

Типовые методики радиационнодефектоскопического контроля (Россия, Германия, США) (продолжение)

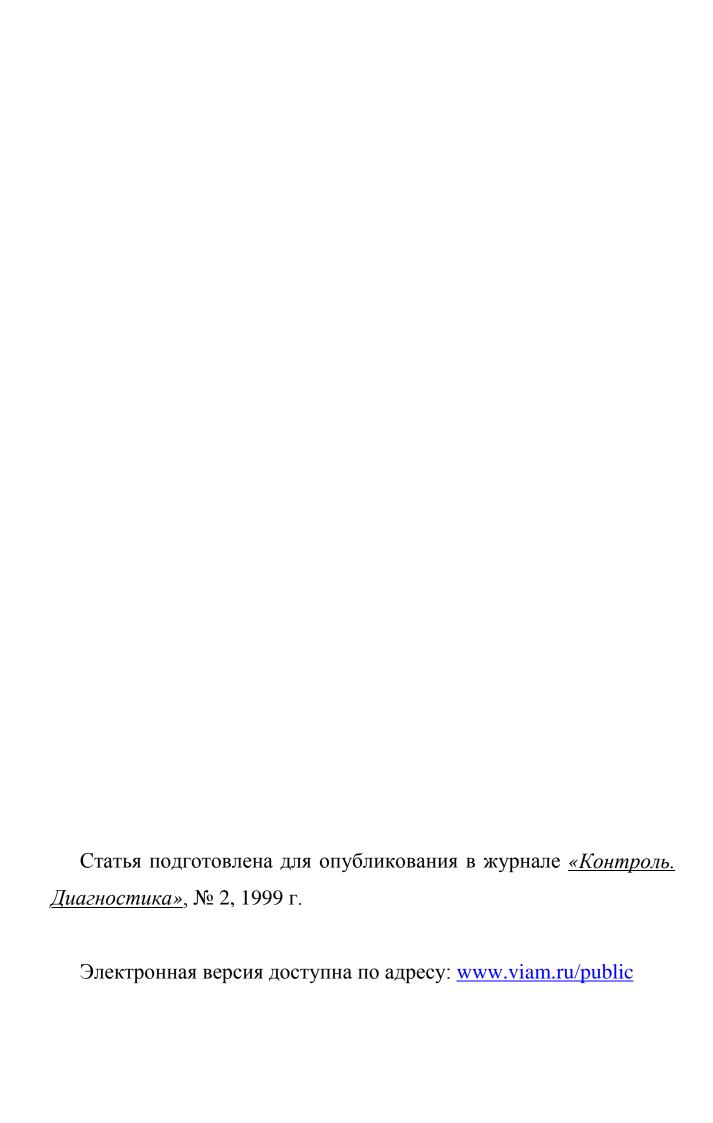
- В.В. Коннов
- В.А. Добромыслов
- Ф.Р. Соснин
- В.Г. Фирстов
- Е.Н. Косарина
- Е.Н. Гагин

Всероссийский институт авиационных материалов (ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ) – крупнейшее российское государственное материаловедческое предприятие, на протяжении 80 лет разрабатывающее и производящее материалы, определяющие облик современной авиационно-космической техники. 1700 сотрудников ВИАМ трудятся в более чем 30 научноисследовательских лабораториях, отделах, производственных цехах и испытательном центре, а также в 4 филиалах института. ВИАМ выполняет заказы на разработку и поставку металлических и неметаллических материалов, покрытий, технологических процессов и оборудования, методов защиты от коррозии, а также средств контроля исходных продуктов, полуфабрикатов и изделий на их основе. Работы ведутся как по государственным программам РФ, так и по заказам ведущих предприятий авиационно-космического комплекса России и мира.

В 1994 г. ВИАМ присвоен статус Государственного научного центра РФ, многократно затем им подтвержденный.

За разработку и создание материалов для авиационнокосмической и других видов специальной техники 233 сотрудникам ВИАМ присуждены звания лауреатов различных государственных премий. Изобретения ВИАМ отмечены наградами на выставках и международных салонах в Женеве и Брюсселе. ВИАМ награжден 4 золотыми, 9 серебряными и 3 бронзовыми медалями, получено 15 дипломов.

Возглавляет институт лауреат государственных премий СССР и РФ, академик РАН, профессор Е.Н. Каблов.



