Experience of Radiography Digital Technology in Practice of Construction and Operation of Pipelines

L. Yu. Mogilner, E. N. Markina

The results for the 3-year pilot and industrial application of radiography digital technology with reusable «phosphorus» plates for inspection of welded joints of pipes and other facilities are described. In view of increasing productivity of X-ray testing and other advantages of this technology, the desirability of its wide industrial application is highlighted. Also it is noted that for further progress of the technology it is necessary to improve the regulatory framework of X-ray testing.

Опыт применения технологии цифровой практике строительства и эксплуатации

Пленочные бытовые фотоаппараты сегодня практически заменены цифровыми фотоаппаратами, и мало кого надо убеждать в преимуществах последних. В медицинской диагностике также все шире применяются цифровые радиографические технологии. Так, в кабинетах флюорографии работают цифровые комплексы, в которых в качестве приемника используется не рентгеновская пленка, а многоразовые, так называемые «фосфорные» пластины, с которых изображение передается непосредственно в компьютер, и расшифровку рентгеновских снимков врач ведет по дисплею.

В промышленности ситуация обстоит несколько иначе. Цифровые радиографические комплексы только в последние 2 – 3 года выведены на рынок. В настоящее время объем работ по радиографии, выполняемых с применением этих комплексов, невелик, и существует ряд причин, ограничивающих применение этой, безусловно, перспективной технологии.

ЗАО «ВНИИСТ-Диагностика» одним из первых в России провело систематическое исследование возможностей цифровой радиографии с применением многоразовых пластин для контроля качества сварки. Испытания и отработка технологии проводились в лабораторных и трассовых условиях с применением комплекса «Фосфоматик-40» производства ЗАО «Тестрон» (Санкт-Петербург). После испытаний технология применялась в промышленных, в том числе – в трассовых, условиях при строительстве и эксплуатации трубопроводов различного назначения. Всего выполнено более 3000 снимков сварных соединений труб различных типоразмеров и других изделий. Полученные результаты достаточны, чтобы подвести некоторые итоги. Понятны достоинства и недостатки метода, очевидна целесообразность его широкого внедрения, и необходимо наметить пути продвижения технологии в практику строительства и эксплуатации объектов трубопроводного транспорта.

Итак, комплексы цифровой радиографии предназначены для высококачественной оперативной беспленочной радиографии, цифровой обработки, расшифровки и архивирования результатов контроля. В состав комплекса «Фосфоматик-40» входят сканирующее устройство ACR-2000 Reader, стирающее устройство T-2000E и программное обеспечение (ПО) для обработки и архивирования изображений «СОВА» [1]. Комплекс работает на базе персонального компьютера. Использовались многоразовые пластины SO-170 фирмы Kodak. На рис. 1 представлено изображение типового радиографического снимка, получаемое с применением данного комплекса.

Комплексы «Фосфоматик» согласованы к использованию письмом Ростехнадзора № 09-36/740 от 20.04.2005, имеют Сертификат соответствия Госстандарта России № РОСС RU.ME48H02312 от 14.11.2007. Также могут использоваться комплексы других производителей. Таким образом, данные комплексы и в целом технология цифровой радиографии легитимны к применению в промышленности на территории России.

«Схема контроля с применением комплекса «Фосфоматик» строится аналогично тому, как и при использовании традиционной радиографической пленки: просвечивание изделия/сварного шва и создание скрытого радиографического изображения на приемнике, обработка («проявка») изображения, просмотр и расшифровка обработанного («проявленного») снимка, оформление заключения, архивирование результатов. Только полностью устраняется фотохимическая обработка пленки и связанные с ней «мокрые» процессы, а информация получается непосредственно

Об авторах

Сотрудники ЗАО «ВНИИСТ-Диагностика», г. Москва:

Могильнер Леонид Юрьевич

Генеральный директор, к. т. н. Научные интересы – теория и практика диагностики, контроля качества, технического надзора на объектах промышленного назначения.

