

А.В. Степанов¹, Е.И. Косарина¹, Н.А. Саввина¹

РАДИОГРАФИЧЕСКИЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ПЛЕНКИ RT-K И RT-7T. РЕЗУЛЬТАТЫ ИХ ИСПЫТАНИЯ

Представлены результаты испытаний радиографических технических пленок RT-K и RT-7T с целью определения их дефектоскопических характеристик.

***Ключевые слова:** оптическая плотность, коэффициент контрастности, чувствительность, фотометрирование, анодное напряжение.*

A.V. Stepanov¹, E.I. Kosarina¹, N.A. Savvina¹

RT-K AND RT-7T RADIOGRAPHIC TECHNICAL FILMS AND THEIR STUDY RESULTS

The study results of RT-K and RT-7T radiographical technical films are presented with the goal of determining their defectoscopic characteristics.

***Keywords:** optical density, contrastness, sensitivity, photometricity, anode stress.*

¹ Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Государственный научный центр Российской Федерации [Federal state unitary enterprise «All-Russian scientific research institute of aviation materials» State research center of the Russian Federation] E-mail: admin@viam.ru

В системе европейских нормативных документов (EN) при радиационном неразрушающем контроле применяемые в качестве детектора радиационного изображения радиографические пленки строго регламентированы в зависимости от требований, предъявляемых к качеству объекта контроля (ОК). В EN определены два класса качества ОК: А и В. Класс В включает изделия, эксплуатируемые в экстремальных условиях (авиация, космос, атомная энергетика и пр.), поэтому проведение радиографического неразрушающего контроля изделий, относящихся к этому классу, следует осуществлять с повышенными требованиями по чувствительности контроля и разрешающей способности к выявлению дефектов (EN 444:2000 «Неразрушающий контроль. Общие принципы радиографического контроля металлов с использованием рентгеновского и гамма-излучения»). Для выполнения требований европейских норм необходимо строго регламентированное использование средств радиографического контроля, в частности радиографических пленок, так как качество радиографического изображения зависит от их свойств. Согласно EN 584-1 «Неразрушающий контроль. Промышленная радиографическая пленка. Часть 1. Классификация пленочных систем для промышленной дефектоскопии», все радиографические пленки подразделяются на 6 классов. Например, радиографические пленки фирм «Агфа» (Бельгия) и «Кодак» (США) распределяются по классам в зависимости от свойств, как показано в табл. 1.

Видно, что от класса С1 к классу С6 коэффициент контрастности (средний градиент) снижается, а чувствительность (величина, обратная дозе излучения, создающей на пленке оптическую плотность $S=2$ Б) растет. Если при контроле изделия регламентировано применение пленки класса С3, то возможно применение пленок классов С1, С2, С3 и недопустимо применение пленок классов С4, С5, С6.

Российские радиографические технические пленки, выпускаемые фирмой «Тасма», марок РТ-К и РТ-7Т заявлены как пленки классов С4 и С6 соответственно. В статье приведены результаты испытаний радиографических пленок с целью определения их свойств и сравнения с аналогичными свойствами пленок типа D5 и D7 (фирма «Агфа», Бельгия).

Таблица 1

Качество изображения и классы пленок

Класс пленки	Тип пленки	Коэффициент контрастности (средний градиент) при оптической плотности S (в белых – Б)		Доза излучения D , мГр (при $S=2$ Б)
		2	4	
Радиографическая пленка фирмы «Агфа» (Бельгия) [1]				
C1	D2	5,1	9,0	23,5
C2	D3	4,8	8,4	14,0
C3	D4	4,6	8,0	8,7
C4	D5	4,6	8,0	4,4
C5	D7	4,6	8,0	3,2
C6	D8	4,1	6,8	2,2
Радиографическая пленка фирмы «Кодак» (США) [2]				
C1	Dr	5,10	8,90	34,1
C2	M100	4,90	7,70	13,7
C3	Mx125	4,40	7,90	8,5
C4	T200	4,16	7,15	4,7
C5	AA400	4,20	7,40	2,9
C6	Cx	4,10	6,10	2,7

