



Химико-фотографическая обработка радиографических плёнок

В статье рассматриваются особенности автоматической обработки радиографических плёнок, технологические и психологические проблемы при переходе от ручной обработки к использованию машин для фотообработки. Обсуждаются химические особенности процесса проявления в фотомашинах, перечислены типичные ошибки и способы их устранения, высказана мысль о необходимости контроля всех составляющих процесса фотообработки. Сделан вывод о том, что основные проблемы, возникающие при машинной обработке, связаны с человеческим фактором: фотомашинка проявляет плёнки качественно и стабильно только при соответствующей культуре производства. Подчеркнута необходимость скорейшего перевода стандарта ISO 11699-2 и создания его русского аналога.

Submitted 13.03.21

Accepted 19.03.21

МАКАРОВ
Алексей Владимирович

Генеральный директор
ООО «ЛЕНТЕСТ»,
Санкт-Петербург,
Специалист III уровня
по радиационному
контролю

A. V. Makarov¹

Chemical Photographic Treatment of Radiographic Films

The article discusses the features of automatic treatment of radiographic films, technological and psychological problems in the transition from manual processing to the use of machines for photographic processing. The chemical features of the development process in photomachines are discussed, typical errors and methods of their elimination are listed, the idea is expressed that it is necessary to control all components of the photomachine processing process. It was concluded that the main problems arising from machining are associated with a human factor: the photomachine exhibits films qualitatively and stably only with a corresponding production culture. The need for the early translation of ISO 11699-2 and the creation of its Russian counterpart was emphasized.

Keywords: X-ray inspection, X-ray films, treatment, fixative solvent, automatic film processing

Химико-фотографическая обработка (далее фотообработка) радиографических плёнок является важнейшей частью классической технологии радиационного контроля с использованием фотографических детекторов. Тем удивительнее, что основной методический документ по контролю на радиографические плёнки ГОСТ 7512–82 [1] полностью обошёл эту часть технологии. Фотообработке, по моему мнению, уделяется мало внимания. А ведь это самая нестабильная часть технологии контроля. Тем приятнее было увидеть замечательную, хорошо иллюстрированную статью «Природа происхождения артефактов на радиографических снимках с галогенидосеребряными эмульсиями» в этом журнале [2]. Так как ручная обработка раскрыта там достаточно полно, в данном материале акцент будет сделан на особенностях автоматической обработки.

На первом Российском конкурсе специалистов НК (г. Уфа, 2003 г.) один из финалистов (!) по радиационному виду контроля нарочито громко, не стесняясь присутствия в автобусе членов

жюри, хвастанул, что ему ошибки в экспозиции раза в два в ту и другую сторону нипочём — он их умеет компенсировать фотообработкой.

Когда я пришёл на ПО «Ижорский завод» на участок радиографического контроля меня удивило, как учат фотообработке новичков. Новичка прикрепляли к опытному дефектоскописту, который учил, как надо проявлять так, чтобы снимок понравился расшифровщицам (оптическая плотность $D \approx 2,5$). Снимок периодически вынимался, поворачивался боком к красному фонарю, и по тому как начинали улавливаться слабые изображения маркировки, определялся опытным глазом момент «оптимального» времени проявления. Так получилось, что я пришёл как раз, когда установили новенькую машину для автоматической химико-фотографической обработки (далее фотомашинка) фирмы AGFA. Ручную обработку оставили для подстраховки: техника есть техника, может сломаться. Казалось бы: пускай плёнки в машину и иди пить чай, через 8 минут выскочат готовые сухие плёнки. К моему изумлению на фотомашине

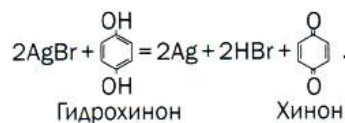
¹ Lentest LLC SPb, St. Petersburg, Russia; lentest@mail.ru

проявляли мало. Объяснение давали простое: а вдруг мы немножко ошиблись в экспозиции. Я чуть ли не силой заставлял пользоваться фотомашинной. Продукцию для АЭС принято было контролировать на двух дубль-плёнках в кассете. Ловил иногда на том, что кассеты половинили, пускали половину плёнок в фотомашину. Если снимки выходили хорошие, запускали вторую половину, если светлые или тёмные, то «исправляли» ручной фотообработкой. Борьба с психологией «исправления» ошибок в экспозиции с помощью ручного проявления заняла не один год.