Маркина Елена Николаевна

Главный специалист Экспериментальной лаборатории физических методов контроля. III уровень по РК. Научные интересы: диагностика и вопросы радиационной дефектоскопии.

радиографии в трубопроводов

в цифровом виде и выводится на экран компьютера.

Для выполнения контроля пластина упаковывается в кассету и устанавливается на контролируемое изделие. При экспонировании на платине формируется скрытое изображение. Для того чтобы считать его, пластина пропускается через лазерное сканирующее устройство, которое работает как периферийное устройство персонального компьютера. После считывания информация передается в компьютер, где обрабатывается с помощью специального ПО и выводится на дисплей компьютера в виде изображения – радиографического снимка, который расшифровывается оператором и архивируется. По результатам расшифровки оператор дает заключение о качестве проконтролированного соединения. Для очередного использования пластину достаточно очистить от скрытого изображения. Удаление изображения производится с помощью яркого света в специальном устройстве, входящем в состав комплекса цифровой радиографии.

Рассмотрим подробнее отдельные этапы и некоторые результаты, полученные на практике при опытном и промышленном использовании рассматриваемой технологии.

Многоразовые пластины поставляются размером 12×16, 12×25, 12×43, 20×25, 25×30, 35×43 и 100×1500 см. Пластины гибкие, легко режутся острым режущим инструментом, их размер может быть подобран практически под любой, необходимый для радиографии сварных швов трубопроводов. Пластины морозоустойчивы. Согласно паспортным данным они не теряют свою гибкость и другие потребительские характеристики при температуре окружающего воздуха до – 40 °С. В нашей практике они использовались до – 25 °С. Кассета-футляр необходима для защиты пластины в первую очередь от механических повреждений, прямого попадания воды и грязи. Зарядка кассеты может проводиться на свету.

Согласно литературным данным и опубликованной рекламной информации пластины совместимы с любыми источниками ионизирующего излучения с энергиями от 10 кэВ до 15 МэВ (рентгеновские аппараты постоянного потенциала и импульсного действия, радионуклидные источники, ускорители). В нашей работе рентгеновские снимки одинаково хорошего качества получены при использовании импульсных рентгеновских аппаратов серии «Арина» и «Шмель» и при использовании аппарата непрерывного действия «Site-X» при напряжениях от 70 до 450 кВ.

При считывании пластин (сканировании) не требуется тщательное затемнение. Необходимо только приглушить освещение и исключить прямое попадание солнечного или искусственного света на пластину. Таким образом, отпадает необходимость в «темной» комнате для фотообработки и все связанные с ней неудобства технологии радиографии. Таким образом, применение традиционных двухслойных кассет, как для рентгеноской пленки, не требуется. При этом наш опыт показал, что на пластинах производства Kodak, используемых в комплексе «Фосфоматик», качественное изображение сохраняется в однослойных кассетах производства НПП «Политест» не менее 24 ч.

Рис. 1. Типовое рентгеновское изображение, получаемое с применением комплекса «Фосфоматик» и программного обеспечения «СОВА»

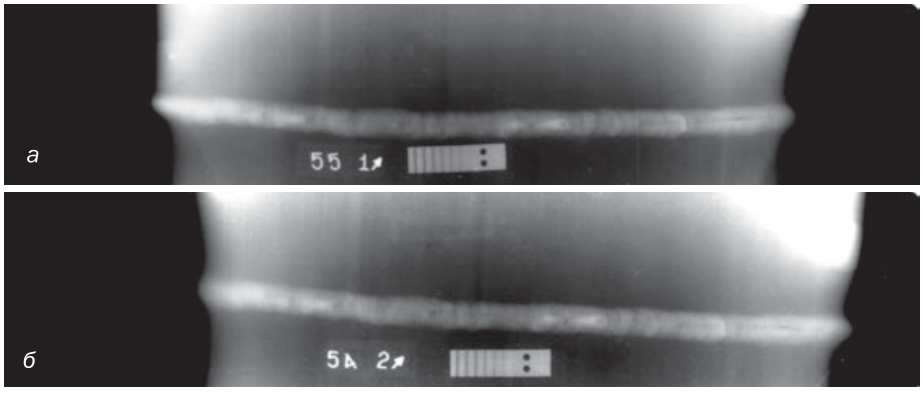


Рис. 2. Сравнение двух изображений* трубы диаметром 133 мм с толщиной стенки 5 мм при изменении времени экспозиции в 2 раза: *а* – 20 с; *б* – 10 с (рентгеновский аппарат – «Арина 05», система «Фосфоматик»)