Типовые методики радиационно-дефектоскопического контроля (Россия, Германия, США) (продолжение)

В.В. Коннов, В.А. Добромыслов, Ф.Р. Соснин, В.Г. Фирстов, Е.Н. Косарина, Е.Н. Гагин

2.7. Выбор рентгеновских пленок и усиливающих экранов

Выпускаемые в России рентгеновские пленки делят на 4 класса (табл. 17).

 Таблица 17.

 Классы отечественных рентгеновских пленок

Классы	Показатели пленок						
пленок	Чувствительность к излучению	Контрастность	Зернистость				
1	Низкая	Очень высокая	Очень малая				
2	Средняя	Высокая	Малая				
3	Высокая	Средняя	Средняя				
4	Очень высокая	Низкая	Высокая				

Соответствующие этой классификации типы рентгеновских пленок и их сенситометрические характеристики приведены в табл. 18.

 Таблица 18.

 Типы и характеристики отечественных рентгеновских пленок

Класс	Тип	Сенситометрические характеристики*					
пленки	пленки	Чувствительность**	Контрастность***	Средний	Оптическая		
		$S_{0,85}, P^{-1}$		размер	плотность		
				зерна,10 ⁻⁶ м	вуали		
1	РТ-К	3	4,8	0,25	0,10		
2	PT-4M	5	3,5	0,25	0,10		
	РТ-СШ	10	3,0	0,55	0,15		
3	PT-1	25	3,2	0,77	0,20		
4	PM-1	400	2,8	1,16	0,20		
	PT-2	450	3,0	1,38	0,20		

^{*} Определяются при напряжении на рентгеновской трубке 80 кВ.

При выборе рентгеновской пленки можно руководствоваться следующими рекомендациями.

^{**} Чувствительность $S_{0,85}$ — величина, обратная экспозиционной дозе в P, необходимой для получения оптической плотности, на 0,85 превышающей оптическую плотность вуали.

^{***} Контрастность пленки: коэффициент контрастности γ – для экранных пленок; средний градиент g_s – для безэкранных пленок.

Рентгеновские пленки 4 и 3 классов необходимо применять во всех случаях, если только при этом удается выявлять недопустимые по ТУ дефекты. Их применение наиболее целесообразно для: контроля объектов, толстостенных просвечиваемых высокоэнергетическим излучением; выявления внутренней геометрии и скрытых повреждений агрегатов; компенсации потери времени при просвечивании объектов маломощными (например, импульсными рентгеновскими источниками аппаратами) и т.п.

Если на снимках, полученных на пленке 4 класса, недопустимые дефекты не выявляются, последовательно переходят к пленкам 3, затем 2 и 1 классов.

В ряде случаев, по соглашению с Заказчиком, при выборе класса пленки можно пользоваться рекомендациями стандарта США ASTM E94 (см. табл. 25).

Коэффициенты усиления люминесцентных экранов, применяемых в сочетании с пленками, даны в табл. 19.

Таблица 19. Коэффициент усиления люминесцентных усиливающих экранов

Тип пленки	Коэффициент усиления экрана*					
	ЭУ-В1	ЭУ-В2	ЭУ-В3	ЭУ-Б**	ВП-1	ВП-2
Экранная (РТ-2)	30	30	54	54	60	69
Безэкранная (РТ-К, РТ-4М, РТ-1)	2	2	3,6	3,6	4	4,6

^{*} Коэффициент усиления определен при U_a =80 кВ и времени экспозиции примерно 100 с.

Коэффициент усиления металлических усиливающих экранов при их оптимальной толщине, указанной в табл. 20, равен ~2.

При выборе вида усиливающего экрана помимо коэффициента усиления необходимо учитывать четкость изображения дефектов. При использовании металлических усиливающих экранов изображения дефектов на снимках получаются более четкими, чем при использовании люминесцирующих усиливающих экранов.

^{**} 9У-Б — свинцово-баритовый экран, остальные экраны вольфрамово-кальцевые; размер зерна всех экранов (6–20)· 10^{-6} м.