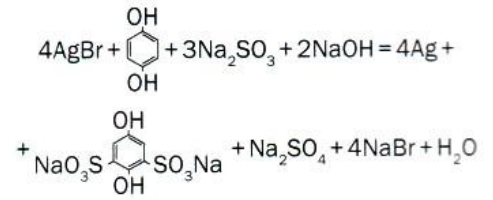
Давайте вспомним, чисто принципиально, что происходит с формой характеристической кривой при недостаточном и излишнем времени проявления. Из рис. 1 видно, что в первом случае (линия (а) кривая пологая, контраст низкий. Линия (б) соответствует оптимальному режиму проявления, а линия (в) — времени проявления большому оптимального. Фотографическая чувствительность наименьшая у (а) и наибольшая у (в). Максимальный контраст у линии (в). Если у нас условия просвечивания отличаются только экспозицией, то изображения дефекта (например поры) дадут на (а) очень небольшое приращение плотностей ΔD_s , дефект будет малоконтрастным. При излишнем времени проявления характеристическая кривая сдвигается влево, растёт фотографическая чувствительность, можно давать меньше экспозицию — это положительный фактор. Немножко увеличивается контраст — это положительный фактор. Но несколько растёт и вуаль — отрицательный фактор. Многие плёнки имеют плотность основы с вуалью менее 0,20. До приемлемых, в большинстве случаев, 0,30 есть запас. Два

положительных фактора в какой то степени компенсируют отрицательный. Из изложенного вывод: компенсировать переэкспонирование недопроявлением абсолютно недопустимо, теряется контраст, ухудшается чувствительность контроля и выявляемость дефектов. Небольшое излишнее время проявления (при условии не превышения рекомендуемой температуры — об этом далее) допустимо, но надо не пропустить начало ускоренного роста вуали.

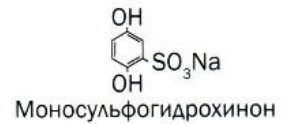
О проявителе. В проявителе два проявляющих вещества. И хотя мягких восстановителей серебра довольно много, но безусловными «чемпионами» в практическом применении являются две пары: метол-гидрохиноновая и фенидон-гидрохиноновая. Причина применения сразу двух проявляющих веществ — синергический эффект, то есть эффективность пары оказывается заметно выше, чем можно было ожидать от простого арифметического сложения. Есть в проявителе сульфит натрия, которому во многих учебных пособиях отводят важную, но скромную роль защитника от окисления проявляющих веществ кислородом из раствора и воздуха. Но его роль гораздо больше. Химическая реакция проявления гидрохиноном галогенида серебра может быть выражена уравнением:



Из уравнения видно, что одна молекула гидрохинона образует два атома нейтрального серебра. Но в проявителе есть сульфит и щелочь, процесс проявления можно выразить следующим уравнением:



Видно, что в присутствии сульфита молекула проявляющего вещества может восстановить до четырёх атомов серебра, то есть поднять свою эффективность в два раза. Кроме этого часть продукта окисления гидрохинона не только кислородом, но и реакцией проявления — хинона — восстанавливается сульфитом до моносulфогидрохинона, который обладает проявляющими свойствами.



Но у сульфита есть ещё одна роль в процессе проявления. Он является очень слабым, но всё же растворителем галогенида серебра. А так как в проявителе есть восстановители серебра, они растворённое серебро восстанавливают до нейтрального, тем самым поддерживая процесс растворения непрерывным. Я не называю восстановленное серебро металлическим, так как оно не демонстрирует таковых свойств. Металлическое серебро является одним из самых светлых металлов, «чемпионом» по отражательной способности, что используется в зеркалах. Восстановленное же проявителем серебро как в эмульсионном слое плёнки, так и в растворе получается идеально чёрным. Восстановленное в растворе серебро оседает на всем твёрдом, с чем соприкасается раствор проявителя, в виде чёрного налёта. В фотообработывающем процессоре (фотомашине) оно, соответственно, оседает не только на дне, но и на стенках, валиках, шестеренках — везде.