Сканирование производится со скоростью до 1 м/мин. Скорость сканирования определяется требованиями к чувствительности контроля и может регулироваться средствами управления комплекса. Это означает, что уже через 1 – 2 мин после экспонирования на экране компьютера можно увидеть изображение контролируемого изделия или сварного шва. При этом полностью исключены «мокрые» процессы фотообработки.

* Приведенные на этом рисунке и далее изображения радиографических снимков служат только для иллюстрации возможностей метода цифровой радиографии. В любом случае расшифровку радиографических снимков следует проводить только по изображениям на дисплее компьютера, полученным с применением оригинального программного обеспечения (прим. авт.).

HELLING Werkstoffprüfung • Umweltschutz Messgerätechnik • Sicherheitstechnik
ИНТЕРЮНИС
КРОПУС Научно-Производственный Центр
ТВЕМА

Первичное изображение, выводимое на дисплей после сканирования, содержит информацию значительно большего объема, чем необходимо для анализа снимка. Это первичное изображение, как правило, должно быть обработано для того, чтобы радиографический снимок можно было расшифровывать. Обработка («оптимизация» в терминах Руководства пользователя) заключается в выборе диапазона яркости (уровня серого), наилучшего для обеспечения требуемой чувствительности контроля и контрастности изображения. Оптимизация выполняется с применением встроенного ПО. Интерфейс пользователя обеспечивает выполнение этой операции за 5 – 10 с.

Итак, в течение 1 – 2 мин после установки экспонированной пластины в сканер оператор выполняет сканирование пластины и оптимизацию изображения, и на дисплей компьютера выводится готовое радиографическое изображение контролируемого изделия или сварного соединения.

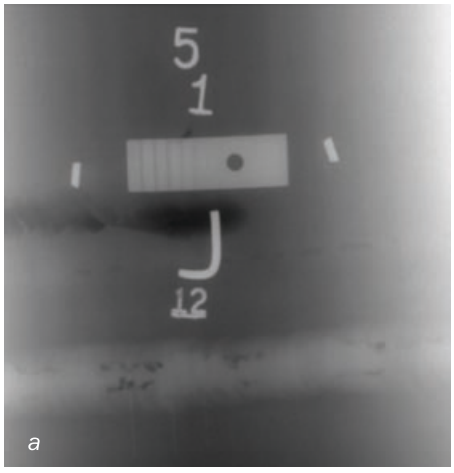
А что происходит с пластиной? При первом сканировании скрытое изображение частично стирается. Однако наш опыт показал, что при этом скрытое изображение сохраняется практически без изменения, и второе сканирование дает изображение, практически не уступающее первому. Следовательно, в отличие от рентгеновской пленки, которую невозможно проявить во второй раз, технология многоразовых пластин имеет защиту от случайных сбоев при «проявке», в данном случае – от сбоев компьютерной техники: если при сканировании пластины по какой-либо причине произошел сбой, и снимок не удалось вывести на дисплей, пластину можно просканировать второй раз без видимой потери качества изображения. Поэтому мы рекомендуем стирать изображение с пластины только после того, как оператор убедился в удовлетворительном качестве снимка после его оптимизации. При третьем сканировании в отдельных случаях не удавалось получить качественные изображения. Поэтому целесообразно ограничиваться не более чем двумя сканированиями пластин.