Источник	Рентгеновский	Радионуклидный источник				
излучения	аппарат, напряжение	¹⁷⁰ Tm	⁷⁵ Se	¹⁹² Ir	¹³⁷ Cs	⁶⁰ Co
	≥100 кВ					
Толщина	0,05	0,05	0,1	0,1	0,1	0,2
передней/задней	0,05	0,05	$\overline{0,2}$	$\overline{0,2}$	$\overline{0,2}$	$\frac{0,2}{0,2}$
фольги, мм						
Источник	Ускорите	ль электр	онов на э	нергию, Л	ИэB	
излучения	6	9	18	25	30	35
Толщина	0,5–1	1	1–1,5	2	2	2
передней/задней	$\overline{0,5-1,5}$	1–1,5	1,5–2	2–3	2–3	2–3
фольги, мм						

Европейские стандарты, в частности стандарт EN 584-1, классифицируют рентгеновские пленки в соответствии с их объективными параметрами. В качестве таких параметров приняты:

- g_2 и g_4 градиенты характеристических кривых при оптической плотности соответственно S_2 =2+ S_0 и S_4 =4+ S_0 , где S_0 оптическая плотность вуали;
- $-\sigma_{s_2}$ среднеквадратическое отклонение оптической плотности при $S_2 = 2 + S_0$;
- $-g_2/\sigma_{s_2}$ отношение градиента характеристической кривой к среднеквадратическому отклонению оптической плотности при S_2 =2+ S_0 .

Эти параметры оцениваются при напряжении на рентгеновской трубке 220 кВ.

Всего установлено шесть классов пленок – С1; С2; С3; С4; С5 и С6.

Отношение g_2/σ_{s_2} можно рассматривать как отношение «сигнал/шум» изображения дефекта на снимке. При переходе от класса C1 к классу C6 это отношение уменьшается, что соответствует ухудшению качества снимков.

Классификация рентгеновских пленок в соответствии с EN 584-1 приведены в табл. 21.

Таблица 21. Предельные значения градиента, отношение градиент/шум и гранулярность

Класс	Минимум граді	иента G_{\min} при	Минимум	Максимум
пленочных	$D=2$ выше D_0	$D=4$ выше D_0	отношения	гранулярности
систем			$(G/\sigma_D^{})_{\min}$ при	$(\sigma_D)_{\max}$ при $D=2$
			$D=2$ выше D_0	выше D_{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

Рекомендации по выбору пленок и металлических усиливающих экранов при просвечивании сплавов на основе железа, меди и никеля даны в табл. 22.

Таблица 22. Классы пленок и типы металлических усиливающих экранов для радиографии стали и сплавов на основе меди и никеля (по EN 444)

Источник излучения		Просвечиваемая	Классы пленок ^{1*} при		Тип и толщина металлических		
		толщина d	классе контроля		экранов для класса контроля		
			A	В	A	В	
Рентгеновское	Менее	См. рис. 1	C5	C3	Без экранов или с	передним и задним	
излучение при	100 кВ				экраном из свинц	а толщиной менее	
напряжении на					0,03	MM	
трубке	От 100				Передний и задний	і́ экраны из свинца	
	до 150 кВ				толщиной менес	е 0,15 мм (макс.)	
	От 150			C4	Передний и задний	і́ экраны из свинца	
	до 250 кВ				толщиной от (,02 до 0,15 мм	
¹⁶⁹ Yb, ¹⁷⁰	Tm	<i>d</i> <5 mm	C5	C3	Без экранов или с	передним и задним	
					экраном из свинц	а толщиной менее	
					0,03 мм		
		<i>d</i> ≥5 мм		C4	Передний и задний экраны из свинг		
					толщиной от (,02 до 0,15 мм	
Рентгеновское и	злучение	<i>d</i> ≤50 мм	C5	C4	Передний и задний экраны из св		
при напряжении					толщиной от 0,02 до 0,2 мм		
от 250 до 500 кН	3	<i>d></i> 50 мм		C5		в свинца толщиной	
					от 0,1 до	0,2 мм ^{2*}	
¹⁹² Ir		20< <i>d</i> ≤100 mm	C5	C4	Передний экран из	Передний экран из	
					свинца толщиной	· ·	
					от 0,02 до 0,2 мм	от 0,1 до 0,2 мм ^{2*}	
					Задние экраны из	свинца толщиной	
					от 0,02 до 0,2 мм		
⁶⁰ Co		<i>d</i> ≤100 мм	C5	C4	_	й экраны из стали	
		<i>d</i> >100 мм		C5	или меди толщиной	í от 0,25 до 0,7 мм ^{3*}	

Продолжение таблицы 22.