Серебро можно отнести к автокаталитическим веществам, в его присутствии химические реакции с серебро-содержащими веществами идут хорошо. В результате слой осевшего чёрного серебра стимулирует восстановление серебра из раствора на себе, растёт быстрее именно слой осевшего чёрного серебра, а не помутнение раствора. Осевший слой — это проблема для фотомашин. Отмыть его полностью не удастся без спецхимии. Фирменные импортные растворы дорогие. Мой опыт показывает, что можно пользоваться

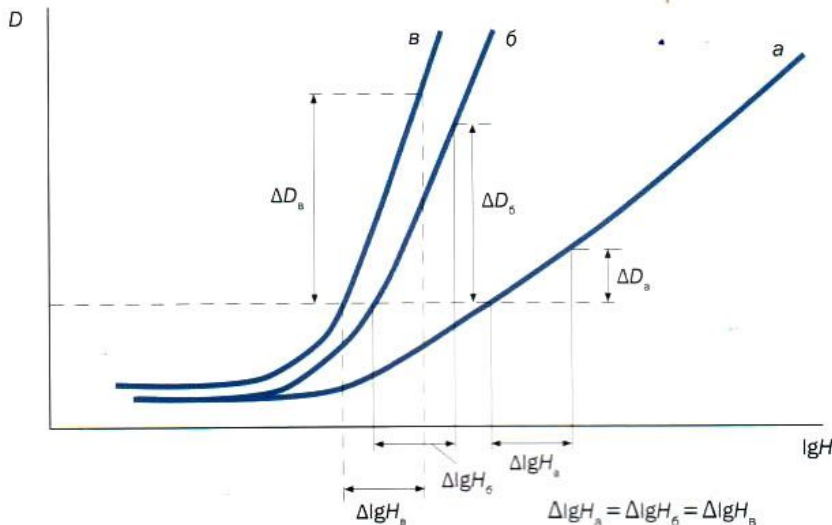
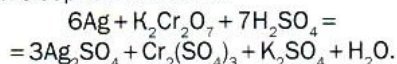


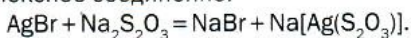
Рис. 1.

отбеливанием на основе бихромата калия с серной кислотой:

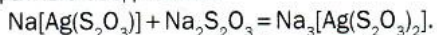


Опасения, что такой раствор с шестивалентным хромом может воздействовать на резину или пластмассу валиков оказались напрасными. Процесс отбеливания проявительной каретки идёт очень быстро, что называется на глазах, всего за несколько минут. После этого надо сразу же слить раствор и залить нейтрализатор кислоты. Интересно, что я сталкивался с мнением, что валики совсем не нужно тщательно отмывать, что «благородный» налёт никак видимым образом не влияет на проявление, не видно, чтобы он пачкал снимки. Соглашусь, не видно при постоянной загрузке машины, но выскажу своё мнение. Налёт на валиках, в силу трения с проходящей плёнкой, и так самый плотный в каретке. Попытки помыть налёт тряпочкой или щёткой и тёплой водой с моющими добавками приводят лишь к частичному успеху, при этом мы невольно втираем часть налёта в валики. После нескольких таких моек валик приобретает металлический блеск — другими словами мы его потихоньку полируем серебром, валик становится скользким. Это может привести к артефакту фотобработки, который характерен только для автоматической обработки — к поперечным, относительно направления движения, полосам из-за проскальзывания плёнки на валиках. Некоторые фирмы — производители радиографических плёнок озабочены тем, чтобы верхний защитный слой желатины на плёнке имел бы фрикционные свойства, а мы валики полируем.

О фиксаже. В начале 2020 г. мне попался экзаменационный вопрос: «Каково должно быть время фиксирования?» Правильным ответом оказалось двойное время проявления! Какая связь? Два совершенно разных и независимых друг от друга процесса. Проявитель и фиксаж могут иметь разницу в температуре, разницу в истощённости. В результате фиксирования получают комплексные серебрянотиосульфатные соединения. Сначала образуется малорастворимое в воде комплексное соединение:

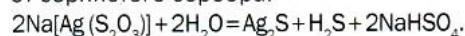


Далее образуются хорошо растворимые комплексные серебрянотиосульфатные соединения:



В свежем, неистощённом растворе фиксажа могут образовываться ком-

плексные серебрянотиосульфатные соединения и с большим количеством лигандов и они тоже будут хорошо растворимы. Напротив, если фиксаж истощён, дело дальше первой реакции может не пойти. Труднорастворимое комплексное соединение серебра и натрия серноватистой кислоты $\text{Na}[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)]$ при фиксировании и последующей промывке может остаться в эмульсионном слое. С участием атмосферной влаги изображение может со временем начать желтеть и образовывать коричневые пятна от сернистого серебра:



