

钢管环缝熔化焊对接接头 射线透照工艺和质量分级

本标准参照采用国际标准 ISO 1106—3—1984《熔化焊对接焊缝射线照相的推荐方法 第三部分：壁厚 50 mm 以下的钢管环缝熔化焊焊缝》。

1 主题内容与适用范围

本标准规定了钢管环缝熔化焊对接接头(以下简称焊缝)射线透照工艺方法及质量评定分级。

本标准适用于管壁厚为 3~120 mm 的低碳及低合金钢管焊缝,对焊制管件(三通、弯头)、焊管(纵缝、螺旋缝)及不锈钢焊缝也可参照使用。

本标准不适用于摩擦焊、闪光焊等机械方法施焊的焊缝。

2 引用标准

GB 3323 钢熔化焊对接接头射线照相和质量分级

GB 4792 放射卫生防护基本标准

GB 5618 线型象质计

GB 6417 金属熔化焊焊缝缺陷分类及说明

GB 9445 无损检测人员技术资格鉴定规则

ZB J04 004 射线照相探伤方法

SD 143 电力建设施工及验收技术规范(钢制承压管道对接焊缝射线检验篇)

3 检验人员

3.1 从事射线检验的人员,必须持有国家有关部门颁发的,并与其工种和级别相适应的资格证书;同时,亦需持有国家卫生防护部门颁发的射线安全操作资格证书。

3.2 底片评判人员必须具有二、三级资格证书,视力不低于 1.0。

3.3 射线检验人员应按照 GB 4792 的规定进行身体检查,并符合要求。

4 表面状态

4.1 焊缝及热影响区的表面质量(包括余高高度)应经外观检查合格。表面的不规则状态在底片上的图象应不掩盖焊缝中的缺陷或与之相混淆,否则应做适当的修正。

4.2 多层多道手工施焊的横焊焊缝其余高应进行打磨,以满足焊缝质量评定的要求。

5 透照方法

5.1 外透法

5.1.1 单壁透照法

射线源置于钢管外,胶片放置在离射线源最近一侧钢管内壁相应焊缝的区域上,并与焊缝贴紧(见图 1)。

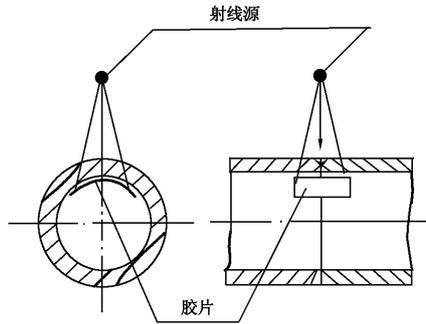


图 1 单壁透照法

5.1.2 双壁单投影法

射线源置于钢管外, 胶片放置在远离射线源一侧的钢管外表面相应焊缝的区域上, 并与焊缝贴紧(见图 2)。

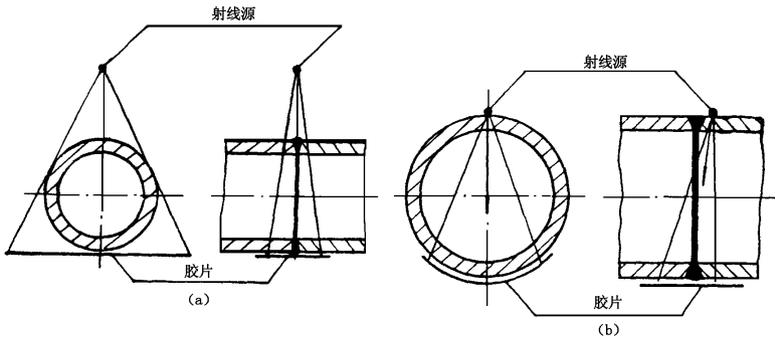


图 2 双壁单投影法

5.1.3 双壁双投影法

5.1.3.1 射线源置于钢管外, 胶片放置在远离射线源一侧的钢管外表面相应焊缝的区域上, 且使射线的透照方向与环形焊缝平面成适当的夹角, 使上下两焊缝在底片上的影像椭圆形显示。其间距一般以 3~10 mm 为宜(见图 3a)。