Источник излучения	Просвечиваемая	Классы пленок ^{1*} при		Тип и толщина металлических		
	толщина d	классе к	онтроля	экранов для класса контроля		
		A	В	A	В	
Ускоритель электронов	30 <d≤200 td="" мм<=""><td>C5</td><td>C3</td><td></td><td>й экраны из стали</td></d≤200>	C5	C3		й экраны из стали	
на энергии от 1 МэВ	<i>d</i> >100 мм		C5	или меди толщиної	й от 0,25 до 0,7 мм ^{3*}	
до 4 МэВ						
Ускоритель электронов на	<i>d</i> ≤100 мм	C4	C4	Передний экран и	з меди, стали или	
энергии выше 4 МэВ				тантала толщиной менее 1 мм (макс.)		
до 12 МэВ	100< d≤300 mm	C5	C4	Задний экран из меди или стали		
	<i>d</i> >300 мм		C5	толщиной мене	е 1 мм и тантала	
				толщиной м	енее 0,5 мм ^{4*}	
Ускоритель электронов на	<i>d</i> ≤100 мм	C4	-	1 1 1	тантала толщиной	
энергии >12 МэВ				менее	1 mm ^{5*}	
	100 <d≤300 td="" мм<=""><td>C5</td><td>C4</td><td>Без задне</td><td>го экрана</td></d≤300>	C5	C4	Без задне	го экрана	
	d>300 мм		C5	Передний экран из	тантала толщиной	
				менее	1 мм ^{5*}	
				Задний экран из т	антала толщиной	
				менее	0,5 мм	

^{1*} Могут быть использованы и лучшие классы пленок.

Принятая в США классификация промышленных рентгеновских пленок приведена в табл. 23.

Таблица 23. Типы промышленных рентгеновских пленок в США (по ASTM E 94)

Тип	Качественные показатели					
пленок	Чувствительность к	Контрастность	Зернистость			
	излучению					
1	Низкая	Очень высокая	Очень малая			
2	Средняя	Высокая	Малая			
3	Высокая	Средняя	Высокая			
4*	Очень высокая*	Низкая*	**			

^{*}Эти показатели относятся к эксплуатации с люминесцентными усиливающими экранами. Если пленка типа 4 экспонируется без экранов или со свинцовыми усиливающими экранами, она приобретает средние значения чувствительности, контрастности и зернистости.

Сопоставление табл. 23 и 18 показывает, что классы отечественных пленок точно соответствуют типам принятой в США классификации пленок.

В табл. 24 дано сопоставление типов промышленных рентгеновских пленок США (по ASTM E 94) с европейскими классами пленок (по EN 584-1).

 $^{^{2*}}$ Могут быть использованы готовые упаковки пленок с передним экраном толщиной менее 0,03 мм, если между объектом контроля и пленкой размещен дополнительный свинцовый экран толщиной около 1 мм.

 $^{^{3*}}$ В классе А могут быть также использованы экраны из свинца толщиной от 0,1 до 0,5 мм.

 $^{^{4*}}$ При согласии сторон в классе A могут быть использованы свинцовые экраны толщиной от 0,5 до 1 мм.

^{5*} При согласии сторон могут быть использованы экраны из вольфрама.

^{**} Зернистость зависит от свойств используемых люминесцирующих экранов.

Одновременно в табл. 24 указано место пленок фирм «Агфа-Геверт» (Бельгия), «Кодак» (США) и отечественных пленок по этим классификациям.

Таблица 24. Сопоставление типов пленок США (по ASTM E 94) с европейскими классами пленок (по EN 584-1) с отнесением к этим типам (классам) пленок основных фирм Европы и США

Типы пленок по	Класс пленок	Пленка фирмы	Пленка фирмы	Пленки
ASTM E 94	по EN 584-1	«Агфа-Геверт»	«Кодак» (США)	России
		(Бельгия) типа	типа «Индастрекс»	
		«Структурикс»		
1	C1	D2	DR	
	C2	D3	M	РТ-К
2	C3	D4	MX	РТ-ЧМ
	C4	D5	Т	РТ-СШ
3	C5	D7	AA/AX	PT-1
4	C6	D8	CX	PT-2,
				PM-1

Рекомендации по выбору рентгеновских пленок по классификации, принятой в США, приведены в табл. 25.

Этими рекомендациями можно руководствоваться и при выборе отечественных пленок (с 1 по 4 класс), особенно при проведении радиографического контроля по требованиям стандарта США ASTM Е 94.