Испытание радиографических пленок РТ-К и РТ-7Т проведено по программе, разработанной в ВИАМ, с целью определения их дефектоскопических и сенситометрических характеристик. Испытание радиографических пленок РТ-К и РТ-7Т проводили при трех значениях анодного напряжения на рентгеновской трубке. Схема зарядки кассеты для испытания при напряжении 40 кВ показана на рис. 1, а, а при напряжениях 180 и 250 кВ – на рис. 1, б.

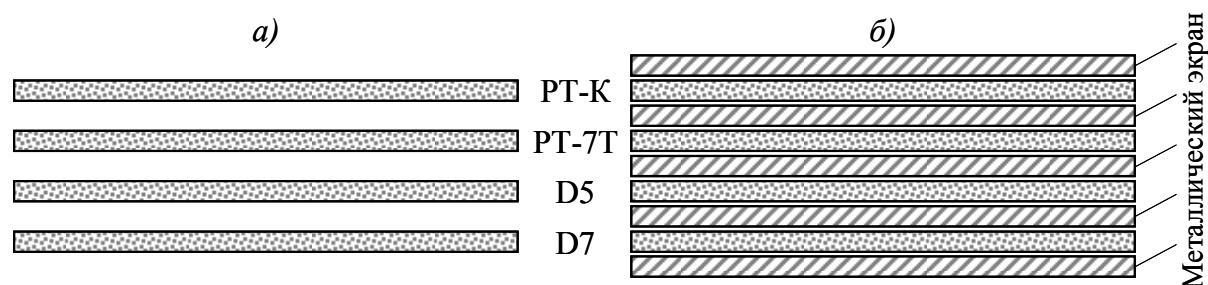


Рис. 1. Схема зарядки кассеты (пленки марок: РТ-К, РТ-7Т, D5 и D7) при радиографических испытаниях при анодном напряжении на рентгеновской трубке 40 (а), 180 и 250 кВ (б)

Определение дефектоскопических характеристик при использовании рентгеновского излучения с напряжением на рентгеновской трубке 40 кВ

В светонепроницаемую кассету помещали радиографические пленки по схеме, показанной на рис. 1, а. Ступенчатый клин из магниевого сплава МЛ5 просвечивали на рентгеновском аппарате РУМ-7 с бериллиевым окном по режиму: напряжение 40 кВ,

ток 10 мА, продолжительность экспозиции 2 мин, фокусное расстояние 700 мм (размер фокусного пятна излучателя $\Phi=3,5$ мм). Кассету с испытуемыми пленками РТ-К и РТ-7Т располагают под ступенчатым клином, как показано на рис. 2. Фотообработку экспонированных радиографических пленок проводили в соответствии с рекомендациями фирмы-изготовителя, используя стандартные фоторастворы. Рентгенограммы, полученные на радиографических пленках разных типов, просматривали на негатоскопе «Kowolux» (Бельгия) и фотометрировали с помощью денситометра DD5005. Результаты фотометрирования приведены в табл. 2.

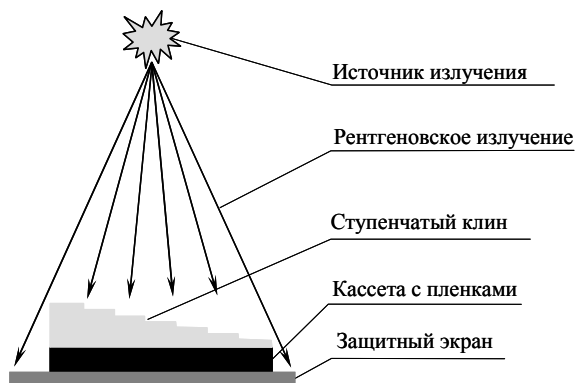


Рис. 2. Схема радиографического исследования пленок с помощью ступенчатого клина из магниевого сплава МЛ15 или стали