5.1.3.2 射线源置于钢管外, 胶片放置在远离射线源一侧的钢管外表面相应焊缝的区域上, 使射线垂直于焊缝(见图 3b)。

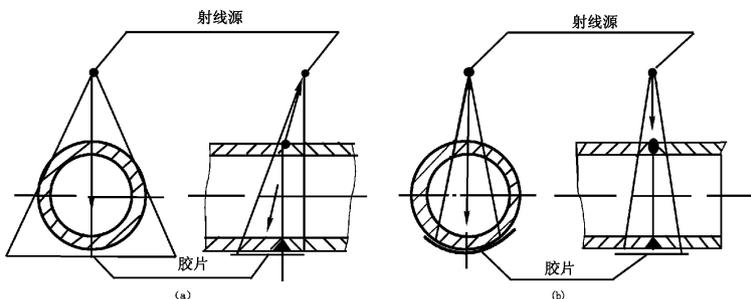


图 3 双壁双投影法

5.2 内透法

5.2.1 中心全周透照法

射线源置于钢管环缝的中心,胶片放置在钢管外表面环形焊缝上,并与之贴紧(见图 4)。

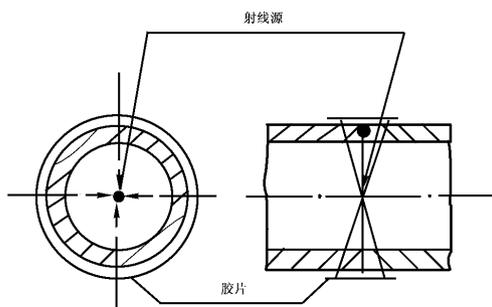


图 4 中心全周透照法

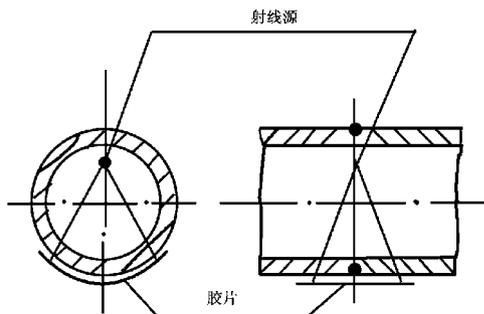


图 5 偏心透照法

5.2.2 偏心透照法

射线源置于钢管环缝中心以外的位置上,胶片放置在钢管外表面相应焊缝的区域上,并与之贴紧(见图 5)。

6 透照工艺

6.1 胶片

透照用胶片应选用 GB 3323 中规定的 J₁ 或 J₂ 型胶片,其固有灰雾度不大于 0.3。

6.2 增感屏

6.2.1 一般选用金属增感屏,在特殊情况下经合同双方同意也可使用金属荧光增感屏。

6.2.2 金属增感屏应根据不同的射线能量选用,并参照表 1 的规定。

表 1

mm

射线源种类	增感屏材料	前屏厚度	后屏厚度
X 射线 < 100 kV	铅	—	≥ 0.10
X 射线 100~250 kV		0.02~0.03	
X 射线 > 250 kV		0.03~0.05	
γ 射线 Tm ¹⁷⁰	铅或金属荧光	0.02	0.05
γ 射线 Ir ¹⁹²	铅	0.05~0.16	≥ 0.16
γ 射线 Cs ¹³⁷		0.10~0.20	≥ 0.20
γ 射线 Eu ¹⁵²⁺¹⁵⁴			
γ 射线 Co ⁶⁰	钢、铅	0.25~1.0	0.50~2.0

注:如使用钢屏,应增加曝光时间。

6.3 射线源的选择

6.3.1 以管电压为 400 kV 以下的 X 射线透照焊缝时,应根据透照厚度选取管电压值,一般需符合图 6 的规定。

当焊缝余高大于 2 mm,透照厚度比大于 1.1 时,允许降低反差。如选取高于图 6 规定的管电压值,其最大增量应不超过 50 kV。

6.3.2 超过表 2 的透照厚度值时,可使用 γ 射线源。

6.4 象质计及放置位置

6.4.1 飞外径大于 89 mm 的钢管,其焊缝透照采用 GB 5618 中规定的 R10 系列象质计。一般放置在胶片一端与管表面间(被检区长度的 1/4 处)。壁厚大于 20 mm 时,需做对比试验。