В качестве переднего и заднего металлических усиливающих экранов при использовании рентгеновского излучения и напряжении на трубке более 125 кВ стандарт США ASTM Е 94 рекомендует свинцовую фольгу толщиной 0,1 мм.

При использовании радиоактивных источников необходимо использовать передние экраны из свинца толщиной более 0,13 мм для иридия-192 и более 0,25 мм – для кобальта-60.

При использовании ускорителей электронов на энергии более 1 МВ лучшую радиографическую чувствительность по сравнению со свинцовыми экранами могут обеспечить медные экраны эквивалентной толщины.

В тех случаях, когда свинцовые экраны не могут быть использованы, можно применять экраны из золота, тантала и других тяжелых металлов.

Толщина											
материала, мм	От 50	От 80	От 120	От 150	От 250	¹⁹² Ir	1 MB	⁶⁰ Co	2 MB	Радий	От 6
	до	до	до	до	до						до
	80 кВ	120 кВ	150 кВ	250 кВ	400 кВ						31 MB
				Ста	ЛЬ						
От 0 до 6 мм	3	3	2	1							
От 6 до 12 мм	4	3	2	2	1						
От 12 до 25 мм		4	3	2	2	2	1		1	2	
От 25 до 50 мм				3	2	2	1	2	1	2	1
От 50 до 100 мм				4	4	3	2	2	2	3	1
От 100 до 200 мм					4		3	3	2	3	2
Св. 200 мм									3		2
				Алюмі	иний				•		
От 0 до 6 мм	1	1									
От 6 до 12 мм	2	1	1	1							
От 12 до 25 мм	2	1	1	1		1					
От 25 до 50 мм	3	2	2	1	1	1					
От 50 до 100 мм	4	3	2	2	1	2					
От 100 до 200 мм		4	3	3	2	3					
Св. 200 мм					4						
				Брог	нза						
От 0 до 6 мм	4	3	2	1	1	1	1				
От 6 до 12 мм		3	2	2	2	1	1		1		
От 12 до 25 мм		4	4	3	2	2	1	2	1	2	
От 25 до 50 мм			4	4	3	3	1	2	1	2	1
От 50 до 100 мм					3	4	2	3	2	3	1
От 100 до 200 мм								3	2		2
Св. 200 мм									3		2
				Магі	ний				•		•
От 0 до 6 мм	1	1									
От 6 до 12 мм	1	1	1								
От 12 до 25 мм	2	1	1		1						
От 25 до 50 мм	2	1	1	1	1						
От 50 до 100 мм	3	2	2	1	1						
От 100 до 200 мм		3	2	2	3						
Св. 200 мм				4							
* Эти рекомендации	соответст	вуют обы	ино прин	ятому ур	овню каче	ества па	лиоград	bии 2–2	Т. Каче	ество рал	иографии

^{*} Эти рекомендации соответствуют обычно принятому уровню качества радиографии 2–2Т. Качество радиографии может быть улучшено выбором более низкого номера типа пленки, подходящей по экономическим и техническим требованиям.

2.8. Выбор фокусного расстояния (расстояния от источника излучения до пленки) или расстояния от источника излучения до контролируемого объекта

В России в соответствии с ГОСТ 7512 расстояние от источника излучения до контролируемого объекта следует выбирать таким, чтобы при просвечивании выполнялось следующее требование: геометрическая

Указанные в таблице напряжения соответствуют рабочим энергиям излучения.

нерезкость изображений дефектов на снимках при расположении пленки вплотную к контролируемому объекту не должна превышать половины требуемой чувствительности контроля при чувствительности до 2 мм и 1 мм – при чувствительности более 2 мм.

Обычно геометрическую нерезкость $U_{\scriptscriptstyle \Gamma}$ определяют по формуле:

$$U_{r} = \frac{\Phi \cdot d}{F \cdot d},\tag{1}$$

где d — толщина контролируемого объекта; Φ — размер фокусного пятна источника излучения; F — фокусное расстояние.

Для чувствительности контроля K≤2 мм в соответствии с ГОСТ 7512 найдем

$$U_{r} = \frac{\Phi \cdot d}{F \cdot d} \le \frac{K}{2} \quad . \tag{2}$$

Из уравнения (2) можно найти минимальное фокусное расстояние

$$F = d\left(1 + \frac{2\Phi}{K}\right) \tag{3}$$

или минимальное расстояние от источника излучения до контролируемого объекта

$$f = F - d = \frac{2\Phi d}{K}.\tag{4}$$

Следует обратить внимание, что если, например, труба диаметром D просвечивается через две стенки с расшифровкой верхнего и нижнего участков, в формулы (1)–(4) вместо толщины стенки d необходимо подставить диаметр D.