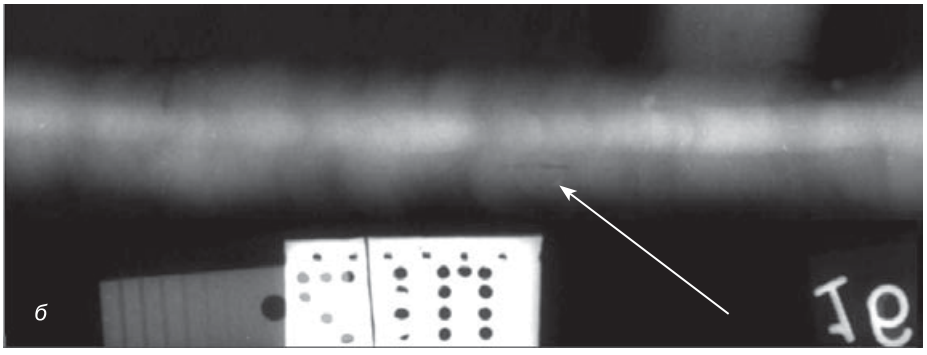
Расшифровку снимков после оптимизации оператор ведет по дисплею в соответствии с нормативами на контролируемый объект. В этом смысле традиционный опыт радиографии, накопленный десятилетиями, может быть использован в полной мере. Основные и вторичные признаки дефектов, их размеры и расположение определяются как при традиционной радиографии. Только следует иметь в виду, что при анализе любого выбранного участка изделия, каждого выбранного дефекта оператор может произвести дополнительную оптимизацию выбранного участка изображения, например, изменить контрастность или яркость, отфильтровать помехи с помощью встроенного ПО. Также имеется возможность автоматизировать измерение размеров дефекта или участка в плане.

При очистке пластины для ее подготовки к следующему экспонированию следует уделить особое внимание отсутствию остаточных скрытых изображений. Необходимо строго выдерживать интервал времени на стирание изображения, заданный в Руководстве пользователя. При выборе оборудования для цифровой радиографии также следует уделять особое внимание качеству удаления остаточных (фантомных) изображений при повторном использовании пластин.

Наконец, следует иметь в виду, что изображения в памяти компьютера формируются в специальном формате и для их просмотра используется встроенное программное обеспечение. Расшифровку снимков следует вести только при их просмотре с помощью этих программ. Программное обеспечение комплекса защищено от несанкционированного входа, что с высокой степенью гарантирует защиту результатов радиографии от подделок. Однако наш опыт показал, что целесообразно иметь возможность экспресс-просмотра снимков на произвольном компьютере, не оснащенном специальным ПО. Это может быть необходимо для подготовки отчетов, заключений, демонстрации результатов надзорным органам. Поэтому может оказаться полезным хранить резервную копию оптимизированных изображений, по которым велась расшифровка снимков, в каком-либо общедоступном формате, например, «jpg» или другом. ПО комплекса обеспечивает такую возможность.

Итак, одна и та же пластина позволяет работать с разными источниками. Но необходимо отметить еще одну особенность данной технологии, проверенную на пластинах Kodak. Диапазон чувствительности применявшихся пластин к спектру и интенсивности излучения настолько широк, что при правильной оптимизации снимки одинакового ка-