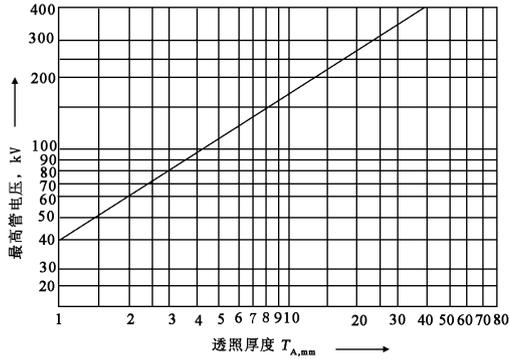


图 6 透照厚度和允许使用最高管电压的关系

表 2

射线源		小透照厚度, mm
名称	能量, MeV(平均值)	
Tm^{170}	0.08	>2
Ir^{192}	0.35	>10
Cs^{137}	0.66	>25
$Eu^{152+154}$	1.10	>25
Co^{60}	1.25	>38

注:表 2 所列最小透照厚度,并不代表 γ 射线与 X 射线具有等同检测灵敏度时的厚度。

6.4.2 外径小于和等于 89 mm 的钢管,其焊缝透照应采用附录 A 规定的 I 型专用象质计。一般放置于被检区一端的胶片与管表面之间。

6.4.3 外径小于和等于 76 mm 的钢管,采用双壁双投影法透照椭圆一次成像时,应采用附录 A 规定的 II 型专用象质计。一般放置在环缝上余高中心处。

6.5 未焊透深度对比块

对比焊缝的未焊透和内凹缺陷的黑度,应采用附录 A 规定的未焊透深度对比块。其应平行放置在距焊缝边缘 5 mm 处。

6.6 标记

6.6.1 定位标记

表明焊缝透照部位的定位标记应为铅质符号,又可分为中心标记(↖)和搭接标记(↑)(当分段透照时称为有效区段标记)。

6.6.2 识别标记

a. 被检的焊缝处附近均应有下列铅质识别标记:工件编号、焊缝编号和部位编号。如系返修的焊缝,其

透照部位还应有返修标记。

b. 工件表面应做出永久保留的标记,以作为对每张底片位置对照的依据。一般用钢印在工件上做出永久标记,如不适合打钢印时,可用准确的草图作标记。

6.6.3 标记位置

定位标记和识别标记均需离焊缝边缘至少 5 mm,并在底片上显示。

6.7 透照的几何条件

6.7.1 射线源至钢管外表面最小距离 L_1 的确定,一般应符合图 7 的规定。

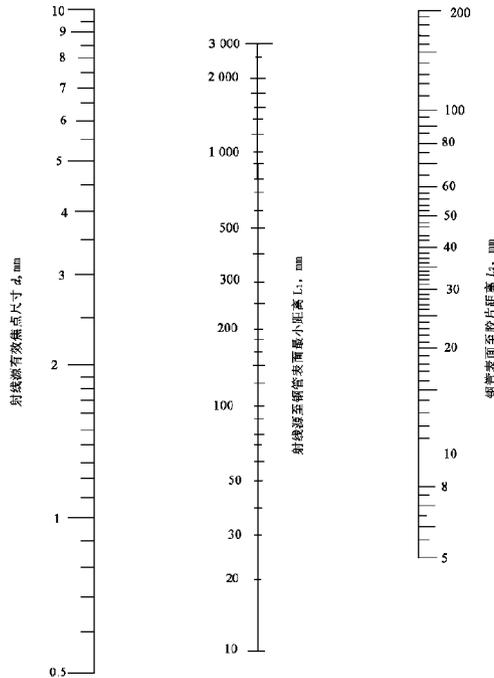


图 7 确定射线源至钢管距离的诺模图

6.7.2 在特殊情况下,采用中心全周透照法时,其射线源至钢管内表面最小距离 L_1 ,的确定可由合同双方商定;但对焊缝根部质量必须具备有效监控措施。

6.8 分段透照的数量

6.8.1 采用双壁单投影法透照时,射线源在钢管外表面的距离,当小于或等于 15 mm 时,可分为不少于 3 段的透照,即每段中心角为 120° ;当大于 15 mm 时,可分为至少 4 段的透照,即每段中心角为 90° 。

6.8.2 对外径大于 76 mm 且小于和等于 89 mm 的钢管,其焊缝以双壁双投影法透照时,至少分 2 段透照,两次间隔 90° 。

6.8.3 对外径小于和等于 76 mm 的钢管,其焊缝以双壁双投影法透照时,允许椭圆一次成象,但需保证其检出范围不少于周长的 90%。其测量计算方法应符合附录 B 的规定,底片质量应满足第 9 章的要求。