Для чувствительности контроля K>2 мм в соответствии с ГОСТ 7512 найдем

$$U_{\Gamma} = \frac{\Phi \cdot d}{F \cdot d} = 1 \text{ MM},$$

откуда минимальное фокусное расстояние (в мм)

$$F=d(1+\Phi)$$

или минимальное расстояние от источника излучения до контролируемого объекта (в мм)

$$f=F-d=\Phi d$$
.

В соответствии с европейским стандартом EN 444 отношение минимального расстояния от источника до контролируемого объекта f к размеру фокусного пятна излучателя Φ определяют из уравнений:

– для класса контроля А

$$f/\Phi \ge 7.5b^{2/3},$$
 (5)

– для класса контроля В

$$f/\Phi \ge 15b^{2/3},$$
 (6)

где b — расстояние от поверхности объекта, обращенной к источнику, до пленки. Если расстояние b<1,2d, (где d — толщина контролируемого объекта), то в уравнениях (1) и (2) величина b должна быть заменена толщиной объекта d.

Для выбора минимального расстояния от источника до контролируемого объекта можно использовать номограмму (рис. 5), построенную по уравнениям (5) и (6).

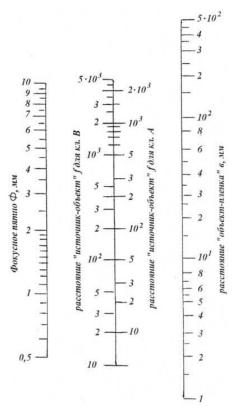


Рисунок 5. Номограмма для определения минимального расстояния f от источника до объекта по расстоянию b от объекта до пленки и размеру фокусного пятна источника Φ , EN 444

В соответствии со стандартами США геометрическая нерезкость изображений на рентгеновской пленке не должна превышать значений, данных в табл. 26.

Таблица 26. Максимальные значения геометрической нерезкости при радиографическом контроле материалов различной толщины

Толщина материала, мм	Нерезкость (максимум), мм
Менее 50	0,5
От 50 до 75	0,75
От 75 до 100	1,0
Св. 100	1,8

В соответствии со стандартом ASTM Е 94 геометрическая нерезкость может быть рассчитана по уравнению (аналогично уравнению (1)):

$$U_{r} = \frac{\Phi d}{F - d}$$

или определена по номограмме (рис. 6).

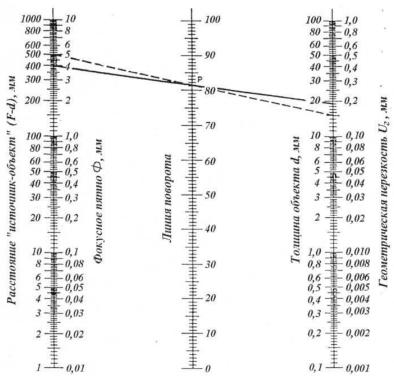


Рисунок 6. Номограмма для определения геометрической нерезкости U_{Γ} по ASTM E 94

<u>Пример определения геометрической нерезкости по номограмме</u> (рис. 6). Дано: расстояние «источник—объект» (F-d)=400 мм, размер фокусного пятна Φ =5 мм, толщина объекта d=15 мм.

Для определения геометрической нерезкости проводят прямую линию (штриховая линия) между 5 мм на шкале Φ и 15 мм на шкале d. Отмечают точку P на линии поворота. Проводят прямую линию (сплошная линия на рис. 6) от 400 мм на шкале F-d через точку P к шкале U_{Γ} . Пересечение этой линии со шкалой U_{Γ} дает геометрическую нерезкость в мм: U_{Γ} =0,19 мм.

Поскольку размер фокусного пятна Φ обычно определен для конкретного источника излучения, величину U_{Γ} при данной толщине объекта d обычно изменяют, варьируя фокусное расстояние F.

2.9. Оптическая плотность снимков

В соответствии с ГОСТ 7512 оптическая плотность изображений контролируемого участка сварного шва, околошовной зоны и эталона чувствительности должна быть не менее 1,5.

Максимальная оптическая плотность снимков определяется максимальной яркостью освещенного поля негатоскопа, которая должна составлять не менее 10^{S+2} , где S – оптическая плотность снимка.

