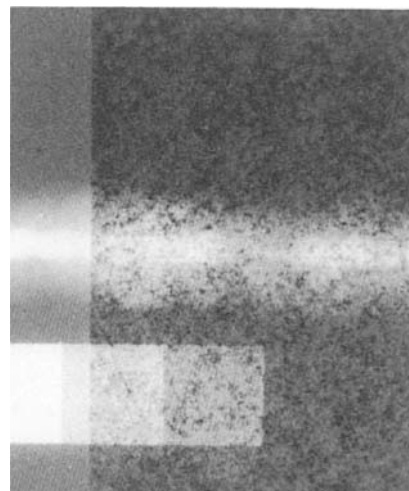
На рентгеновском снимке появляется односторонняя вуаль или тени в форме букв.

Возможные причины

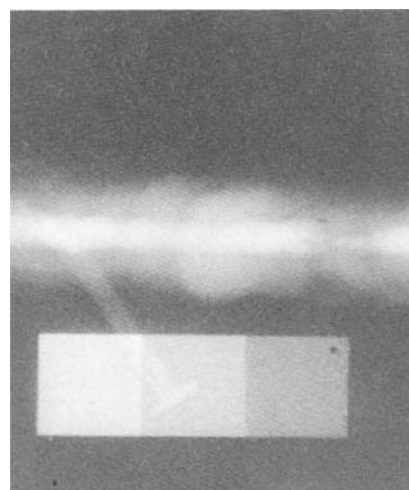
1. Из щели корпуса безопасного светильника пробивается белый свет.
2. Пленка находилась под воздействием безопасного света слишком долго или была расположена слишком близко к светильнику.
3. Пленка длительное время находилась под воздействием безопасного света или была расположена слишком близко к светильнику.
4. В безопасный светильник вставлена лампа большей мощности, чем стандартно предусмотрена для этой цели.

Меры для исправления

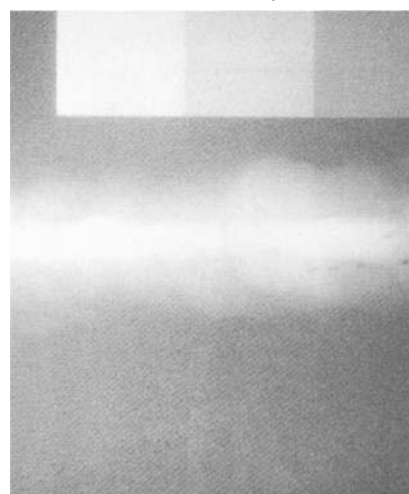
1. Периодически нужно проверять светофильтр (раз в полгода или в год) и менять его, если он выцвел.
2. Необходимо соблюдать требования к безопасному свету, такие как предусмотренная мощность лампы и расстояние от светильника до пленки, а также проводить работы при безопасном освещении как можно быстрее.
3. Периодически нужно проверять, соблюдаются ли нормальные предусмотренные условия работы безопасного светильника.



Вуаль от света



Радиационная вуаль



Вуаль от безопасного освещения

ПРОБЛЕМЫ, СВЯЗАННЫЕ С ОБРАЩЕНИЕМ ДО ПРОЯВЛЕНИЯ

Грязь или пятна на экране

Признаки

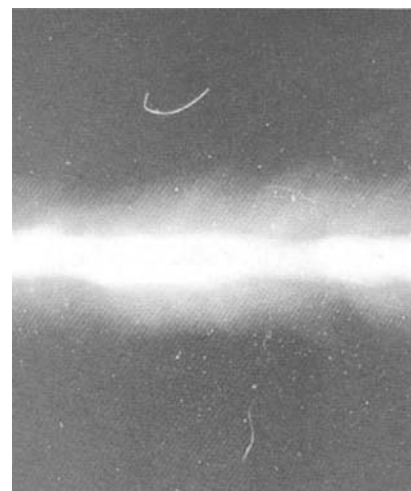
На рентгеновском снимке видны неровной формы светлые пятна.

Возможная причина

На усиливающих экранах появились пятна или грязь.