7 防散射线措施

7.1 暗盒后面应放置厚度为 2~3 mm 的铅板,以消除反向散射对胶片感光的影响。检查反向散射的方法应按 GB 3323 中的规定进行。

7.2 采用双壁双投影法透照小径管焊缝时,必须采用适当的铅罩遮挡,以屏蔽散射线,扩大检出范围,提高成像质量。

8 胶片处理

胶片处理应按 ZB J04 004 标准中的有关要求。

9 底片质量

9.1 象质指数

9.1.1 底片上应清晰显示出象质计钢丝影象。

9.1.2 在透照厚度比不大于 1.1 时,透照厚度值应根据透照方法确定,并应符合表 3 的规定。

表 3

透 照 方 法		透照厚度 T_A
外透法	单壁透照法	$T+h$
	双壁单投影法	$T \times 2+h$
内透法	中心全周透照法	$T+h$
	偏心透照法	$T+h$

注:① h 为焊缝的余高。

② T 为钢管实际壁厚。

9.1.3 外径小于和等于 76 mm 的钢管焊缝,用双壁双投影法透照椭圆一次成象时,其透照厚度应按附录 B 的规定计算,检出范围应符合 6.8.3 条的要求。

9.1.4 象质指数应根据透照厚度确定,并应符合表 4 的规定。

表 4 透照厚度与象质指数的关系

透射厚度,mm	≤6	>6~8	>8~12	>12~16	>16~20	>20~25	>25~32	>32~50	>50~80	>80~120
象质 指数	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6
编号 线直径, mm	0.125	0.160	0.200	0.250	0.320	0.400	0.500	0.630	0.800	1.000

9.2 黑度

底片有效检出范围内焊缝成象区的黑度范围应为 1.5—3.5(包括固有灰雾度)。

9.3 标志

底片上应清晰地显示象质计、未焊透深度对比块、定位标记和识别标记。

9.4 不应有的假缺陷

底片有效评定区域内,不应有因胶片处理不当引起的假缺陷或其他妨碍评定的假缺陷。

10 评片

10.1 评片时应在光线较暗的室内进行,并避免使底片表面产生反射的光源。

10.2 评片时应选用专用的观片灯,其应具有可调观察底片成象区最大黑度为 3.5 的亮度,照明区域应能遮蔽至所需的最小面积。

10.3 评片时允许使用低倍放大镜(小于 5 倍),辅助观察底片的局部部分。

11 焊缝质量的分级

根据焊接缺陷类型和数量,把焊缝质量分为四级。

11.1 裂纹、未熔合缺陷的评级

I、II、III 级焊缝内应无裂纹、未熔合；凡焊缝内有裂纹、未熔合即为 IV 级，该级为通用的判废级。

11.2 圆型缺陷的评级

11.2.1 评定方法

11.2.1.1 长宽比小于或等于 3 的缺陷(包括气孔、夹渣、夹钨)定义为圆型缺陷。

11.2.1.2 圆型缺陷用评定框尺进行评定，框尺应置于缺陷密集处，评定框尺寸的选定应依母材厚度确定，并符合表 5 的规定。

表 5

mm

母材厚度 T	≤ 25	$> 25 \sim 100$	> 100
评定框尺尺寸	10×10	10×20	10×30

11.2.1.3 评定时需把圆型缺陷尺寸换算成点数，并应符合表 6 的规定。

表 6

缺陷长径, mm	≤ 1	$> 1 \sim 2$	$> 2 \sim 3$	$> 3 \sim 4$	$> 4 \sim 6$	$> 6 \sim 8$	> 8
点数	1	2	3	6	10	15	25

11.2.1.4 评定时不计点数的缺陷尺寸应根据母材厚度确定，并应符合表 7 的规定。

表 7

mm

母材厚度 T	缺陷长径
≤ 25	≤ 0.5
$> 25 \sim 50$	≤ 0.7
> 50	$\leq 1.4\% T$

11.2.1.5 当若干缺陷与评定框尺边界线相交时，该缺陷点数应按其数值的三分之一计算。

11.2.1.6 当评定框尺附近缺陷较少，且确认只用该评定框尺大小划分级别不适当时，经合同双方协商，可将评定框尺面积沿焊缝方向扩大到 3 倍，求出缺陷总点数，用此值的三分之一进行评定。