По этой причине нельзя сразу после того, как плёнка полностью осветлилась, извлекать её из фиксажа в промывку водой. Даже длительная промывка может не удалить из эмульсионного слоя все соединения серебра. Необходимо после осветления ещё время, чтобы диффундирующий из раствора в эмульсионный слой тиосульфат натрия насытил комплексные соединения лигандами до хорошей растворимости и ещё немного времени, чтобы эти соединения вышли в раствор. Принято, что время фиксирования должно быть не менее двойного времени осветления, когда плёнка становится полностью прозрачной. У многих конструкций фотомашин плёнка находится в проявителе и фиксаже одинаковое время. Есть даже конструкции с увеличенным треком в проявителе, когда время проявления чуть превышает время фиксирования. Тем не менее, очень хорошо, если бы из рабочей фиксажной ванны плёнка попадала в заведомо свежий, неистощённый фиксаж. Это реализовано в некоторых моделях фотомашин, например в Structurix M ECO, где есть две фиксажные ванны. Первая по ходу плёнки берёт на себя основную работу по осветлению, вторая, главным образом, обеспечивает надёжное вымывание растворённого серебра. При этом свежий пополняющий раствор подаётся во вторую ванну, поддерживая там хорошую концентрацию тиосульфата.

Из второй ванны идет перелив в первую. При такой схеме «убивается ещё один заяц» — в промывку и далее в канализацию попадает меньшая концентрация ионов серебра. В Европе очень строгие требования по содержанию иона серебра в канализации, который эффективно убивает не только «вредные», но и полезные бактерии.

В начале 2020 г. мне попался ещё один интересный экзаменационный вопрос, который звучал примерно так:

«Как известно, фиксаж быстро портится при попадании в него проявителя. Какие меры нужно предпринять, чтобы не допустить этого?». Не знаю точно, но предполагаю, что там было два правильных ответа. Первый предлагал 20 минут промывать плёнку после проявления — нереальный для практики вариант. Второй — сполоснуть плёнку после проявления в кислой стоп-ванне. Ничего хорошего в загрязнении фиксажа веществами из проявителя, разумеется, нет. К тому же, в кислой стоп-ванне сразу прекращается проявление, можно даже зажечь белый свет и дальнейшие операции производить при свете. Хотя правильно свет зажигать только после осветления в фиксаже. Непроявленные кристаллы галогенида серебра сохраняют фоточувствительность и могут медленно темнеть без участия химии, как темнеет со временем сухая плёнка, забытая на свету. Ответ со стоп-ванной хороший, но в данном примере интересен сам вопрос. Могу утверждать и приведу ниже пример, что даже одна капля фиксажа в ведре проявителя будет делать свое дело — растворять галогенид серебра. Кстати говоря, почти все фотомашинки не делают промывку после проявления, плёнка попадает сразу в кислый фиксаж, где моментально прекращается проявление и начинается осветление. Не бояться заноса проявителя плёнкой в фиксаж!

Тиосульфат натрия — это «универсальный солдат», он хорошо фиксирует и в кислой, и в нейтральной, и в щелочной среде. Ещё в 1970-е гг. для космоса была актуальна тема монованн, где сразу шло проявление и фиксирование. Рецептуры, которые хорошо балансировали два процесса, подобрали. Беда оказалась в другом — после обработки некоторого количества фотоматериала раствор жил максимум сутки, после чего мутнел и портился. Наличие растворённого серебра и его восстановителей в одном растворе приводили к закономерному результату. Никакие попытки добавок замедлителей восстановления серебра в растворе к успеху не привели. Отсюда вывод: фиксаж не особенно боится попадания в него проявителя. А вот попадание фиксажа в проявитель ни к чему хорошему не приводит. Нечаянное создание «монованны» я неоднократно наблюдал, когда в темноте люди перепутывали подпиточные баки фотомашинки и выливали фиксаж в подпиточный бак проявителя.