Меры для исправления

1. Необходимо содержать усиливающие экраны в сухости и чистоте.
2. Время от времени нужно протирать усиливающие экраны чистящим средством



Пятна на рентгеновском снимке

Признак 1

На снимке видны темные пятна с относительно небольшой плотностью

Возможная причина

На пленку попали брызги воды.

Признак 2

На снимке видны темные пятна с высокой плотностью

Возможная причина

На пленку попали брызги проявителя.

Признак 3

На снимке видны темные и светлые пятна с относительно небольшой плотностью

Возможная причина

На пленку попали брызги раствора из стоп-ванны.

Признак 4

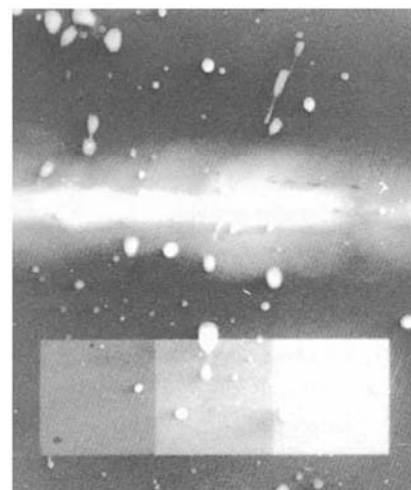
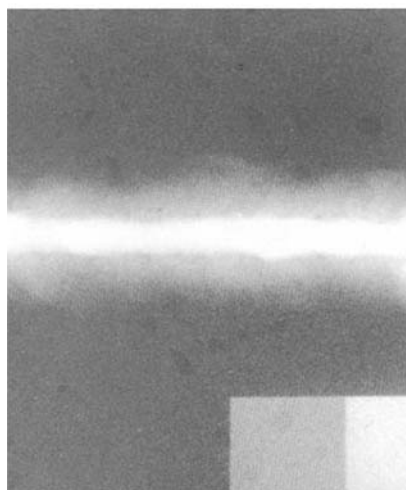
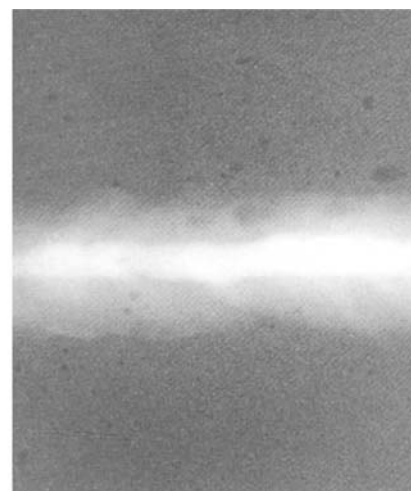
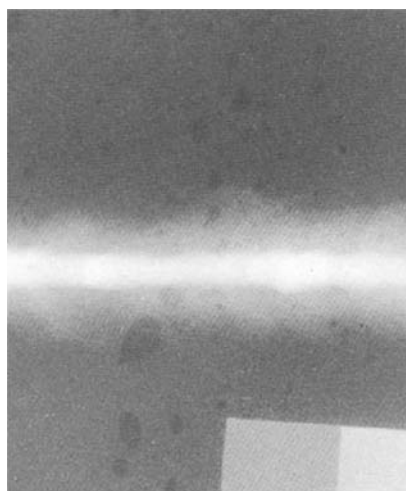
На снимке видны слабо проявленные светлые пятна

Возможная причина

На пленку попали брызги закрепителя.

Меры для исправления

Работать с пленкой на таком расстоянии от зоны обработки, чтобы вода и проявочные растворы не могли на нее попасть.



ПРОБЛЕМЫ, ВОЗНИКАЮЩИЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ПРОЯВЛЕНИЯ

Неравномерность проявления

Признаки

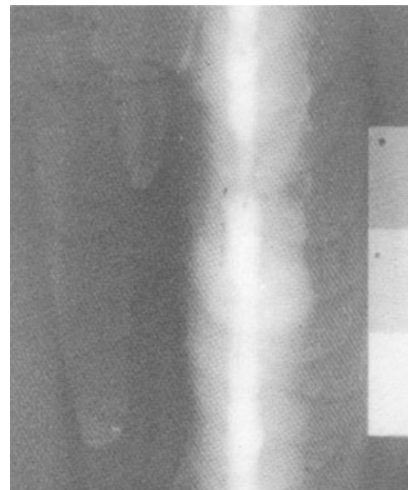
На рентгеновском снимке видны потеки и крапинки

Возможная причина

Проявление шло неравномерно.

