

ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ АВИАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
ОАО НИАТ

Зам. Генерального директора ОАО НИАТ


А.А. Бородкин

« 28 » 08 2003 г.

Технический отчет
по теме:

**«Рентгеносенситометрические и радиационно-
дефектоскопические испытания рентгенографических
пленок D2 ÷ D8 Структурис фирмы "Агфа" и пленок
РТ-1, РТ-К РФ»**

Начальник НИЛ-4450


А.А. Алексеенко

2003 г.

Содержание

1. Состояние вопроса
2. Рентгеносенситометрические характеристики рентгенографических пленок
3. Химико-фотографическая обработка
4. Режимы контроля
5. Классификация рентгенографических пленок и область применения

Заключение

1. Состояние вопроса.

ОАО "НИАТ" имеет опыт работы с рентгенографическими пленками Структурикс фирмы "Агфа - Геверт" с 1982 г. Несмотря на довольно большой ассортимент выпускавшихся в СССР рентгенографических пленок, до 7 наименований, пленки "Агфа-Геверт" применялись в авиационной промышленности. В основном, это пленки типа D2, D3, D4 и D5 и применялись для радиографического контроля особо ответственных соединений из композиционных материалов, теплозащитных покрытий и толстостенных сварных соединений из титановых и стальных сплавов. Опыт работы с рентгенографическими материалами фирмы "Агфа-Геверт" имели и отдельные предприятия авиационной промышленности.

В настоящее время отечественная промышленность выпускает только 2 вида промышленных рентгенографических пленок РТ-1 и РТ-К.

Задачей данных исследований было определение рентгеносенситометрических и радиационно-дефектоскопических характеристик нового поколения пленок D2, D3, D4, D5, D7 и D8 Структурикс фирмы "Агфа" по стандартам и нормативам РФ.

По результатам исследований указанных выше пленок фирмы "Агфа" была определена область их применения в отрасли для включения в нормативно-техническую документацию по радиографическому контролю.

2. Рентгеносенситометрические характеристики рентгенографических пленок.

Рентгеносенситометрические характеристики рентгенографических пленок Структурис производства "Агфа" определялись на рентгеносенситометре РС – 7, аттестованном и сертифицированном в Госстандарте РФ.

Получение характеристической кривой на каждую из испытуемых пленок D2, D3, D4, D5, D7 и D8 достигалось путем экспонирования полоски пленки на указанном выше рентгеносенситометре.

Задаваемая на 15-ое поле пленки максимальная мощность экспозиционной дозы посредством диска с пятнадцатью вырезами (модулятора), угловые размеры которых измеряются через $\sqrt{2}$ соответственно модулируется в отношении 1:128.

После экспонирования каждую сенситограмму подвергали химико-фотографической обработке при оптимальном времени проявления. Затем на денситометре замеряли оптическую плотность 15 полей сенситограммы и строили характеристические кривые на каждый тип пленки, т.е. D2, D3, D4, D5, D7 и D8.

По полученным характеристическим кривым определялись следующие показатели:

- чувствительность к излучению,
- контрастность (градиент),
- оптическая плотность вуали.

Чувствительность рентгенографических пленок определяли по характеристической кривой как величину, обратную экспозиционной дозе, необходимой для получения оптической плотности $S=0,85+S_0$.

Чувствительность пленки согласно стандарту РФ измеряется при напряжении на рентгеновской трубке 80кВ. Параметр чувствительности предназначен для определения правильной экспозиции при практической радиографии и для сравнения рентгенографических пленок между собой.

Градиент характеристической кривой рентгеновских пленок D2, D3, D4, D5, D7 и D8 определяет крутизну характеристической кривой в любой ее точке $gs=dS/dlgD$.

Это свойство пленки отвечать на определенный интервал экспозиции большим или меньшим приращением оптической плотности, называется контрастностью пленки.

Коэффициент контрастности один из основных показателей пленки, т.е. мера ее контрастности и является наибольшим градиентом. Численно он равен тангенсу угла наклона прямолинейного участка характеристической кривой.

Основным показателем контрастности безэкранных рентгенографических пленок следует рассматривать средний градиент.