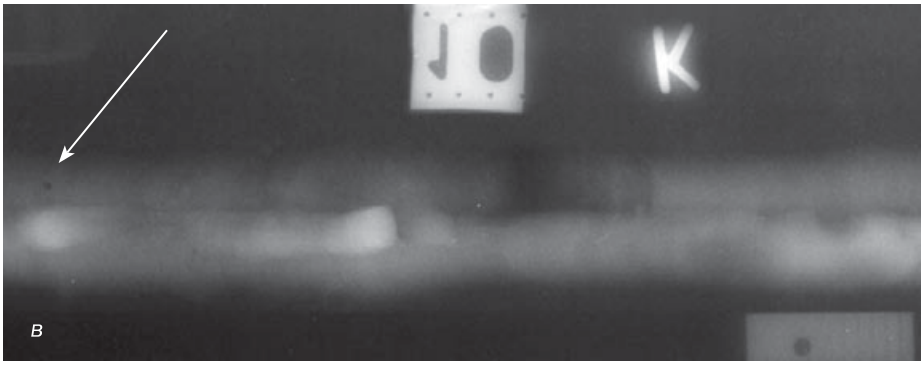


Рис. 3. Радиографические снимки с обеспечением чувствительности по 2-му классу: *а* – шлаковые включения (зашлакованные «карманы») длиной 12, 9 и 13 мм, толщина стенки 10 мм, чувствительность контроля 0,3 мм; *б* – несплавление длиной 8 мм, толщина стенки 12 мм, чувствительность контроля 0,3 мм; *в* – единичная пора диаметром 1,5 мм, толщина стенки 18 мм, чувствительность контроля 0,4 мм

чества получены при снижении времени экспозиции в 2 и более раз (рис. 2), либо при снижении напряжения на рентгеновской трубке до 1,5 раз. Таким образом, рассматриваемая технология не просто повышает производительность контроля, но и обеспечивает существенное повышение ресурса рентгеновских аппаратов, а также снижение дозовой нагрузки на персонал.

Согласно требованиям ГОСТ 23055-78 и ГОСТ 7512-82 при контроле сварных соединений магистральных и технологических трубопроводов необходимо, как правило, обеспечить 2-й класс чувствительности. Для контроля некоторых сварных соединений труб, например, для поверхностей теплообмена, необходимо обеспечить 1-й класс чувствительности. Поэтому при отработке технологии и промышленном применении цифровой радиографии необходимо обеспечить соответствующую чувствительность. На рис. 3 и 4 приведены несколько снимков, подтверждающих обеспечение таких результатов.