11.2.2 分级评定

圆型缺陷的焊缝质量分级应根据母材厚度和评定框尺尺寸确定，各级允许点数的上限值应符合表 8 的规定。

表 8

评定框尺尺寸, mm 母材厚度, mm 点数 质量级别	10×10			10×20		10×30
	≤ 10	$> 10 \sim 15$	$> 15 \sim 25$	$> 25 \sim 50$	$> 50 \sim 100$	> 100
I	1	2	3	4	5	6
II	3	6	9	12	15	18
III	6	12	18	24	30	36
IV	> 6	> 12	> 18	> 24	> 30	> 36

11.2.2.1 单个圆型缺陷长径大于 $1/2 T$ 时，评为 IV 级。

11.2.2.2 I 级焊缝或母材厚度小于或等于 5 mm 的 II 级焊缝内，在评定框尺内不计点数的圆型缺陷数不得多于 10 个。

11.3 条状缺陷的评级

11.3.1 长宽比大于3的缺陷定义为条状缺陷。

11.3.2 条状缺陷的焊缝质量分级应根据母材厚度确定,并符合表9的规定。

表9

mm

质量级别	母材厚度 T	条状缺陷总长	
		连续长度	断续总长
I		0	0
II	$T \leq 12$	4	在任意直线上,相邻两缺陷间距均不超过 $6L$ 的任何一组缺陷,其累计长度在 $12T$ 焊缝长度内不超过 T
	$12 < T < 60$	$1/3T$	
	$T \geq 60$	20	
III	$T \leq 9$	6	在任意直线上,相邻两缺陷间距均不超过 $3L$ 的任何一组缺陷,其累计长度在 $6T$ 焊缝长度内不超过 T
	$9 < T < 45$	$2/3T$	
	$T \geq 45$	30	
IV		大于 III 级者	

注:①表中“ L ”为该组条状缺陷最长者的长度。②当被检焊缝长度小于 $12T$ (II级)或 $6T$ (III级)时,可按被检焊缝长度与 $12T$ (II级)或 $6T$ (III级)的比例折算出被检焊缝长度内条状缺陷允许值。当折算的条状缺陷总长小于单个条状缺陷长度时,以单个条状缺陷长度为允许值。

11.4 未焊透的评级

11.4.1 外径大于 89 mm 钢管,未焊透的焊缝质量分级应符合表10的规定。

表10

质量级别	未焊透深度		未焊透总长, mm	
	占壁厚百分比, %	极限深度, mm	连续未焊透长度	断续未焊透长度
I	0	0	0	0
II	≤ 10	≤ 1.5	$T < 12$ 时,不大于 4; $12 < T < 60$ 时,不大于 $1/3T$; $T \geq 60$ 时,不大于 20	间距小于 $6L$ 时,不超过连续未焊透长度;间距等于或大于 $6L$ 时,在任何 $12T$ 焊缝长度内不大于 T
III	≤ 15	≤ 2.0	$T \leq 9$ 时,不大于 6; $9 < T < 45$ 时,不大于 $2/3T$; $T \geq 45$ 时,不大于 30	间距小于 $3L$ 时,不超过连续未焊透长度,间距等于或大于 $3L$ 时,在任何 $6T$ 焊缝长度内不大于 T
IV			大于 III 级者	

注:①表中“ L ”为断续未焊透中最长者,“ T ”为管壁厚度。

②同一焊缝质量级别中,未焊透深度中占壁厚的百分比和极限深度此两个条件需同时满足。

11.4.2 外径小于和等于 89 mm 钢管,未焊透的焊缝质量分级应符合表11的规定。

表11

质量级别	未焊透深度		连续或断续未焊透总长占焊缝周长的百分比, %
	占壁厚百分比, %	极限深度, mm	
I	0	0	0
II	≤ 10	≤ 1.5	≤ 10
III	≤ 15	≤ 2.0	≤ 15
IV			大于 III 级者

11.5 根部内凹的评级

11.5.1 外径大于 89 mm 钢管,其焊缝根部内凹缺陷的质量分级应符合表 12 的规定。

表 12

质量级别	内 凹 深 度		内凹总长占焊缝总长的百分比, %
	占壁厚百分比, %	极限深度, mm	
I	≤10	≤1	≤25
II	≤15	≤2	
III	≤20	≤3	
IV	大于 III 级者		

