

声程对斜探头前沿及 K 值测量的影响

闫伟明

(重庆建工无损检测工程有限公司, 重庆 400051)

摘要: 为了确定超声探伤用斜探头的探头前沿 l_0 和 K 值的测试值与测试声程的关系, 设计了不同声程下的 l_0 和 K 值的测量试验。在 CSK-I A, CSK-III A 和长输管线标准试块 (SGB 试块) 上的测试结果表明, 测量用参考反射体的声程影响斜探头 l_0 和 K 值的测量精度。在近场区外测量时, l_0 的测量一致性高; 晶片面积及测量声程影响 K 值的测量结果。

关键词: 超声波检测; 斜探头; 探头前沿; 探头 K 值; 标准试块; 误差分析

中图分类号: TG115.28

文献标识码: A

文章编号: 1000-6656(2007)06-0341-04

The Effect of Beam Path on the Measurement of Front Distance and K Value of Angle Probe

YAN Wei-ming

(Chongqing Jiangong Non-destructive Testing & Inspection Engineering Corporation Ltd., Chongqing 400051, China)

Abstract: In order to get the relationship of beam path to front distance (l_0) and K value of angle probe, some experiments with different beam path length were designed. Testing on the standard block CSK-I A, CSK-III A and SGB showed that, the measuring precision of l_0 and K value was affected by the beam path length of reference reflector. When testing was carried on near field zone, the continuity of l_0 was good, and the area of crystal would affect K value also. Means to get more accurate l_0 and K value was analyzed in those experiments and it was very helpful to ultrasonic testing.

Keywords: Ultrasonic testing; Angle probe; Front distance; K value; Standard block; Error analysis

采用 A 型横波直接接触法对焊接接头进行超声波检测时, 斜探头的前沿距离 l_0 及 K 值是非常重要的参数。现行多数超声检测标准规定, l_0 的测量误差 $\leq \pm 1$ mm, K 值的测量误差 $\leq \pm 0.1$ 。

多年的现场超声波检测经验使笔者感到, 在不考虑探头磨损并固定其他相关条件的情况下, l_0 和 K 值随着测试声程而变化, 并不总是一个恒定值。为了获得 l_0 和 K 值随测试声程变化的规律, 笔者在特定测试方式和条件下对多个不同规格探头的 l_0 和 K 值进行了测定。

1 测试方法

以 JB 4730.3—2005《承压设备无损检测 超

声波检测》作为测试标准。

1.1 测试探头前沿

焊接接头超声检测的探头前沿 l_0 通常在 CSK-I A 试块上测试, 通过同心圆弧面反射的回波位置来确定, 如图 1 所示。当探头 1 找到圆弧面最高回波时, 得探头前沿 l_0 的测试值为:

$$l_0 = R - l_1 \quad (1)$$

在某些情况下也可利用 CSK-III A 试块上的横

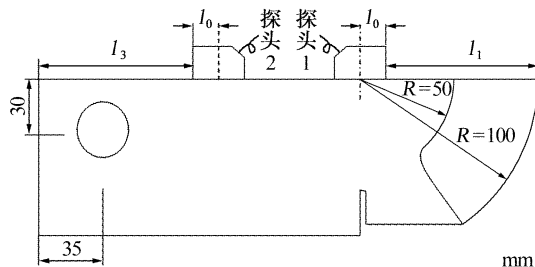


图 1 在 CSK-I A 试块上测试探头前沿

收稿日期: 2006-11-13

作者简介: 闫伟明(1963—), 男, 工程师, 主要从事无损检测工程技术及管理工作。

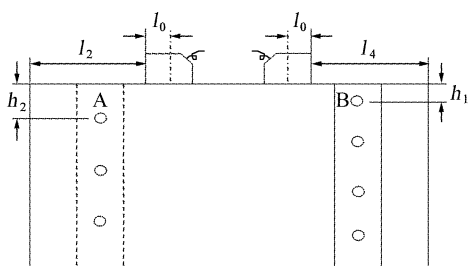


图 2 在 CSK-III A 试块上测试探头前沿

孔反射体的回波位置,通过计算确定 l_0 ,如图 2 所示。分别找出两反射体 A 和 B 的最高回波,固定探头,量得探头端面至试块端面的距离 l_1 和 l_2 ,根据三角函数关系得:

$$K = \frac{l_0 + l_4 - 40}{h_1} \quad (2)$$

$$K = \frac{l_0 + l_2 - 40}{h_2} \quad (3)$$

由于 $h_2 = 2h_1$,可得:

$$l_0 = l_2 + 40 - 2l_4 \quad (4)$$

1.2 测试探头 K 值

测试 K 值时,若已测出斜探头的前沿 l_0 ,可通过 CSK-I A 试块上的同心阶梯圆孔反射体的回波位置计算确定,如图 1 探头 2 所测:

$$K = \frac{l_3 + l_0 - 35}{30} \quad (5)$$

也可在 CSK-III A 试块上,通过测量一定深度的横孔反射体的回波位置计算确定(图 2):

$$K = \frac{l_4 + l_0 - 40}{h_1} \quad (6)$$

若尚未测出斜探头的前沿 l_0 ,可在 CSK-III A 试块上测定两个不同深度的横孔反射体的回波位置计算确定(图 2),由式(2)和(3)得:

$$K = \frac{l_2 - l_4}{h_2 - h_1} \quad (7)$$

2 测试条件

所有选用探头的主声束垂直方向上需要无双峰,即用长输管线标准试块(SGB 试块)上的 $\phi 2 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$ 横通孔测试,测试时使反射回波位于示波屏上 80%~100% 的区域,随着探头瞬时移动可明显地识别出探头的波峰位置;水平方向上的偏离角均 $\leq 2^\circ$ (用 CSK-IA 试块的棱角测试)。

选用的超声波探伤仪为 CST-22 型,其水平线性误差 $< 1\%$,垂直线性误差 $< 5\%$ 。

测试期间最低温度为 34°C ,最高温度为 38°C 。

3 测试误差的控制

为了控制测试的偶然性误差,每一个测试数据均为 3 次测试的平均值,且使每次最高回波的波峰分布于示波屏上的 80%~100% 的区域,以便于识别。

测试的探头前沿精确到 $\pm 1 \text{ mm}$ 。大晶片探头的 K 值的计算精度为 ± 0.01 (并不表明其实际精度),小晶片探头的 K 值计算精度为 ± 0.1 。

为了对探头磨损造成的测量误差进行评估,在测量结束后对所用探头采用相同的测量条件和测量方式进行复核,其相应的 l_0 和 K 值未表现出明显的差异性。

4 测量结果及分析

选择 SGB 试块上 R25 及 R50 mm 圆弧面、CSK-I A 试块的 R50 及 R100 mm 圆弧面作为测定前沿 l_0 的标准反射体。选择 SGB 试块上深 5 mm 的横孔和 CSK-III A 试块上深 10, 20, 30, 40, 50 及 60 mm 的横孔作为测定普通斜探头 K 值的标准反射体。选择 SGB 试块上深 5, 10 及 20 mm 的横孔作为小径管焊接接头探头 K 值测定的标准反射体。

使用 CTS-22 设备在上述试块上测得的斜探头前沿 l_0 及 K 值见表 1 和表 2。

4.1 斜探头前沿 l_0 的测量分析

从理论上说,斜探头在钢中的剩余近场区长度 N' 可以通过式(8)计算:

$$N' = \frac{F_s \cos \beta}{\pi \lambda_{s_2} \cos \alpha} - \frac{L_1 \tan \alpha}{\tan \alpha} \quad (8)$$

式中 F_s ——波源面积;

β ——横波入射角;

λ_{s_2} ——介质 II 中的横波波长;

α ——纵波入射角;

L_1 ——入射点至波源的距离。

虽然计算所需参数并不总能准确确定,但可用式(8)对钢中的剩余近场区长度进行近似估算。

(1) 如表 1 所示,1 号探头的 K 值标称值为 1,与其他探头相比,其近场区长度最长,在钢中的剩余近场区声程长度 $> 25 \text{ mm}$,从而使 R25 mm 回波的前沿测试值与远场 R50 mm 和 R100 mm 回波的前沿测试值有较大差异。

(2) 2 号和 3 号探头的 K 值测试值较为接近,其原因在于,斜探头钢中剩余近场区长度不仅与探头的晶片面积、频率和 K 值有关,而且还与晶片至声束入射点的距离 L_1 有关,如式(8)所示。因这两

表 1 斜探头前沿距离 l_0 的测量结果

探头 编号	探头 型号	R=25 mm 处		R=50 mm 处		R=100 mm 处		探头 编号	探头 型号	R=25 mm 处		R=50 mm 处		R=100 mm 处	
		l_1	l_0	l_1	l_0	l_1	l_0			l_1	l_0	l_1	l_0	l_1	l_0
1	2.5P13×13K1	8	17	36	14	86	14	6	2.5P8×12K3	19	6	43	7	93	7
2	2.5P13×13K1.5	8	17	33	17	82	18	7	5P8×12K3	12	13	39	11	89	11
3	2.5P10×16K2	11	14	36	14	85	15	8	5P8×8K3	20	5	45	5	95	5
4	2.5P13×13K2.5-D	12	13	40	10	89	11	9	5P6×6K2.5-D	21	4	46	4	95	5
5	2.5P13×13K3-D	10	15	40	10	89	11								