На растворах AGFA попадание фиксажа в проявитель выдает слабый запах

аммиака. Но ни запах, ни то, что снимки становились «всё белее и белее» вначале не смущали рентгенологов — они бежали в камеру и просто добавляли экспозицию. Так делали, пока ситуация однозначно не показывала — что-то не то. Такой «артефакт» характерен тоже только для машинной обработки.

Хочу привести один интересный пример при машинной проявке. Справедливости ради должен заметить, что на тот момент был экспериментально залит отечественный вариант проявителя для фотомашин. Случайно обломали кусочек пластмассовой стенки фиксажной ванны рядом с проявительной. Кусочек приклеили, и для надёжности закрепили сверху два нержавеющей уголка по обе стороны. Здесь надо отвлечься и вспомнить, как хорошо показано в работе [2], что центры проявления могут образовываться не только электромагнитным излучением или электронами, долетающими от усиливающего металлического экрана. Они могут образовываться разрядом статического электричества, механическим воздействием, к примеру, заломом плёнки, ударом по ней тяжёлым предметом. Но самый распространённый случай образования нежелательных центров проявления — это царапанье плёнки песком, находящимся на столе или резаке. В результате после фотобработки получают тонкие тёмные линии произвольной, повторяющей траекторию движения плёнки по столу, формы. В большинстве случаев удаётся распознать природу происхождения линий, даже не пытаясь увидеть царапины в отражённом свете, из-за их произвольной формы. С фотомашинной есть особенность. Если песчинка вкрапится в валик, то она будет периодически давить на плёнку, «рисую» поры как типографский станок через одинаковое расстояние. И хорошо, когда снимок длинный и «пор» несколько. Зная периметр окружности валика можно доказать, что «поры» искусственные. Хуже, когда песчинка или что-то твёрдое закрепится на неподвижной основе, например на загрузочном столе или на направляющих в каретках. Тогда она будет царапать непрерывную линию, как правило, это получается вдоль изображения шва. Если линия падает на шов и её не удастся разглядеть в отражённом свете на готовом снимке, её вполне можно перепутать с настоящим непроваром.

Артефакты в виде искусственных пор и непроваров характерны также только для машинной обработки. Можно так

долго не мыть машину, что на шестерёнках закристаллизуются химикаты, будут падать в раствор, подхватываться струёй от циркуляционного насоса, попадать между плёнкой и валиками. Так образуются «поры и шлаки» не сварочного происхождения. Кристаллы могут довольно быстро раствориться, но успеть оставить свой «след», найти объяснение которому трудно.

Вернемся к примеру. Фотомашина начала рисовать «непровар», иногда сразу два параллельных. Помыли каретку очень тщательно, но очень быстро «непровар» появился опять. Опять помыли, опять быстро появился. Сначала один, потом сразу несколько. Причём расстояния между некоторыми были строго одинаковые. Здесь и удалось разгадать загадку. Брызги фиксажа иногда попадали на уголок, благодаря капиллярному эффекту между уголком и стенкой фиксаж попадал на конец уголка, потом тонкой еле заметной струйкой стекал в проявитель. Попадало его немного, заметного влияния на проявление он не оказал, но увеличил концентрацию ионов серебра. Направляющие были из перфорированной полированной нержавеющей стали. Произошло неожиданное: благодаря каким-то микротокам пошёл процесс электролиза, направляющие стали катодом, и не чёрное, а настоящее белое металлическое серебро стало откладываться на цилиндрической поверхности дырок перфорации. Прочный металлический слой рос в толщину и немножко в длину и начал выходить за пределы отверстия, царапая плёнку, рисуя «непровары».

Ещё одно, характерное только для машинного проявления явление: попадание пластилина. Там, где крепят маркировку пластилином он может попадать в машину (видимо, несмотря на запрет, плёнку из кассеты вынимают на загрузочном столе). С помощью плёнки пластилин отлично раскатывается по валикам в щелочном проявителе, на плёнке при этом будут большие округлые светлые пятна. Последующее мытьё проявительной каретки (а не размазывание гидрофобного пластилина тонким слоем) достаточно хлопотное дело.