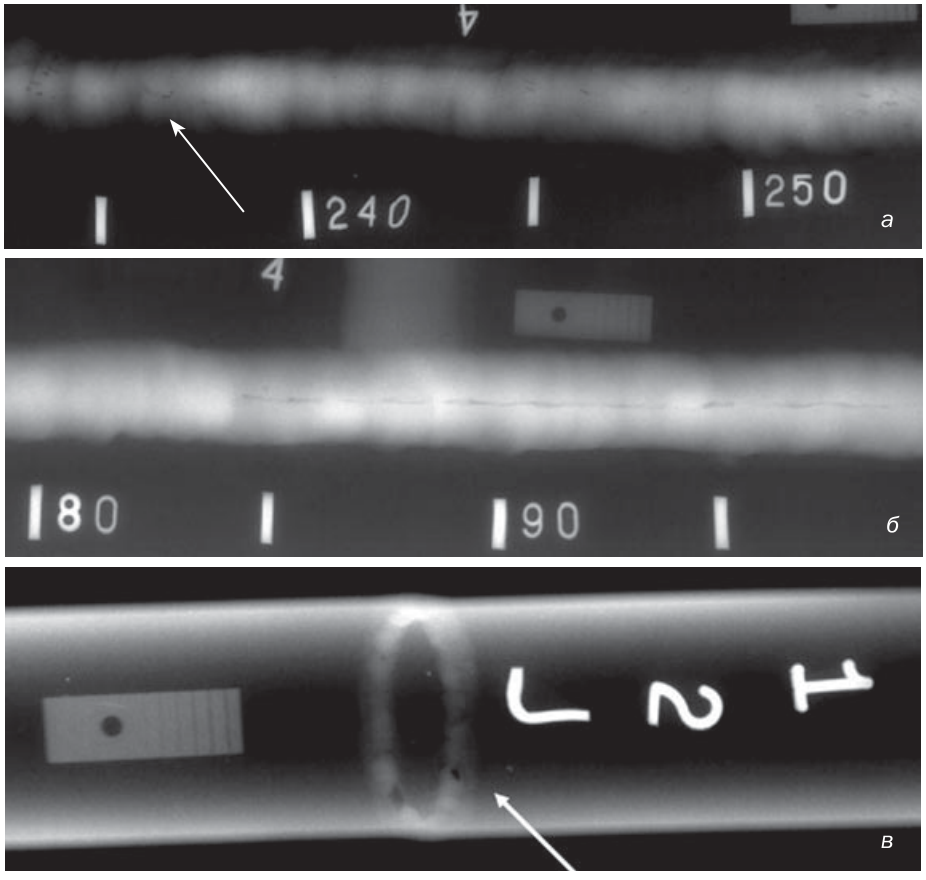


Рис. 4. Радиографические снимки с обеспечением чувствительности по 1-му классу: *а* – скопление пор длиной 340 мм, толщина стенки 10 мм, чувствительность контроля 0,2 мм; *б* – непровар в корне шва протяженностью 183 мм, толщина стенки 12 мм, чувствительность контроля 0,2 мм; *в* – шлаковое включение размером 2×1,5 мм, толщина стенки 3,5 мм, чувствительность контроля 0,2 мм

Важно отметить еще одну сторону эксплуатации системы для цифровой радиографии, а именно, возможность ее эксплуатации в условиях передвижной автолаборатории для контроля качества сварки трубопроводов. Система «Фосфоматик» опробована в составе автолаборатории производства НПП «Политест» на базе полноприводной модели «Газель». Эта автолаборатория в течение 2006 – 2008 гг. применялась для контроля качества сварки трубопроводов различного назначения в Московской и Белгородской областях, на ряде объектов г. Москва. Общий пробег лаборатории в снаряженном состоянии за это время составил около 4000 км. Также имеется опыт транспортировки оборудования для производства работ в Горьковскую область и в г. Омск. Отказов оборудования для цифровой радиографии по причине транспортной тряски не было.

При радиографии объемные дефекты традиционно выявляются лучше, чем трещины. Поэтому при отработке технологии чрезвычайно важным представлялось убедиться в том, что чувствительность и разрешающая способность метода достаточны, чтобы в условиях производственного контроля обеспечить выявление трещин в сварных швах. На рис. 5 приведены изображения нескольких трещин, выявленных в сварных стыках трубопроводов при производственном контроле.

Особенность применения технологии цифровой радиографии, проверенная нами на пластинах Kodak – радиографический контроль изделий сложной конфигурации с разнотолщинностью в 2 и более раз. Такая возможность обеспечивается большим диапазоном чувствительности пластин к излучению, благодаря которому существенно расширяется диапазон между недо- и переэкспонированием по сравнению с другими детекторами излучения. На рис. 6 в качестве примера приведены радиографические изображения фрагмента глушителя автомобиля. На снимках можно обнаружить и расшифровать изображения конструктивных непроваров, установить частичное проплавление конструктивного зазора, а также обнаружить единичную пору и измерить ее диаметр – 0,6 мм. При этом имеется возможность получить как изображение изделия в целом, так и за счет оптимизации отдельных участков различной толщины детально рассмотреть отдельные элементы конструкции.

Накопленная база радиографических снимков сварных стыков и других изделий позволила систематизировать компьютерные изображения сварных швов и дефектов. На ее основе разработан Атлас (рис. 7) радиографических изображений дефектов, который содержит наиболее характерные изображения дефектов различного типа: пор, шлаковых включений, непроваров, трещин, несплавлений, подрезов и других, а также вспомогательную информацию и характерные изображения помех, «артефактов», дефектов пластин.

Среди основных дефектов пластин в Атласе отмечены следующие: изломы, возникающие при эксплуатации, следы от магнитных держателей, используемых для прижима пластин к изделию при экспонировании, трещины активного слоя пластин. Для максимального увеличения срока использования пластин необходимо обращаться с ними бережно, исключить переломы пластин, царапины на их поверхности. Поскольку при сканировании пластины протягиваются через валики сканера, необходимо периодически проводить профилактическое обслуживание сканера, устраняя загрязнения, накапливающиеся на поверхности протягивающих валиков.

