

# 钢结构 T 型贴角焊缝的超声波探伤

宋晓峰, 朱爱希, 徐敬岗, 李业绩, 段 斌

(中冶建筑研究总院有限公司, 北京 100088)

**摘 要:** 为了有效地监控 T 型贴角焊缝的内部质量, 通过理论分析和可靠性试验, 验证了 T 型贴角焊缝进行超声波探伤的可行性, 确定了 T 型贴角焊缝超声波探伤的探头角度, 设计制作了探头移动范围曲线(A-R)和闸门宽度范围曲线(A-S), 使缺陷的判断简单化, 并制订了该类焊缝的探伤工艺和缺陷的评定标准。

**关键词:** T 型贴角焊缝; 超声波检测; 探伤工艺; 验收级别; 钢结构

中图分类号: TG115. 28

文献标志码: A

文章编号: 1000-6656(2010)01-0068-04

## Ultrasonic Testing of T-Joint Fillet Weld in Steel Construction

SONG Xiao-Feng, ZHU Ai-Xi, XU Jing-Gang, LI Ye-Ji, DUAN Bin

(Central Research Institute of Building and Construction Co LTD, MCC Group, Beijing 100088, China)

**Abstract:** In order to control the internal quality of T-joint fillet weld effectively, the feasibility of ultrasonic testing method for T-joint fillet weld was verified through theoretical analysis and reliability experiments. Suitable probe angle was chosen. For judging defect simply, the A-R and A-S curves were designed and drawn. And testing technique and criteria for evaluation of defect were written.

**Keywords:** T-joint fillet weld; Ultrasonic testing; Testing technique; Acceptance level; Steel construction

目前国内对于 T 型贴角焊缝一般仅进行外观检查或表面磁粉探伤, 而对其内部质量缺乏有效的检测手段。因此, 开展对 T 型贴角焊缝超声检测方法的研究, 探索出一套适合 T 型贴角焊缝超声检测的探伤工艺及评价体系具有重大的现实意义。

### 1 探头及探伤面选择

T 型贴角焊缝中常见的缺陷分布模式如图 1 所示。

长期以来, T 型贴角焊缝一直被视为超声检测的难点。究其原因, 主要有形状复杂、声束宽而检测区域小、影响因素多、近场干涉严重、波形不易识辨及缺陷定量困难等。针对上述问题, 笔者对 T 型贴角焊缝探伤所选用的探头和探伤面的选择进行了探讨分析<sup>[1]</sup>。

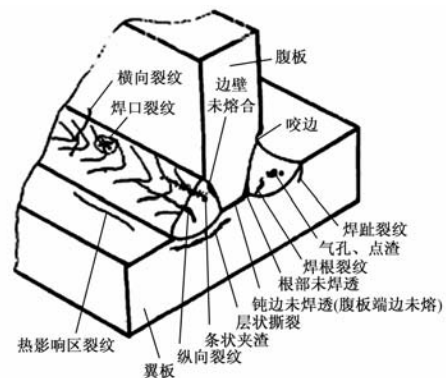


图 1 T 型贴角焊缝常见缺陷的分布模式

#### 1.1 探头

##### 1.1.1 直探头的选择

由于双晶聚焦探头具有灵敏度高、杂波少、盲区小和近场长度小的特点, 所以将其应用在 T 型贴角焊缝的探伤中具有普通直探头无法比拟的优点。探头聚焦深度应与 T 型贴角焊缝处的板厚相适应, 以便既能检测角焊缝中的缺陷, 也能检测翼板母材中的层状撕裂。

收稿日期: 2009-02-17

**作者简介:** 宋晓峰(1978—), 男, 学士, 工程师, 从事建筑钢结构、桥梁钢结构的无损检测工作, 曾多次参考国家重点工程和国外钢结构的检测工作, 熟悉国内外钢结构探伤标准。

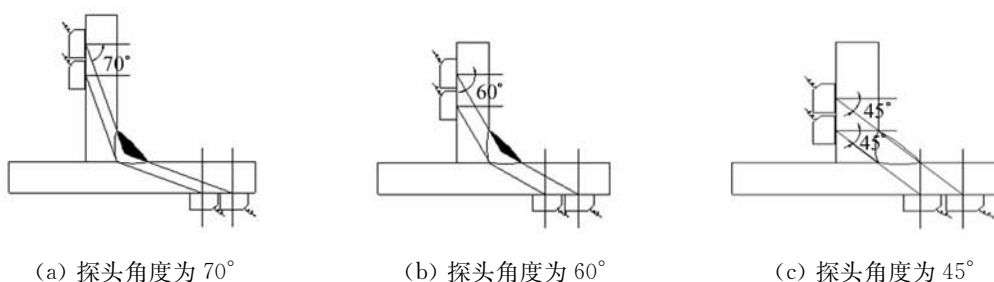


图 2 不同角度探头在角焊缝中的扫查盲区示意

表 1 探头折射角为 60°和 70°的盲区最大深度和面积

焊角尺寸 $H_f/\text{mm}$	有效焊喉 $H_e/\text{mm}$		焊缝截面面积 $S_0/\text{mm}^2$		盲区最大深度 $D/\text{mm}$		盲区面积 $S_M/\text{mm}^2$		盲区比例/%	
	60°	70°	60°	70°	60°	70°	60°	70°	60°	70°
6	4.2	4.2	18	18	1.14	1.98	4.84	8.4	26.8	46.6
8	5.6	5.6	32	32	1.52	2.64	8.60	14.9	26.8	46.6
10	7	7	50	50	1.89	3.3	13.36	23.3	26.8	46.6
12	8.4	8.4	72	72	2.27	3.96	19.26	33.6	26.8	46.6
14	9.8	9.8	98	98	2.65	4.61	26.23	45.6	26.8	46.6
16	11.2	11.2	128	128	3.03	5.28	34.28	59.7	26.8	46.6
20	14	14	200	200	3.79	6.60	53.60	93.34	26.8	46.6