11.5.2 外径小于和等于 89 mm 钢管,其焊缝根部内凹缺陷的质量分级应符合表 13 的规定。

表 13

质量级别	内 凹 深 度		内凹总长占焊缝总长的百分比, %
	占壁厚百分比, %	极限深度, mm	
I	≤10	≤1	≤30
II	≤15	≤2	
III	≤20	≤3	
IV	大于 III 级者		

11.6 综合评级

在评定框尺内,同时存在几种类型缺陷时,应先按各类缺陷分别评级,再将各自评定级别之和减 1 作为最终级别。

12 检验报告及底片的保存

12.1 检验报告的要求

焊缝透照后应写出检验报告,其内容至少应包括:产品(工程)名称、检验部位、检验方法、透照规范、缺陷名称、评片级别、返修次数及日期等,检验报告的格式应参照附录 C 的规定。检验报告需经评片和复评人员签字。

12.2 检验报告及底片的保存

检验报告和底片必须妥善保存至少五年,以备随时查核。

附 录 A

专用象质计和未焊透深度对比块 (简称对比块)的型式和规格 (补充件)

A1 I 型专用象质计

外径大于 76 mm 且小于和等于 89 mm 的钢管焊缝,采用双壁单投影法分段透照,应选用 I 型专用象质计。

A1.1 I 型专用象质计由 5 根直径相同的钢丝和铅字符号组成,其制做要求应符合 GB 5618 的规定。其型式、线编号见图 A1。

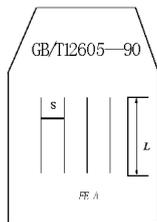


图 A1 I型专用象质计

L—25 mm; S—3~5 mm

A1.2 图 A1 中编号由 3 位数字表示,第 1、2 位表示材料,第 3 位表示线编号。

A2 II型专用象质计

外径小于和等于 76 mm 的钢管焊缝,采用双壁双投影法透照,应选用 II 型专用象质计。

II 型专用象质计由一根或两根钢丝(其长度大于所透照的管子外周长)和铅字符号组成。制做要求应符合 GB 5618 的规定,其型式、线编号见图 A2。

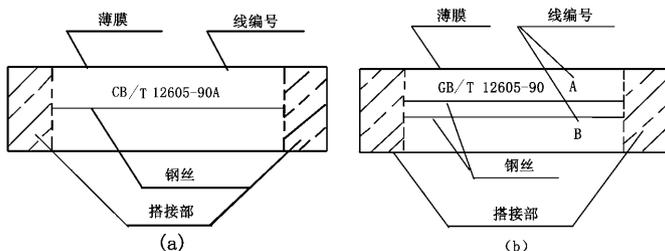


图 A2 II型专用象质计

A3 专用对比块

专用对比块的型式和规格应符合图 A3 和表 A1 的规定。

专用对比块应与被检体属同类材料。

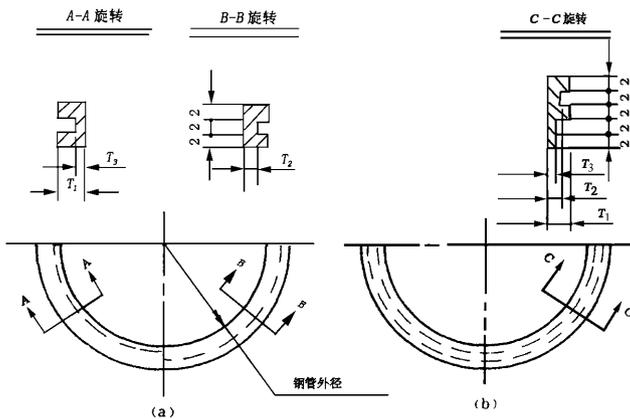


图 A3 专用对比块

表 A1

mm

管壁厚 T	第一阶厚度 T ₁	偏差	第二阶厚度 T ₂	偏差	第三阶厚度 T ₃	偏差
3.5	1	0 -0.06	0.65	+0.025	0.5	0.025 0
4	1		0.6		0.4	
5	1		0.5	0.25		
6	1		0.4	0.1		