Таблица 2

Условия испытаний и результаты измерения оптической плотности при напряжении на рентгеновской трубке 40 кВ

Высота ступеньки, мм, клина из сплава МЛ15	Оптическая плотность, Б, рентгенограмм, выполненных на радиографических пленках			
	D7	D5	РТ-7Т	РТ-К
3	>4	>4	>4	>4
7	>4	>4	>4	>4
11	3,70	2,33	2,81	2,15
15	2,25	1,36	1,68	1,35
19	1,45	0,82	1,15	0,85
23	1,07	0,57	0,86	0,54
27	0,70	0,37	0,68	0,36

По данным таблицы построены зависимости оптической плотности от высоты ступенек клина (рис. 3, а), которые позволили оценить широту испытуемых пленок и получить рентгенографическое изображение с оптической плотностью $1,5 \div 3,7$ Б:

Тип радиографической пленки	Ширина пленки, мм
D7	11–19
D5	8,2–16
РТ-7Т	8,9–17
РТ-К	7–14.

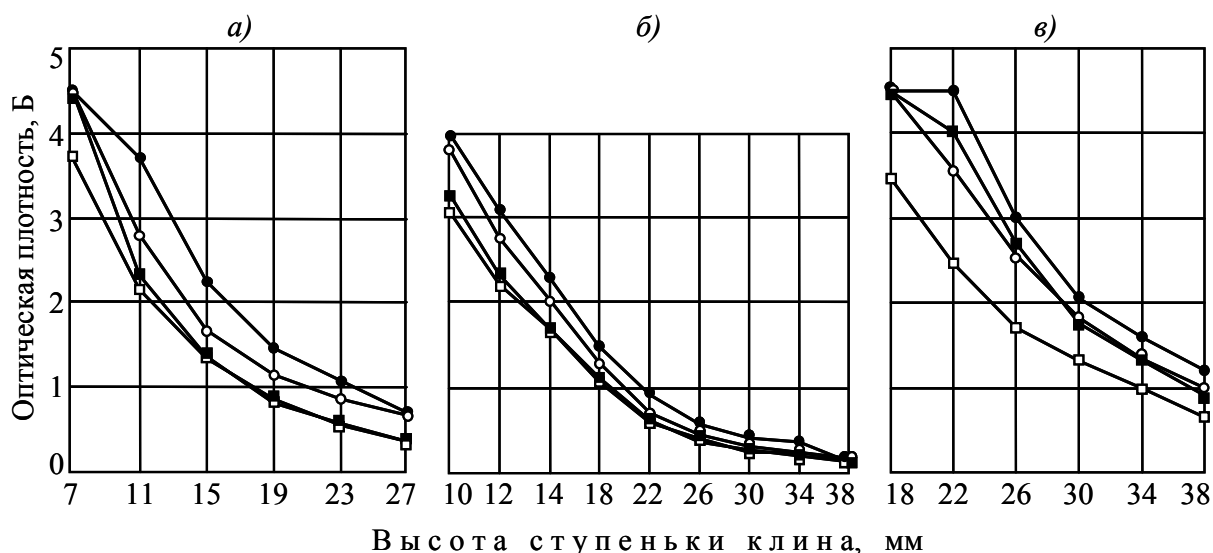


Рис. 3. Зависимость оптической плотности от высоты ступенек клина (а – из магниевого сплава МЛ5; б, в – из стали) пленок марок D7 (●), D5 (■), PT-7T (○) и PT-K (□) при анодном напряжении на рентгеновской трубке 40 (а), 180 (б) и 250 кВ (в)

Определение дефектоскопических характеристик при использовании рентгеновского излучения с напряжением на рентгеновской трубке 180 и 250 кВ

Проведены испытания, аналогичные описанному выше эксперименту, с использованием рентгеновского аппарата RE-320/14 (анодное напряжение 180 и 250 кВ, ток 10 мА, продолжительность экспозиции 2 мин, фокусное расстояние 850 мм, $\Phi=3,5$ мм). В качестве объекта просвечивания использовали два стальных ступенчатых клина:

Клин №1

Высота ступеньки, мм 2; 4; 6; 8; 10; 12; 14

Клин №2

Высота ступеньки, мм. 14; 18; 22; 26; 30; 34; 38.