Приведенные результаты, полученные в основном с применением комплекса цифровой радиографии «Фосфоматик 40», убедительно доказывают, что сегодняшний уровень этой техники достаточен для того, чтобы обеспечить качественное выявление дефектов изделий и сварных швов в трубопроводном транспорте, энергетике и других отраслях промышленности. Однако ряд факторов сдерживает внедрение данной технологии. В первую очередь это

HELLING Werkstoffprüfung • Umweltschutz Messgerätechnik • Sicherheitstechnik
ИНТЕРЮНИС
КРОПУС Научно-Производственный Центр
ТВЕМА

– отставание нормативной базы от достигнутого уровня техники. Приведем некоторые примеры.

Действительно, применение технологии многоразовых пластин не предусмотрено основополагающими ГОСТами на радиографический контроль и требованиями Гостехнадзора. Большинство действующих нормативных документов содержит обязательные требования к наличию, передаче и архивированию радиографической пленки в составе документации по результатам НК сварных швов. Очевидно, что это требование перестает быть актуальным с появлением технологии цифровой компьютерной радиографии, и необходимо вносить корректировки в нормативные документы.

Необходимо корректировать и требования к нормируемым техническим параметрам. Так, при использовании многоразовых пластин и расшифровке снимков по дисплею вместо параметра «оптическая плотность», применяемого для радиографических пленок и определяемого в нормативах, используется параметр «уровень яркости» («уровень серого») участка изображения. Далее, разрешающая способность многоразовых пластин в настоящее время ниже, чем у радиографических пленок. Однако выявляемость дефектов, проиллюстрированная выше на рисунках, и достигаемая при цифровой радиографии чувствительность контроля убедительно свидетельствуют о том, что обеспечиваемая при их использовании разрешающая способность достаточна для выявления дефектов при дефектоскопии сварных швов трубопроводов.

Представляется, что основными требованиями, которые необходимо регламентировать при цифровой радиографии, являются требования к уровню яркости (уровню серого) изображения при расшифровке, к выявляемости дефектов (чувствительности контроля) и к порядку хранения (архивирования, передачи) получаемой информации.

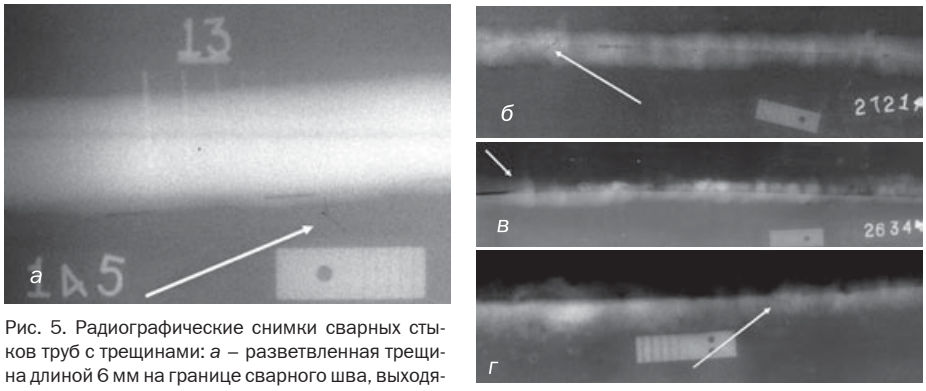


Рис. 5. Радиографические снимки сварных стыков труб с трещинами: *а* – разветвленная трещина длиной 6 мм на границе сварного шва, выходящая в околошовную зону, толщина стенки 18 мм; чувствительность контроля 0,4 мм; *б*– трещина поперечная протяженностью 16 мм в сварном шве, толщина стенки 8 мм, чувствительность контроля 0,2 мм; *в* – трещина продольная эксплуатационная длиной 8 мм на границе непровара в сварном шве, толщина стенки 8 мм, чувствительность контроля 0,2 мм; *г* – трещина продольная эксплуатационная длиной 10 мм на границе неровности обратного валика, толщина стенки 36 мм; чувствительность контроля 0,5 мм