Численно он равен среднеарифметическому значению градиентов пленки в нижней и верхней полезных точках характеристической кривой $g=1/2(g_{SH}=g_{SB})$.

Нижняя граница полезной части характеристической кривой характеризуется оптической плотностью $Sh=1,0$, а верхняя $Sb=4,0$.

Замеренные, таким образом рентгеносенситометрические показатели пленок D2, D3, D4, D5, D7 и D8 приведены в таблице № 1. Для сравнения приведены данные по пленкам РФ РТ-1 и РТ-К.

Основные технические данные рентгенографических пленок

Таблица 1

Тип Или Марка	Чувстви- тельность ρ^{-1} не менее	Коэффициент Контрастности, (средний градиент)	Оптическая плот- ность вуали, Ед. опт. плотности
Пленки РФ			
РТ-1	30,0	3,1	0,18
РТ-К	6,0	4,0	0,08
Пленки Структурикс фирмы «АГФА»			
D2	1,5	7,2	0,19
D3	2,5	6,4	0,19
D4	4,0	6,0	0,19
D5	6,0	5,7	0,19
D7	10,0	5,2	0,19
D8	14,0	4,6	0,19

3. Химико-фотографическая обработка.

После экспонирования пленку подвергали химико-фотографической обработке по двум вариантам:

- ручная обработка в кюветах при горизонтальном положении,
- автоматическая фотообработка в фотоавтоматах фирмы "Агфа-Геверт", NDT E.

Предварительно на рентгеновские пленки Структурис D2, D3, D4, D5, D7 и D8 экспонировались производственные детали с характерными дефектами и эталонами чувствительности по ГОСТ № 7512. То же было повторено на рентгеновские пленки РТ-1 и РТ-К.

В данном случае рассматривался вопрос влияния ручной фотообработки пленки Структурис в отечественном метол – гидрохиновом проявителе «Рентген-2» и фиксаже БКФ-2 на качество пленок "Агфа".

Отечественная химико-фотографическая промышленность не выпускает рентгенографических пленок, предназначенных для обработки в фотоавтоматах. В связи с этим сравнить фотообработку удалось только в следующих вариантах:

А) ручная фотообработка пленок Структурис "Агфа" с отечественными пленками РТ-1 и РТ-К.

Б) ручная фотообработка пленок Структурис "Агфа" с автоматической фотообработкой этих же пленок в фотоавтомате.

Вариант А: ручная обработка, химикаты отечественные, пленки РТ-1 и РТ-К. Качество рентгенограмм - удовлетворительное, отдельные пленки имеют поверхностные дефекты типа царапин, а так же дефекты фотообработки.

Пленки D2, D3, D4, D5, D7 и D8. Качество рентгенограмм - отличное.

Дефектов поверхности пленки и фотообработки не имеют.

Вариант В: ручная обработка и автоматическая фотоавтомата.

Пленки D2, D3, D4, D5, D7 и D8. Качество рентгенограмм - отличное.

Существенной разницы между видами фотообработки нет.

От условий проведения химико-фотографической обработки и применяемых химикатов зависит контрастность изображения, зернистость, чувствительность к излучению, оптическая плотность вуали, поэтому при работе с рентгенографическими пленками Структурис "Агфа" D2, D3, D4,

D5, D7 и D8 необходимо стремиться к использованию фотообрабатывающих составов и химикатов этой фирмы.

Возможность обработки рентгенографических пленок Структурикс D2 ÷ D8 в фотоавтоматах позволит:

- сократить цикл химико-фотографической обработки ;
- получить стабильные результаты радиографического контроля ответственных конструкций отрасли.

Европейские сертификационные требования к авиационной продукции, прошедшей радиографический контроль, требуют применения автоматической фотообработки рентгеновской пленки, что делает актуальным вопрос использования фотоавтоматов.

4. Режимы контроля

Режимы контроля определялись путем просвечивания ступенчатых клиньев из различных материалов на рентгенографические пленки D2, D3, D4, D5, D7 и D8 и для сравнения на пленке РТ-1 и РТ-К.

Полученные, таким образом, градации оптических плотностей, соответствующих определенной толщине материала, напряжению на рентгеновской трубке и типу рентгенографической пленки замерялись на денситометре.