表 2 斜探头 K 值的测量结果

探头 编号	探头 型号	探头前沿 l_0/mm	$h=5\text{ mm}$		$h=10\text{ mm}$		$h=20\text{ mm}$		$h=30\text{ mm}$		$h=40\text{ mm}$		$h=50\text{ mm}$		$h=60\text{ mm}$	
			l_4/mm	K	l_4/mm	K	l_4/mm	K	l_4/mm	K	l_4/mm	K	l_4/mm	K	l_4/mm	K
1	2.5P13×13K1	14	9	0.60	38	1.20	48	1.10	58	1.07	69	1.08	79	1.06	89	1.05
2	2.5P13×13K1.5	14	9	1.60	39	1.80	53	1.60	68	1.57	82	1.53	97	1.52	110	1.48
3	2.5P10×16K2	14	18	2.40	49	2.30	70	2.20	90	2.13	110	2.10	130	2.08	149	2.05
4	2.5P13×13K2.5	11	20	2.20	55	2.60	78	2.45	100	2.37	120	2.28	142	2.26	164	2.25
5	2.5P13×13K3	12	26	3.60	62	3.40	92	3.20	117	2.97	140	2.80	169	2.82	194	2.77
6	2.5P8×12K3-D	11	30	4.20	67	3.80	104	3.80								
7	5P8×12K3	10	30	4.20	46	3.70	95	3.30								
8	5P8×8K3	5	33	3.60	51	3.60	83	3.40								
9	5P6×6K2.5-D	4	29	2.60	41	2.50	62	2.30								

个探头的晶片至声束入射点的距离 L_1 较长,导致钢中剩余近场区长度并不长,测试声程 $<25\text{ mm}$ 。

(3) 4 号和 5 号探头 K 值标称值较大,其近场区长度较长,在钢中的剩余近场区声程长度接近 25 mm,也使 R25 mm 回波的前沿测试值与远场 R50 和 R100 mm 回波的前沿测试值有一定差异。

(4) 由于小径管探头的晶片尺寸较小,K 值较大,其近场区长度较短,在钢中的剩余近场区声程长度明显 $<25\text{ mm}$,使得 R25,R50 和 R100 mm 的回波声程均处于远场区,其前沿距离测试值较为一致。

(5) 从测试结果可见,前沿距离测量的一致性与被测反射体的声程有关。其一致性可理解为如果某声程处的测量平均值与该声程附近的测量平均值的偏差越大,则该声程处的测试值的测量一致性越差;反之一致性就越好。若被测反射体的声程在近场区内,测量的一致性有较大的偏差;如果被测反射体的声程在近场区外,则测量的一致性随着声程的增加,偏差逐渐减小。

(6) 当斜探头的晶片面积 $\geq 96\text{ mm}^2$ 时,不宜采用 R25 mm 圆弧面作为反射体,否则会产生较大的偏差,应采用 R50 或 R100 mm 圆弧面作为反射体,以得到较好的测量一致性。

(7) 当斜探头的晶片面积 $\leq 64\text{ mm}^2$ 时,可采用 R25,R50 及 R100 mm 的圆弧面作为反射体,其前

沿的测量值均具有较好的测量一致性。但笔者建议以 R25 或 R50 mm 圆弧面作为反射体。因为晶片尺寸越小,其声束指向性越差,较远声程反射体的反射回波的最高波峰位置较难识别。

4.2 斜探头 K 值测量的分析

(1) 表 2 所示,1~4 号探头晶片尺寸较大、K 值较小,测量深度为 5 mm 的反射体时,所得 K 值明显小于远场测试值,故这些探头在钢中的剩余近场区长度较长,所对应的深度应为 5~10 mm。

(2) 采用 1~4 号探头,测量深度 $\geq 10\text{ mm}$ 的反射体,发现随着测试声程从近场区附近向远场区延伸,K 值测试值由大到小逐渐趋于一个定值。

(3) 采用 5 号探头测量深度 $\geq 5\text{ mm}$ 的反射体,发现随着测试声程的增加,K 值由大到小逐渐趋向于一个定值(变化幅度由大到小)。这说明该探头的 K 值较大,在钢中的剩余近场区长度趋短,所对应的测试深度应略 $<5\text{ mm}$ 。

(4) 采用 6 和 7 号(晶片尺寸为 8 mm×12 mm)探头测量深度为 5,10 及 20 mm 的反射体,发现随着测试声程的增加,所得的 K 值逐渐变小。这说明两个探头在钢中的剩余近场区长度所对应的测试深度应 $<5\text{ mm}$ 。