При ручной обработке время проявления мы должны корректировать в зависимости от температуры, мы также должны добавлять время с ростом истощённости растворов. С фотомашинной всё не так — обычно скорость (соответственно время в растворах) движения плёнки и температуру фиксируют на определённом значении. Плёнка

с меньшим наносом серебра, например D4 AGFA NDT обрабатывается быстрее, чем с большим, например D7. Но если при контроле одновременно используются разные плёнки перенастраивать скорость неудобно, и, как правило, скорость настраивают на среднее значение. В данном примере на D5. Фотомашина, безусловно, очень удобна в использовании. Но за всё надо платить. Мы не можем допустить роста истощённости растворов. Добавка подпиточного проявителя должна компенсировать унос первоначально сухой плёнкой раствора и компенсировать расход веществ на проявление, заодно уменьшая концентрацию продуктов реакции. В результате ещё вполне рабочий раствор (который какое-то время может работать в ручном варианте) идёт через перелив в канализацию. И хоть подпитка подаётся с противоположной переливу стороны, благодаря интенсивному перемешиванию раствора циркуляционным насосом, небольшая часть подпитки может попасть на перелив даже «не поработав». Если бы плёнки были одинаковы по изображению и плотностям, подпитку можно было бы рассчитать математически. На практике снимки разнообразные и расчёт невозможен. Современные фотомашинки умеют с помощью нескольких датчиков интегрировать снимки по площади и величине подпитки дают пропорционально прошедшей площади. В середине 1980-х гг. AGFA делала подпиточные баки по 80 л, при объёме рабочих растворов 20 л. Чтобы избавить себя от нареканий по стабильности обработки была рекомендация при достижении подпиткой 4-кратного превышения рабочих растворов делать декантацию и разводить новые растворы. Хотя неразумно было разводить 80 л проявителя, несмотря на плавающую крышку, он все равно потихонечку окисляется кислородом.

Ошибки в выставлении объёма подпитки на фотомашине весьма часты. Ошибки в большую сторону ведут к излишней трате химикатов, ошибки в меньшую — к постепенно возрастающим явлениям недопроявки и недофиксирования со всеми вытекающими последствиями. Меньшая подпитка может быть и «из экономии» — жалко химикаты. Хотя, скорее всего это приведёт к досрочному сливу растворов из машины и разведению новых растворов. Экономия получится наоборот. Уменьшение подпитки иногда получается само, когда в подающие растворы

из подпиточных баков шланги попадают пузырь воздуха, это чаще всего происходит, когда подпиточные баки осушаются до дна. Это можно сразу не заметить, поэтому полезно периодически измерять фактический объём подпитки после пропускания определённой площади плёнки с помощью мензурки. Но самое правильное, это осуществлять обратную связь о соответствии фотообработки, о чём будет упомянуто в конце в выводах.

Есть ещё одно очень распространённое явление, основа которого обыкновенная лень. Представьте, что бригаде дефектоскопистов надо проявить на фотомашине каких-то 10 снимков. В подпиточных баках сантиметра три растворов. Чтобы не рисковать и не «схватить» пузырь в шланги «плюхают» пару литров отработанного раствора в надежде, что следующая бригада разведёт свежие растворы. Следующей бригаде надо тоже проявить 10 снимков, и она поступает аналогичным образом. Последствия понятны.

Большим преимуществом машинной обработки является не только автоматизация процессов, но и скорость получения готовых снимков. Обычно это 8–12 мин. Чтобы этого добиться, надо примерно раза в 3 сократить время ручной проявки и фиксирования. Это возможно только при повышении температуры до 28–30°. Повышение температуры тянет за собой рост набухания желатинового (эмульсионного) слоя, особенно в щёлочном проявителе. Чтобы предотвратить чрезмерное набухание, необходимо хорошо задубить саму плёнку в процессе её производства, а также производить задубливание в процессе обработки дубящими веществами, добавленными в рецептуру растворов. В промывку дубителей не добавишь, поэтому, в отличие от химических реакций проявления и фиксирования, промывка идет быстрее и лучше в прохладной до 20° воде, когда нет дальнейшего набухания. Проявленные «комочки» серебра имеют тенденцию образовывать группы, проявляют своеобразное чувство коллективизма. Этому стремится препятствовать носитель — желатин. Эта тенденция приводит к тому, что даже глаз улавливает неравномерность потемнения плёнки — зернистость. Увеличение времени проявки увеличивает зернистость, но при не превышении рекомендованной температуры рост небольшой. Другое дело, если температуру поднять, к примеру, до 36°, что на фотомашине

делается легко и быстро. Желатин набухает больше, серебру «шевелиться» легче. Замедление скорости движения плёнки и повышение температуры помогает бороться с «бледными» снимками, плотность увеличивается, но рост зернистости хорошо виден визуально. Ухудшается соотношение сигнал/шум, страдает чувствительность контроля и выявляемость дефектов. Использовать регулировки на фотомашине надо с пониманием.