По европейским стандартам (EN 444 и др.) минимальная оптическая плотность радиограмм, включая оптическую плотность подложки и вуали, определяется данными табл. 27.

Таблица 27. Минимальная оптическая плотность радиограмм

Ī	Класс контроля	Оптическая плотность*
	A	≥2,0
	В	≥2,3

^{*} Допускаемая погрешность ±0,1.

Максимальная плотность определяется яркостью поля используемых негатоскопов по стандарту EN 25580.

По стандартам США оптическая плотность радиографического снимка в месте изображения эталона чувствительности и интересующего участка

контролируемого объекта должна составлять минимум 1,8 в случае снимка, полученного при просвечивании рентгеновским излучением, или 2 – для снимка, полученного при помощи источника гамма-излучения.

Если просматриваются на просвет одновременно два наложенных радиографических снимка, минимальная оптическая плотность каждого из них должна иметь величину порядка 1,3, а суммарная плотность должна иметь величину минимум 2,6.

Максимальная оптическая плотность одного или суммарная плотность двух радиографических снимков не должна превышать 4,0.

Окончание следует

Список литературы:

- 1. ГОСТ 7512. Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Радиографический метод.
- 2. ГОСТ 20426. Контроль неразрушающий. Методы дефектоскопии радиационные. Область применения.
- 3. ГОСТ 23055. Классификация сварных соединений по результатам радиографического контроля.
- 4. Нормы радиационной безопасности (НРБ-96): Гигиенические нормативы. М.: Информац.-издат. центр Госкомсанэпиднадзора России. 1996. 127 с.
- 5. Нормы радиационной безопасности НРБ-76/87 и Основные санитарные правила работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений ОСП-72/87. М.: Энергоатомиздат, 1988. 160 с.
- Санитарные правила при проведении рентгеновской дефектоскопии №2191-80. М.: Минздрав СССР, 1980. 36 с.
- 7. Санитарные правила при радиоизотопной дефектоскопии №1171-74. М.: Минздрав СССР, 1974. 27 с.
- 8. Правила безопасности при транспортировании радиоактивных веществ ПБТРВ-73. М.: Атомиздат, 1974. 22 с.
- 9. EN 444 Non-destructive testing General principles for radiographic examination of metallic materials by X-and gamma-rays.
- 10. EN 473 Qualifications and certification of non-destructive testing personnel General principles.

- 11. EN 584-1 Non-destructive testing Industrial radiographic film Classification of film systems for industrial radiography.
- 12. DIN-54109 Bildgute von Röntgen und Gamma Filmaufnahmen an metallischen Werkstoffen.
- 13. ASTM E 94 Standard Practice for Radiographic Testing.
- 14. Румянцев С.В. Радиационная дефектоскопия. М.: Атомиздат, 1974. 512 с.
- 15. Добромыслов В.А., Румянцев С.В. Радиационная интроскопия. М.: Атомиздат, 1972. 352 с.
- 16. Румянцев С.В., Штань А.С., Гольцев В.А. Справочник по радиационным методам неразрушающего контроля. М.: Энергоиздат, 1982. 240 с.
- 17. Клюев В.В., Соснин Ф.Р. Теория и практика радиационного контроля. М.: Машиностроение, 1998. 170 с.
- 18. Румянцев С.В., Добромыслов В.А., Борисов О.И., Азаров Н.Т. Неразрушающие методы контроля сварных соединений. М.: Машиностроение, 1976. 335 с.
- 19. Румянцев С.В., Добромыслов В.А., Борисов О.И. Типовые методики радиационной дефектоскопии и защиты. М.: Атомиздат, 1979. 200 с.
- 20. Рентгенотехника: Справочник. В 2 кн. / Под общ. ред. В.В. Клюева. М.: Машиностроение, Кн. 1 1992. 480 с.; Кн. 2 1992. 368 с.
- 21. Горбунов В.И., Покровский А.В. Радиометрические системы радиационного контроля. М.: Атомиздат, 1979. 120 с.
- 22. Электрорадиография / И.П. Варанецкас, Р.А. Каваляускас, А.И. Каминскас, Ю.К. Ракаускас. М.: Атомиздат, 1974. 264 с.
- 23. Алешин Н.П., Щербинский В.Г. Контроль качества сварочных работ. М.: Высшая школа, 1986. 207 с.