ГОСТ 7512 «Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Радиографический метод устанавливает рабочую оптическую плотность снимка равной 1,5 ед и более. ГОСТ 20426 «Контроль неразрушающий. Методы дефектоскопии радиационные. Область применения» устанавливает диапазон толщин материалов, контролируемых с использованием излучения данной энергии.

После обработки экспериментальных данных удалось установить коэффициент перехода по времени просвечивания от пленки РТ-К, D5 к другим пленкам. Данная зависимость приведена в таблице 2.

В отраслевой производственной инструкции ПИ 1.4.415-92 приведены номограммы экспозиций просвечивания различных материалов, которые необходимо корректировать при практической работе с пленками D2 : D8 по коэффициенту перехода (К).

Коэффициент перехода К по времени просвечивания от пленки РТК, D5 к другим пленкам

Таблица 2

(РТ-5), D5, РТ-К	Марка пленки					
	РТ-1	D8	D7	D4	D3	D2
1,0	0,10	0,3	0,5	2,0	2,5	5,0

Примечание. Время просвечивания на пленку РТ-К, D5 принято равным 1.»

5. Классификация рентгенографических пленок и область применения

Европейским стандартом EN 584-1 установлены следующие параметры для классификации промышленных рентгеновских пленок:

- g_2 и g_4 - градиенты характеристической кривой при оптической плотности соответственно $S_2 = 2 + S_0$ и $S_4 = 4 + S_0$, где S_0 - оптическая плотность вуали;

- σ_{s_2} - гранулярность при оптической плотности $S_2 = 2 + S_0$;

- g_2 / σ_{s_2} - отношение "градиент/шум" при оптической плотности $S_2 = 2 + S_0$.

В соответствии с этими параметрами установлены 6 классов систем пленок и соответствующие этим классам предельные значения указанных параметров (табл. 3).

Предельные значения градиента, отношения "градиент/шум" и гранулярности промышленных рентгеновских пленок (по EN 584-1)

Таблица 3

Классы систем пленок	Минимальный градиент $g_{\text{мин}}$ при		Минимальное отношение "градиент/шум" $(g / \sigma_s)_{\text{мин}}$ при $S_2 = 2 + S_0$	Максимальная гранулярность $G_{\text{Смакс}}$ при $S_2 = 2 + S_0$
	$S_2 = 2 + S_0$	$S_4 = 4 + S_0$		
C1	4,5	7,5	300	0,018
C2	4,3	7,4	270	0,018
C3	4,1	6,8	180	0,023
C4	4,1	6,8	150	0,028
C5	3,8	6,4	120	0,032
C6	3,5	5,0	100	0,039

Классификация промышленных рентгеновских пленок Европы и России по EN 584-1 приведена в табл. 4.

**Классификация отечественных и зарубежных
рентгеновских пленок в соответствии с
европейским стандартом EN 584-1**

Таблица 4

Классы пленок По EN 584-1	Пленки фирмы "Агфа" (Бельгия)	Пленки РФ
	Типа "Структурикс"	
C1	D2	-
C2	D3	-
C3	D4	-
C4	D5	РТ-К
C5	D7	-
C6	D8	РТ-1

Область применения рентгенографических пленок D2 ÷ D8 Структурикс производства "Агфа" такова:

- D2 - для контроля тонкостенных неразъемных соединений, алюминиевых сплавов, композиционных материалов, применение в микрофокусной радиографии и т.д., при напряжениях на рентгеновской трубке от 5 до 150 кВ;
- D3, D4, D5 – для контроля сварных, паяных и других неразъемных соединений ответственных конструкций толщиной до 30 мм по стали, при напряжениях на рентгеновской трубке от 70 до 300 кВ;
- D7, D8 - для контроля сварных, паяных и других неразъемных соединений толстостенных конструкций (толщиной более 30 мм по стали), при напряжениях на рентгеновской трубке до 420 кВ.

Конкретная марка пленки устанавливается из расчета времени экспонирования, не превышающего 5-10 мин., если по условиям производства не требуются более короткие экспозиции.

Заключение

Практически все литые детали, паяные, клееные и сварные узлы в отрасли подвергаются 100% неразрушающему контролю. Основная доля неразрушающего контроля приходится на радиографию, т.е. на рентгеновскую пленку – до 78% от общего объема.