(5) 采用 8 和 9 号小晶片探头测量深度为 5,10 及 20 mm 的反射体,发现随着测试声程的增加,所

得K值逐渐变小,但变小的幅度明显变缓。表明两个探头在钢中的剩余近场区长度所对应的测试深度已明显 $<5\text{ mm}$ 。

(6) 探头晶片面积 $\geq 160\text{ mm}^2$ 时,若采用深度为 5 mm 的横孔反射体测试,在多数情况下,其K值测量值可能偏小或呈无规律分布;横孔反射体的深度位于 $10\sim 60\text{ mm}$ 时,在多数情况下,其K值测量值会逐渐变小。

(7) 对于晶片面积等于 96 mm^2 的斜探头,当采用深度为 $5, 10$ 和 20 mm 的横孔反射体测试,在多数情况下,K值测量值逐渐变小,但变小幅度的减弱。由深 5 和 10 mm 的反射体测得的测量值有较大的差异。

(8) 对晶片面积 $\leq 64\text{ mm}^2$ 的斜探头,采用深度为 $5, 10$ 和 20 mm 的横孔反射体测试,在多数情况下,K值测量值逐渐变小,但变小幅度的减弱。

(9) 超声检测时,所选择的横波反射体深度应大于近场区声程所对应的深度。对晶片面积 $\geq 160\text{ mm}^2$ 的探头,测量K值的横孔反射体的深度应 $\geq 10\text{ mm}$;晶片面积为 96 mm^2 的斜探头,测量K值的横孔反射的深度可为 $5\sim 20\text{ mm}$ (应注意K值测量值随测量深度的不同可能有较大的不同);对晶片面积 $\leq 64\text{ mm}^2$ 的斜探头,测量K值的横孔反射体的深度可为 $5\sim 20\text{ mm}$ 。

(10) 超声检测时,测量K值的横孔反射体并

非越深越好。随着测量深度的增加,最高波峰的分辨力会下降,这对晶片面积 $\leq 96\text{ mm}^2$ 的小晶片探头尤为重要(声束指向性较差),所以小晶片探头的K值测量反射体深度不宜 $>20\text{ mm}$ 。

(11) 超声检测焊接接头时,测量K值的横孔反射体的合理深度视被检工件的壁厚而定,尽量与其接近。应以此横孔深度所测得的K值测量值为准,并以与此壁厚最接近的相应深度的反射体及其两倍深度反射体为准进行扫描调节,以利于超声检测人员对根部真伪缺陷的判断。

(12) 将不同测试深度的K值测量当量值绘成图3所示曲线,其横坐标为近场长度N的倍数,纵坐标为不同声程测得的K值与两倍近场长度处测得的K值的比值,称为K值测试当量值。图3可见,声束中心线在近场区以内呈现出规则的曲线;在近场区外呈现出前陡后缓的逐渐变小的曲线,并越来越接近成为与横坐标平行的直线。

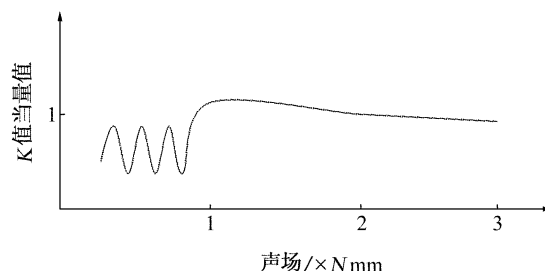


图3 K值与声场距离的关系

(上接第325页)

(2) F_x-h , F_x-a 和 $F-x$ 曲线分别与 H_x-h , H_x-a 和 H_x-x 曲线变化规律相似。

3 结论

(1) 被磁化的标准环形试块内,通孔中心对应的表面处漏磁场与工件表面无限长矩形及圆柱形开口缺陷的漏磁场分布规律相似,即漏磁场的切向分量 H_x 在缺陷中心处有极大值,垂直分量在缺陷中心处为零^[4]。

(2) 磁粉受力的切向分量 F_x 在缺陷中心两侧各有一个大小相等方向相反的极值,使缺陷中心两侧的磁粉受力方向均指向中心,因而在漏磁场力作用下,磁粉向缺陷中心聚集形成一条清晰磁痕。

(3) 当圆通孔直径不变时,随着圆通孔离环形

试块表面距离增加,相应 H_x 及 F_x 迅速下降。

(4) 当圆通孔距环形试块表面距离不变时,圆通孔的直径逐渐减小,相应 H_x 及 F_x 都迅速减小。

参考文献:

- [1] 全泽松. 电磁场理论[M]. 成都: 电子科技大学出版社, 1995: 156—159.
- [2] 美国无损检测学会. 美国无损检测手册·磁粉卷[M]. 美国无损检测手册译审委员会, 译. 上海: 世界图书出版公司, 1994: 486.
- [3] 陶旺斌. 磁粉受力分析[J]. 无损检测, 1992, 14(11): 304—316.
- [4] 陶旺斌, 宋凯. 线圈法漏磁探伤的信号特性分析[J]. 无损检测, 2002, 24(9): 369—372.