

ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ АВИАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ  
ОАО НИАТ

Зам. Генерального директора ОАО НИАТ

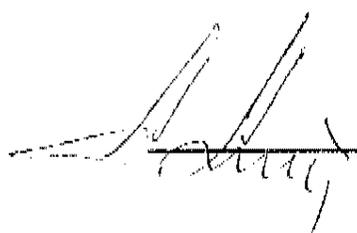
  
А.А. Бородкин

« 28 » 08 2003 г.

Технический отчет  
по теме:

**«Рентгеносенситометрические и радиационно-  
дефектоскопические испытания рентгенографических  
плёнок D2 ÷ D8 Структурис фирмы "Агфа" и плёнок  
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	Чувствительность $\rho^{-1}$ не менее	Коэффициент Контрастности, (средний градиент)	Оптическая плотность 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 (K).

#### Коэффициент перехода K 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;

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

- $g_2 / \sigma_{s_2}$  - 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 $S_2 = 2 + S_0$
	$S_2 = 2 + S_0$	$S_4 = 4 + S_0$		
<b>C1</b>	<b>4,5</b>	<b>7,5</b>	<b>300</b>	<b>0,018</b>
<b>C2</b>	<b>4,3</b>	<b>7,4</b>	<b>270</b>	<b>0,018</b>
<b>C3</b>	<b>4,1</b>	<b>6,8</b>	<b>180</b>	<b>0,023</b>
<b>C4</b>	<b>4,1</b>	<b>6,8</b>	<b>150</b>	<b>0,028</b>
<b>C5</b>	<b>3,8</b>	<b>6,4</b>	<b>120</b>	<b>0,032</b>
<b>C6</b>	<b>3,5</b>	<b>5,0</b>	<b>100</b>	<b>0,039</b>

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, алюминий-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 применимы 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 $\rho^1$ не менее	Коэффициент контрастности, (средний градиент)	Оптическая плотность вуали, ед. опт. плотности
РТ-1	30,0	3,1	0,18
РТ-К*	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 РТ-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 РТ-К, 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