Меры для исправления

1. Соблюдать рекомендуемую температуру проявителя
2. Равномерно покачивать пленку в растворе проявителя, особенно в начале проявления.



Недостаточно растворенный проявитель

Признаки

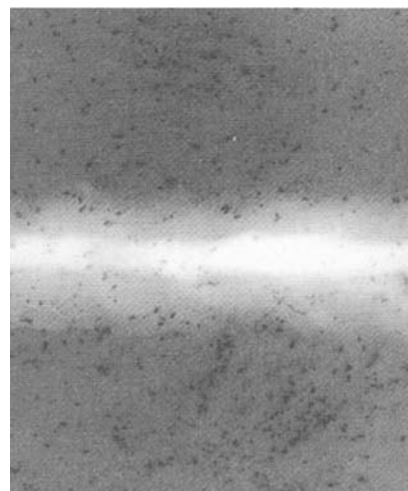
На снимке видны темные пятна или «кометы» с длинными хвостами

Возможная причина

Порошок проявителя не полностью растворился в воде и присутствует в растворе.

Меры для исправления

1. При приготовлении раствора проявителя реактивы следует растворить в горячей воде (около 50 °C) и перемешивать раствор до полного растворения вещества.
2. Перед началом работы нужно убедиться, что реактивы полностью растворились.



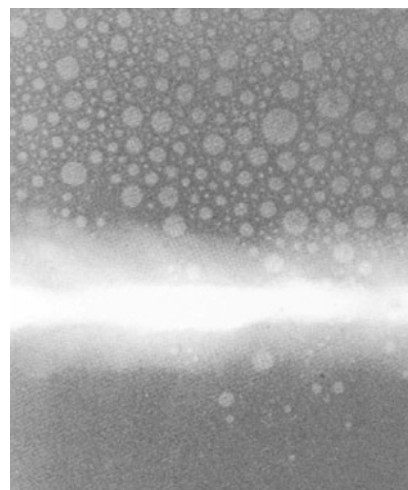
Пена

Признаки

На снимке видны светлые округлые пятна неопределенной окраски.

Меры для исправления

При перемешивании раствора проявителя нужно избегать образования пены.



ПРОБЛЕМЫ, СВЯЗАННЫЕ С ЗАРЯДКОЙ ПЛЕНКИ И ЕЕ ВЫНИМАНИЕМ ИЗ КАССЕТЫ

Пленка слиплась

Признаки

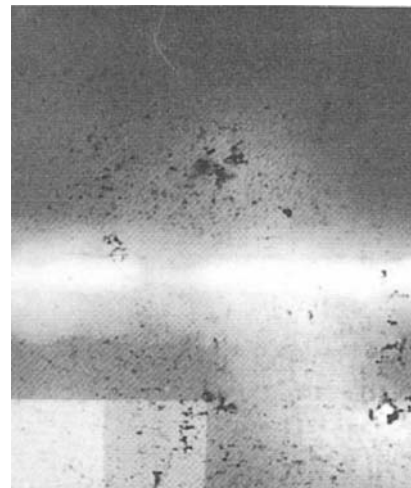
На рентгеновском снимке видны пятна неровной формы.

Возможная причина

Загруженная в кассету пленка прилипла к усиливающему свинцовому экрану

Меры для исправления

1. Не следует оставлять пленку в кассете надолго в жаркую сырую погоду или в местах с высокой температурой.
2. Если кассета промокла, ее надо высушить в тени, выбирая место на сквозняке.