В связи с освоением новых высокопрочных материалов (композиционных материалов, алюминиево-литиевых сплавов, титановых и других сплавов) и новых технологических процессов (электроннолучевая и диффузионная сварка, индукционная пайка, склеивание и др.) требования к надежности радиографического контроля возрастают.

Новым технологическим процессам сварки, пайки, склеивания и другим свойственна низкая дефектность, но одновременно уменьшаются размеры образующихся дефектов.

Например, при сварке большинство дефектов имеет раскрытие 25-100 мкм, а диффузионной сварке 5-10 мкм, переходе в ряде случаев в «слипание» свариваемых поверхностей. Это приводит к необходимости применения рентгенографических пленок в радиографии с характеристиками: низкой чувствительностью к излучению, повышенной разрешающей способностью и не имеющих дефектности при химико-фотографической обработке.

Эти рентгенографические материалы нужны и при контроле в эксплуатации изделий по техническому состоянию, где допускается безопасное повреждение конструкций, и только надежный метод радиографии позволит следить за развитием дефектов усталостного происхождения до допустимого предела, когда ремонт становится неизбежным.

Отечественные рентгенографические пленки, выпускаются лишь классами С4 и С6 и близки пленкам Структурикс лишь по чувствительности к излучению (в своем классе), но уступающие им по разрешающей способности и дефектности эмульсионного слоя.

Рентгенографические пленки классами С1, С2, С3 наиболее применимые в авиационной промышленности, не выпускаются в РФ.

В связи с этим, рентгенографические пленки D2 ÷ D8 Структурикс фирмы "Агфа" практически применимы на заводах отрасли без доработки технологического процесса радиографического контроля.

«УТВЕРЖДАЮ»
Генеральный директор ОАО «НИАТ»

О.С. Сироткин
« 01 » 09 2003 г.

ИЗВЕЩЕНИЕ № И 1.4.4512-2003

**об изменении ПИ 1.4.415-92 «Контроль сварных
и паяных соединений методами радиационной
дефектоскопии**

Дата введения 01.09.2003 г.

Изм.	Содержание изменения	Листов	Лист
		5	1
2			

- Стр. 6, п. 3.2.1. изложить в следующей редакции:

«3.2 Рентгенографические пленки и усиливающие экраны

3.2.1. При проведении радиографического контроля сварных и паяных соединений, деталей и узлов изделий рекомендуется применять рентгенографические пленки марок РТ-1, РТ-К, D2, D3, D4, D5, D7 и D8. Основные технические данные рентгенографических пленок приводятся в табл. 2.

Изм.	Содержание изменения	Листов	Лист
		5	2

Таблица 2

**Основные технические данные
рентгенографических пленок**

Тип или марка	Чувствительность p^1 не менее	Коэффициент контрастности, (средний градиент)	Оптическая плотность вуали, ед. опт. плотности
PT-1	30,0	3,1	0,18
PT-K*	6,0	4,0	0,08
D2**	1,5	7,2	0,19
D3	2,5	6,4	0,19
D4	4,0	6,0	0,19
D5	6,0	5,7	0,19
D7	10,0	5,2	0,19
D8	14,0	4,6	0,19

* Выпускается взамен пленки PT-5

**Рентгенографические пленки Структурикс D2 ÷ D8 фирмы "AGFA"

Гарантийный срок, в течение которого изготовитель несет ответственность за качество пленки, указывается на упаковочной коробке».

- Стр. 8 п. 3.2.5. изложить в следующей редакции:
«3.2.5. При просвечивании сварных и паяных соединений с использованием рентгеновских аппаратов и гамма-дефектоскопов рекомендуется применять рентгенографические пленки PT-K, D2 ÷ D7 с зарядкой их в кассеты с металлическими усиливающими экранами или без них в зависимости от области применения экранов (см. табл.3). в тех случаях, когда просвечиванию

Изм.	Содержание изменения	Листов	Лист
		5	3

Подвергаются жаропрочные сплавы, толстостенные сварные конструкции, а также используются большие фокусные расстояния, что приводит к длительным экспозициям при радиографическом контроле, допускается применение пленки РТ-1, D7 и D8, как временная мера по согласованию с главным сварщиком, представителем ОКБ, главным контролером, главным металлургом и подлежит утверждению главным инженером предприятия. В этом случае необходимо убедиться, что все недопустимые дефекты, практически выявленные по снимкам на пленке РТ-К, D4 и D5 при существующей технологии изготовления соединений, выявляются также по снимкам на пленке РТ-1, D7 и D8. В противном случае следует использовать более мощные источники излучения и пленку РТ-К, D4 и D5.»