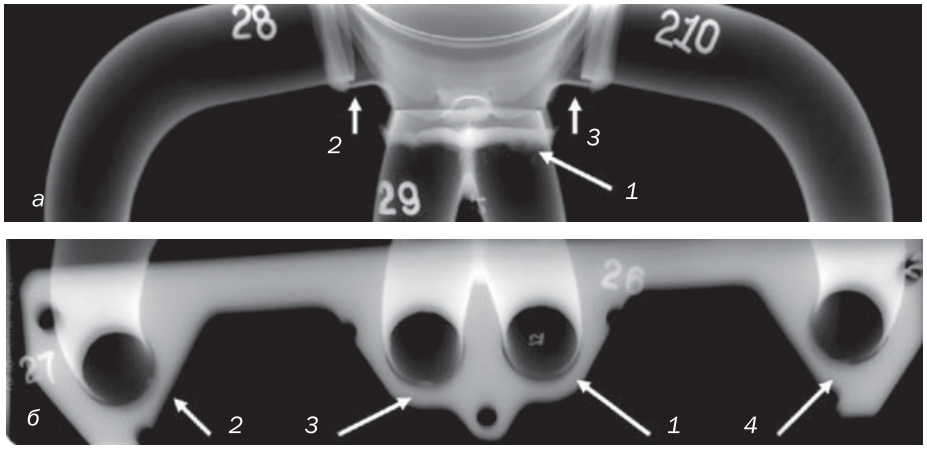


Рис. 6. Радиографическое изображение фрагмента глушителя автомобиля (толщина участков в пределах снимка от 3 до14 мм, чувствительность контроля 0,2 мм): *а* – выявление поры диаметром 0,6 мм (*1*) и конструктивных зазоров шириной до 1,5 мм (*2, 3*); *б* – выявление конструктивного зазора шириной от 0 до 1,2 мм (*1* и аналогичные на других трубках), имеются места проплавления конструктивного зазора (*2 – 4*)

Заключение

Опыт применения цифровой радиографии с многоразовыми запоминающими пластинами показал, что данная технология готова заменить традиционную радиографию с применением радиографической пленки. При этом устраняются «мокрые» процессы фотообработки, нет необходимости в «темной» комнате, обеспечивается существенное повышение производительности контроля в целом и, в частности, снижение до минут интервала времени между экспонированием и получением радиографического снимка. Также упрощаются хранение и архивирование результатов контроля, поскольку снимки получают непосредственно в цифровом виде в компьютере.

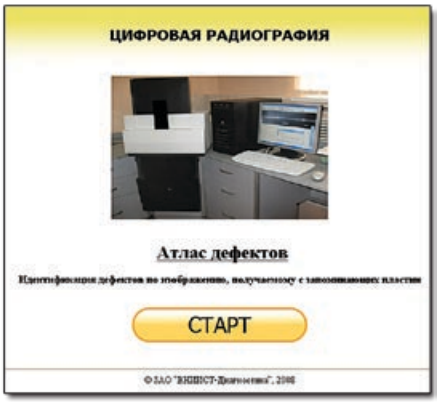


Рис. 7. Титульный лист Атласа радиографических изображений дефектов

Рассматриваемая технология не просто повышает производительность контроля, но и обеспечивает существенное повышение ресурса рентгеновских аппаратов, а также снижение дозовой нагрузки на персонал. Еще одна особенность технологии: если многоразовые пластины, применяемое оборудование и ПО дают достаточно широкий диапазон чувствительности к излучению, то обеспечивается возможность контроля изделий с разнотощинностью в 2 и более раз за 1 экспозицию.

Для внедрения технологии цифровой радиографии в широкую практику промышленного применения необходимо доработать действующие нормативы и ГОСТы в части введения в них разрешительных положений по применению данной технологии, в том числе – разрешить принимать результаты радиографии только по цифровым изображениям снимков без выполнения их копий на твердом носителе.

Литература

1. Комплексы цифровой радиографии Фосфоматик. Руководство по эксплуатации и паспорт. – СПб., 2006.

2. Майоров А. А. Компьютерная радиография с использованием флуоресцентных запоминающих пластин – что это такое? – В Мире НК. 2004. № 2 (25). С. 42–43.

Статья получена 14 апреля 2009 г.