Следы статических разрядов

Признаки

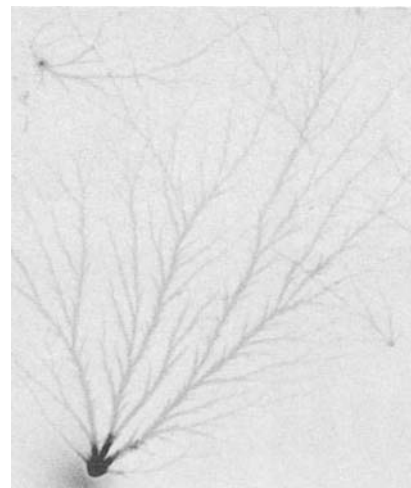
На снимке видны ветвящиеся следы или следы, напоминающие деревья

Возможная причина

Следы такого рода возникают при контакте, отрывании или трении посторонних предметов вследствие разрядов статического электричества. В особенности легко они возникают при сухом воздухе.

Меры для исправления

1. В фотолаборатории следует поддерживать требуемую влажность воздуха – (60-70% ОВ).
2. Вблизи пленки запрещается использовать какие-либо предметы и материалы из резины и синтетических волокон, которые легко накапливают статические заряды.
3. С пленкой нужно обращаться осторожно.
4. Лабораторный стол в фотолаборатории следует заземлить.



Загибы

Признаки

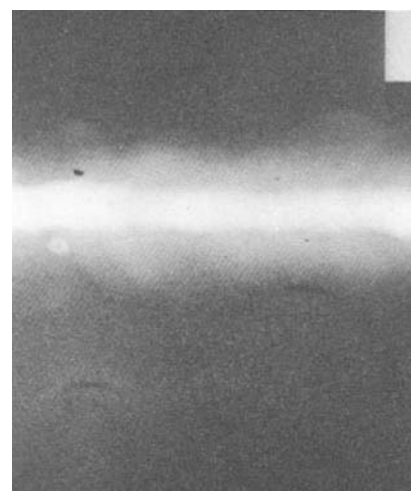
На снимке видны светлые или темные следы неправильной формы или в виде полумесяца.

Возможная причина

На пленке имеется залом или загиб, появившийся в результате небрежного обращения. Темные следы появляются, если пленку резко согнуть до проявления, в то время как резкий перегиб уже проявленной пленки может привести к появлению светлых следов.

Меры для исправления

Браться за края пленки нужно осторожно, изгибать ее не следует.



ПРОБЛЕМЫ, СВЯЗАННЫЕ С ОБРАБОТКОЙ ПОСЛЕ ПРОЯВЛЕНИЯ

Неравномерное закрепление

Признаки

На снимке видны светлые следы или потеки неровной формы

Возможная причина

Закрепление шло неравномерно.

Меры для исправления

1. Чаще перемешивать раствор закрепителя, особенно в начале закрепления.
2. Заменить закрепитель до того, как раствор потеряет свои свойства.



Неравномерная сушка

Признаки

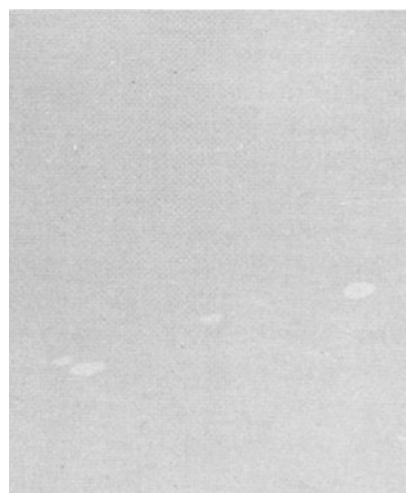
На снимке видны светлые размытые линии или неравномерной формы следы на блестящей поверхности пленки.

Возможная причина

Пленку недостаточно просушили, поэтому скорость высушивания была различной на разных участках.

Меры для исправления

1. Для равномерной просушки пленки нужно пользоваться реактивом Fuji Driwel.
2. При использовании горячего воздуха для сушки его следует нагревать постепенно.



FUJIFILM

FUJIFILM Corporation

7-3 Akasaka 9-chome, Minatoku, Токио 107-0052, Япония

Номер для ссылок: IX-22-2009.02 F1079