В каждой ступеньке клина выполнены шесть цилиндрических лунок, глубина которых составляет 1; 2; 3; 5; 7 и 10% от высоты ступеньки. Оба клина просвечивали по схеме – см. рис. 2, с зарядкой кассет, показанной на рис. 1, б.

Результаты фотометрирования рентгенограмм, полученных при напряжении 180 и 250 кВ, приведены в табл. 3 и 4. По данным таблиц построены зависимости (см. рис. 3, б, в), определена также ширина пленок при разных напряжениях на рентгеновской трубке:

Тип радиографической пленки	Ширина пленки, мм, при напряжении, кВ	
	180	250
D7	11–18	24–35
D5	9,5–14	23,5–32
PT-7T	10,5–17,1	21,5–32,5
PT-K	9,2–14	16–28.

Таблица 3

**Условия испытаний и результаты измерения оптической плотности
при напряжении на рентгеновской трубке 180 кВ**

Высота ступеньки, мм, клина из стали	Оптическая плотность, Б, рентгенограмм, выполненных на радиографических пленках			
	D7	D5	РТ-7Т	РТ-К
<i>Клин №1</i>				
2	>4	>4	>4	>4
4	>4	>4	>4	>4
6	>4	>4	>4	>4
8	>4	>4	>4	>4
10	4,04	3,31	3,82	3,10
12	3,11	2,36	2,80	2,24
14	2,33	1,74	2,08	1,72
<i>Клин №2</i>				
14	2,34	1,80	2,12	1,73
18	1,53	1,15	1,34	1,10
22	0,94	0,64	0,73	0,63
26	0,60	0,40	0,48	0,43
30	<0,3	<0,3	0,36; 0,35; 0,34	0,33; 0,32; 0,35
34	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
38	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3

Таблица 4

**Условия испытаний и результаты измерения оптической плотности
при напряжении на рентгеновской трубке 250 кВ**

Высота ступеньки, мм, клина №2 из стали	Оптическая плотность, Б, рентгенограмм, выполненных на радиографических пленках			
	D7	D5	РТ-7Т	РТ-К
14	>4	>4	>4	>4
18	>4	>4	>4	3,49
22	>4	>4	3,57	2,47
26	2,99	2,69	2,56	1,70
30	2,06	1,76	1,83	1,31
34	1,58	1,32	1,33	1,00
38	1,20	0,91	0,90	0,64

**Определение относительного коэффициента контрастности
радиографических пленок**

Для определения относительного коэффициента контрастности радиографических пленок на основании данных, полученных при просвечивании ступенчатых образцов из сплава МЛ5 и стали, построены зависимости оптической плотности от логарифма относительной экспозиционной дозы излучения. Относительную дозу излучения определяли из соотношения:

$$D = D_0 \cdot e^{-\mu d},$$

где D_0 и D – экспозиционные дозы излучения в зонах без слоя поглотителя и за образцом в месте ступеньки высотой d ; μ – линейный коэффициент ослабления излучения, см^{-1} .

После логарифмирования и преобразования в десятичный логарифм получим (табл. 5):

$$\mu \cdot d = \ln(D_0/D) = 2,31 \lg(D_0/D).$$

При анодном напряжении 40 кВ (эффективная энергия фотонов $E=26,6$ кэВ) линейный коэффициент ослабления излучения магниевым сплавом МЛ15 составляет $\mu_{Mg}=2,91$ см⁻¹.