- Стр. 9, п. 3.2.6. изложить в следующей редакции:

«3.2.6. При просвечивании сварных и других соединений с использованием бетатронов рекомендуется применять рентгенографические пленки РТ-К, РТ-1, D2 ÷ D8 с зарядкой их в кассеты с металлическими усиливающими экранами в зависимости от области их применения (см. табл. 3), а также экранные пленки, которые заряжают в кассеты по схеме К(МЛПЛМ)К или КШПМЖ.»

- Стр. 14, п. 3.5.1. изложить в следующей редакции:

«3.5. Режимы просвечивания рентгеновским излучением деталей, узлов и изделий

3.5.1. Режимы просвечивания излучением рентгеновских аппаратов непрерывного действия

Изм.	Содержание изменения	Листов	Лист
		5	4

соединений из сплавов на основе железа, титана, алюминия и магния определяются по номограммам, приведенным на черт. 3-6, корректируются с учетом Материала контролируемых объектов и условий их просвечивания, а также применяемых рентгеновских пленок, усиливающих металлических и люминесцентных экранов и других факторов.

Использование излучения импульсных рентгеновских аппаратов для радиографического контроля имеет следующие особенности. Интенсивность излучения импульсных рентгеновских аппаратов в 10-100 раз меньше, чем у рентгеновских аппаратов непрерывного действия. Поэтому в этом случае используют фокусные расстояния около 30 см.

Эффективная энергия излучения импульсных аппаратов типа "АРИНА" не превышает 200 кВ, а толщина просвечиваемых деталей с использованием пленок РТ-К, D2 ÷ D7 составляет практически 2-5 мм стали. Поэтому чувствительность к дефектам в два и более раз ниже чувствительности при использовании излучения аппаратов непрерывного действия, позволяющих просвечивать такие толщины при более низких напряжениях. На пленку РТ-1 и D8 этими аппаратами можно просвечивать сталь толщиной до 25 мм. Основной областью применения этих аппаратов является контроль в нестационарных условиях, когда масса и габариты блока излучения (см. приложение 1, табл.1) имеют решающее значение».

Стр. 17, п. 3.5.2 изложить в следующей редакции: «3.5.2 При определении времени просвечивания на рентгенографические пленки, отличающиеся от пленок, для которых построена номограмма экспозиций, необходимо пользоваться переходны

Изм.	Содержание изменения	Листов	Лист
		5	5

Ми коэффициентами K (табл. 10), характеризующими чувствительность различных типов пленок к излучению. Время просвечивания определяется по формуле $t = t_0 \cdot K/K_0$, где t_0 - время просвечивания, определенное по номограмме для заданной пленки и заданного варианта зарядки кассет; K_0 - переходный коэффициент из табл. 10 для заданной пленки и тех условий, в которых определялось t_0 ; t - время просвечивания на другую пленку и тот вариант зарядки кассет, для которых определяется t ; K - переходный коэффициент для пленки.

Таблица 10

Коэффициент перехода K по времени просвечивания от пленки РТ - 5 к другим пленкам

(РТ-5), D5, РТ-К	Марка пленки					
	РТ-1	D8	D7	D4	D3	D2
1,0	0,10	0,3	0,5	2,0	2,5	5,0

Примечание. Время просвечивания на пленку РТ-К, D5 принято равным 1.»

Заместитель генерального директора

А.А. Бородкин

Начальник НИЛ-4450

А.А. Алексеенко

Начальник сектора стандартизации

В.И. Пчелов

Причины изменения	Уточнение содержания ПИ 1.4.415-92
Указания о внедрении	-----
Приложения	Без приложения