A4 沟槽对比块

沟槽对比块的型式和规格应符合图 A4 和表 A2 的规定。

沟槽对比块应与被检体属同类材料。

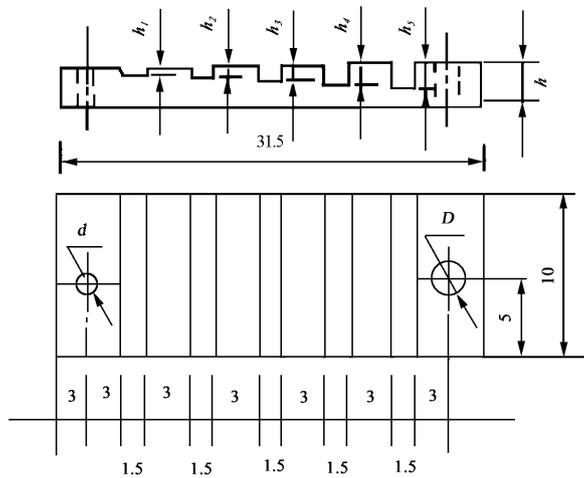


图 A4 沟槽对比块

表 A2

mm

尺寸 对比块编号	尺寸					偏差		尺寸		偏差		
	h_1	h_2	h_3	h_4	h_5	偏差	h	偏差	d	偏差	D	偏差
I	0.3	0.6	1.2	1.5	1.8	0 -0.06	2.5	0 -0.10	1.0	+0.06	—	—
II	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	0 -0.10	3.5	0 -0.12	1.0	0	2.0	+0.06 0

附录 B

透照厚度及底片有效检出范围的计算方法

(补充件)

B1 外径小于或等于 76 mm 的钢管焊缝, 采用双壁双投影法一次椭圆成象透照时, 透照厚度 T_A 应按下

列公式计算。

B1.1 T_A 计算式:

$$T_A = 0.8 \sqrt{(D-T) \times T} + T \dots\dots\dots (B1)$$

式中: D ——钢管外径, mm ;

T ——钢管壁厚, mm 。

B1.2 等效 T_A 计算式:

$$T_A = 2T(1 + \frac{d}{D}) \dots\dots\dots (B2)$$

式中: d ——钢管内径, mm ;

D ——钢管外径, mm 。

B2 对于双壁双投影一次椭圆成象的透照工艺, 其检出范围必须保证在 90% 以上, 并按下式计算:

$$L = \frac{L_1 - (L_2 \times 4)}{L_1} \times 100\% \dots\dots\dots (B3)$$

式中: L ——检出范围, mm ;

L_1 ——管外壁周长, mm ;

L_2 ——底片上不见钢丝区域的一段长度, mm 。

附 录 C

射线检验报告格式

(参考件)

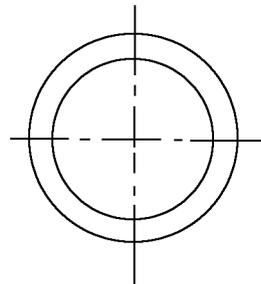
射线检验报告的格式一般应符合表 C1 和表 C2 的规定。

表 C1 射线检验报告(大径管)

年 月 日 编号:

委托单位		工程名称	
管子名称		规格/材质	
评定标准		熔焊方法	

透照条件	射线源		透照方法和焊接部位
	胶片型号		
	增感方式		
	管电压(或 γ 源)	kV	
	管电流(或强度)	$mA(Ci)$	
	焦距	mm	
	曝光时间	min	
	显影温度、时间	$^{\circ}C, min$	
	底片黑度		



委托单位				工程名称											
序号	焊工代号/片号	象质指数	评定记录	缺陷部位	质量等级				次数	返工记录					6SS 质量等级
					I	II	III	IV		缺陷性质					
										气孔	夹渣	未焊透	内凹	其他	
1															
2															
3															
4															
评片		(签名)		复评	(签名)				单位	(盖章)					

表 C2 射线检验报告(小径管)

年 月 日 编号:

委托单位	工程名称
管子名称	规格/材质
评定标准	熔焊方法

透照条件	射线源		透照方法和焊接部位			
	胶片型号					
	增感方式					
	管电压(或 γ 源)	kV				
	管电流(或强度)	$mA(Ci)$				
	焦距	mm				
	曝光时间	min				
	显影温度、时间	$^{\circ}C, min$				
	底片黑度					

序号	焊工代号/片号	象质指数	评定记录	缺陷部位	质量等级				次数	返工记录					6SS 质量等级
					I	II	III	IV		缺陷性质					
										气孔	夹渣	未焊透	内凹	其他	
1															
2															
3															
4															
评片		(签名)		复评	(签名)				单位	(盖章)					