Таблица 5

Зависимость оптической плотности от логарифма относительной дозы $I_g (e^{-\mu d})$

Тип рентгеновской пленки	Оптическая плотность, Б, при значении логарифма относительной дозы					
	Анодное напряжение 40 кВ, клин из сплава МЛ15					
	-1,39	-1,92	-2,39	-2,92	-3,41	
D7	3,70	2,25	1,45	1,07	0,70	
D5	2,33	1,36	0,82	0,57	0,37	
PT-7T	2,81	1,68	1,15	0,86	0,68	
PT-K	2,15	1,35	0,85	0,54	0,36	
Анодное напряжение 180 кВ, стальной клин						
	-1,03	-1,23	-1,44	-1,85	-2,26	-2,68
D7	4,0	3,11	2,33	1,53	0,94	0,60
D5	3,31	2,36	1,74	1,15	0,64	0,40
PT-7T	3,82	2,80	2,12	1,34	0,73	0,48
PT-K	3,10	2,24	1,72	1,10	0,63	0,43
Анодное напряжение 250 кВ, стальной клин						
	-1,743	-2,13	-2,518	-2,90	-3,29	-3,68
D7	–	–	2,99	2,06	1,58	1,20
D5	–	–	2,69	1,76	1,32	0,91
PT-7T	–	3,57	2,56	1,83	1,33	0,90
PT-K	3,49	2,47	1,70	1,33	1,00	0,64

При значениях анодного напряжения 180 кВ ($E=120$ кэВ) и 250 кВ ($E=166$ кэВ) линейный коэффициент ослабления излучения стальным поглотителем составляет $\mu_{Fe}=2,368$ см⁻¹ и $\mu_{Fe}=2,23$ см⁻¹ соответственно.

Таблица 6

Относительный коэффициент контрастности

Анодное напряжение, кВ	Тип радиографической пленки	$tg\alpha / tg\alpha_{D7}$
<i>Клин из магниевого сплава МЛ15</i>		
40	D7	1,0
	D5	1,15
	PT-7T	0,92
	PT-K	0,75
<i>Стальной клин</i>		
180	D7	1,0
	D5	1,15
	PT-7T	1,0
	PT-K	0,95
250	D7	1,0
	D5	1,36
	PT-7T	1,0
	PT-K	1,19

Для определения чувствительности пленок и коэффициента контрастности при напряжении на рентгеновской трубке 40, 180 и 250 кВ использованы зависимости оптической плотности от логарифма относительной дозы излучения, по которым определены относительные величины градиентов (коэффициент контрастности) в области оптиче-

ской плотности $S=2$ Б (табл. 6). Относительную величину градиента радиографической пленки типа D7 ($tg\alpha/tg\alpha_{D7}$) принимали за единицу. Соотношение относительных величин градиентов радиографических пленок типов D7 и D5 соответствует заявленному фирмой-изготовителем.

Результаты испытания радиографических пленок РТ-К и РТ-7Т показали, что по своим дефектоскопическим свойствам радиографическая пленка РТ-К уступает ее предполагаемому аналогу и не может быть отнесена ни к одному из классов (С1–С6) по европейской классификации. Эта пленка не может быть использована при радиографическом контроле ответственных изделий авиационной техники (сварные соединения 1 класса по ГОСТ 23055–78 «Классификация сварных соединений по результатам радиографического контроля»), а также изделий экспортного варианта (отливок и сварных соединений), относящихся к классу В (EN 444).

Радиографическая пленка РТ-7Т может быть отнесена к классу С5 (EN 584-1 «Неразрушающий контроль. Промышленная радиографическая пленка. Часть 1. Классификация пленочных систем для промышленной дефектоскопии»), ее (как и пленку РТ-К) можно использовать для контроля отливок класса А, а также сварных соединений 3–7 класса по ГОСТ 23055–78.

ЛИТЕРАТУРА

1. <http://agfafilms.ru>.
2. <http://www.kodak.com/go/1D>.

REFERENCES LIST

1. <http://agfafilms.ru>.
2. <http://www.kodak.com/go/1D>.