Готовый снимок имеет микрорельеф. Где больше плотность, больше серебра — слой чуть толще и наоборот. Этот микрорельеф, а также некоторое отличие в глянце поверхности при разной плотности часто очень вырывает. Если неопытная рука дефектоскописта поставит маркировочные знаки на тонкую часть контролируемого участка сварного соединения без подкладки свинцовой пластины маркировка может на снимке исчезнуть в темноте — её невозможно разглядеть на негатоскопе. Зато есть шанс разглядеть в отражённом свете. Но если микрорельеф образуется по каким то причинам на тех участках, где должна быть равномерная плотность — это проблема. Проведём эксперимент. Положим на работающий негатоскоп плёнку с равномерной плотностью. Нанесём на неё каплю слабощелочной жидкости, к примеру, слюны. Капля смочит желатин, тот набухнет, это место станет заметно светлей фона. Казалось бы, надо подождать пока высохнет, и всё сравняется. Но нет, из-за щелочной среды желатин набух чуть сильнее, и после высыхания место капли оказалось чуть-чуть толще, более светлый кружок от капли виден на плёнке.

Микрорельеф может быть вызван разной солевой концентрацией воды. При сушке с каких-то участков стекает или сдувается с поверхности вся вода, на каких-то участках остаются капли и ручейки. В каплях и ручейках при высыхании увеличивается концентрация солей, имеющих в воде, что может привести к образованию микрорельефа и, как следствие, к разводам и пятнам на плёнке. Как-то на одной фотомашине долго воевали с разводами. Рассуждали: раз на плёнке получаются разводы разной плотности, значит виноват проявитель: только в нём может темнеть по-разному плёнка. Проявительную каретку мыли каждый день, но успеха не было. Проблема решилась сама и разводы исчезли, когда вместо технической воды подвели питьевую воду.

Выводы

Подытоживая написанное, можно сделать вывод, что основные проблемы, которые могут быть при машинной обработке, в основном связаны с человеческим фактором. Фотомашинка может обеспечить качественную и стабильную обработку только при соответствующей культуре производства.

Фотообработка (и ручная, и машинная) требует обратной связи, проверки, корректировки времени нахождения плёнки в растворах и величины подпитки для фотомашин. В начале 2021 г. в подкомитете ПК-5 технического комитета ТК-371 начался процесс официального перевода стандарта ISO 11699–2 [3], который регламентирует проверку соответствия химико-фотографической обработки соответствующим плёночным системам по ISO 11699–1 [4]. После официального перевода [3] должен быть создан его российский аналог. В Приложении «А» [3] есть методика очень простого и достаточного, доступного абсолютно всем способа ежедневного контроля соответствия фотообработки заявленным производителем плёнки для данного способа обработки характеристикам плёнки. Но у [3] есть, на мой взгляд, очень большой минус: он не даёт методику определения оптимального времени проявления или необходимости добавки восстанавливающего раствора по мере истощения проявителя. Полезно упомянуть и про фиксаж. С фиксажем легче — можно просто дать двойное время осветления, которое тоже по мере истощения увеличивается, разумеется, с каким-то предельным значением времени. Очень надеюсь, что ПК-5 пойдет по пути не просто перевода [3], а сделает расширенную версию документа. Со своей стороны буду прилагать для этого усилия.

Литература

- ГОСТ 7512-82. Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Радиографический метод.
- Шаблов С. В., Белобородов Н. В., Иваненко Л. А. Природа происхождения артефактов на радиографических снимках с галогенидосеребряными эмульсиями. — Мире НК. 2020. Т. 23. № 2. С. 52–67.
- ISO 11699–2. Non-destructive testing — Industrial radiographic films — Part 2: Control of film processing by means of reference values. 2018. — 18 p.
- ISO 11699–1. Non-destructive testing — Industrial radiographic film — Part 1: Classification of film systems for industrial radiography. 2008. — 14 p.
- Джеймс Т. Теория фотографического процесса. — Л: Химия, 1980 г.

Статья получена 13 марта 2021 г., в окончательной редакции — 19 марта.