### 1.1.2 斜探头的选择

图 2 是 3 种不同角度斜探头对 T 型接头的探伤示意图。可以看出,折射角为 70°和 60°的探头存在很大的检测盲区,而折射角为 45°的探头则没有盲区,故探头角度应选择 45°。不同焊角尺寸分别采用折射角为 70°和 60°的探头进行检测时,盲区的最大深度和面积见表 1。

### 1.1.3 探头前沿长度的选择

图 3 为探头前沿示意图。

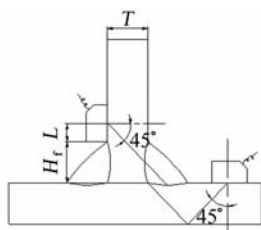


图 3 直射法和一次反射法的探头前沿长度的选择

直射法探伤时探头最小前沿尺寸的计算式如下:

$$\begin{cases} H_f + L \leq T \times \tan 45^\circ \\ L \leq T \times \tan 45^\circ - H_f \\ L \leq T - H_f \end{cases} \quad (1)$$

一次反射法探伤时探头最小前沿尺寸的计算式如下:

$$\begin{aligned} H_f + L &\leq 2T \times \tan 45^\circ \\ L &\leq 2T \times \tan 45^\circ - H_f \end{aligned}$$

$$L \leq 2T - H_f \quad (2)$$

由以上两式不难看出,探头的最小前沿尺寸与板厚和焊角尺寸  $H_f$  有关。式(1)中的  $T$  指腹板厚度,式(2)中的  $T$  指翼缘板厚度。探伤时,应根据上述两式选择合适的探头,避免造成缺陷的漏检。

### 1.2 探伤面的选择

从图 3 可以看出,无论在翼缘板外侧还是在腹板侧进行直射法探伤,对探伤过程中发现的缺陷进行准确定位都是比较困难的,故应尽可能采用一次反射法进行探伤。另外在腹板侧进行一次反射法探伤时,由于扫查面的对立面还有焊缝,超声波的反射点很可能会出现扫查面对立面的焊缝内,这样会出现干扰回波或检测到对立面焊缝的缺陷,给扫查面所在焊缝的缺陷判断带来困难。鉴于上述分析,T 型贴角焊缝超声波探伤应首选在翼缘板内侧采用一次反射法,而其它探伤面只作为辅助探伤之用。

## 2 T 型贴角焊缝超声波探伤工艺

### 2.1 探头移动范围和声程范围的确定

由于 T 型贴角焊缝的自身特点,导致腹板与翼板连接处存在未焊透,相当于焊缝中存在一个天然“缺陷”。若探伤前不确定探头的移动范围<sup>[2-3]</sup>,避开这个天然“缺陷”,就容易在仪器上产生干扰回波,影响探伤人员对真实缺陷的判断。在探伤之前,探

伤人员必须根据板材厚度和焊脚尺寸计算出探头的移动范围和检测焊缝全截面的声程范围。

探伤前,根据构件的板厚和焊脚尺寸按照图 4 (A-R 曲线)确定探头的移动区域,必要时在构件上画出标线,同时根据图 5 (A-S 曲线)确定闸门的起点和终点。探伤过程中,若在闸门范围内出现一个波,就可根据仪器显示的水平位置,测量是否在焊缝中。若在焊缝中,则可判定是缺陷波,然后对缺陷进行准确定位并测量其长度。

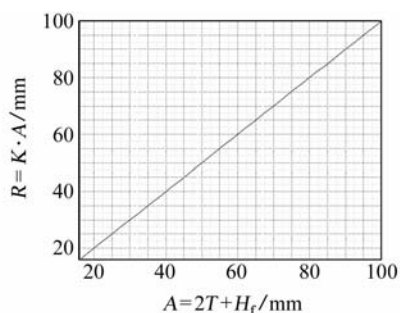


图 4 A-R 曲线

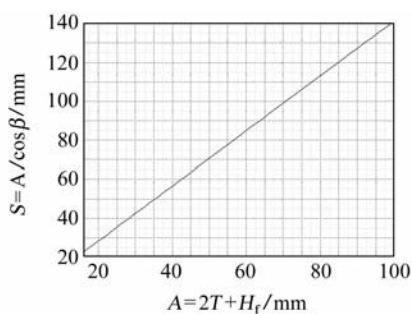


图 5 A-S 曲线

## 2.2 距离-波幅曲线的制作

(1) 扫描范围的调节 根据探伤时采用的声程定位法,使荧光屏全范围代表的声程略大于实际检测距离,二次波探伤的实际检测距离  $S = (2T + H_f) / \cos \beta$ 。

(2) 按 GB 11345—1989 中表 3B 级绘制距离-波幅曲线。

## 2.3 检验等级和扫查部位

(1) 检验等级 根据质量要求,检验等级分为 A, B, C 三级,检验的完善程度 A 级最低, B 级一般, C 级最高,检验工作的难度系数按 A, B, C 顺序逐级增高。应按照工件的材质、结构和焊接方法、使用条件及承受载荷的不同,合理选用检验级别。

(2) 扫查部位 A 级检验从翼缘板外侧用双晶聚焦直探头扫查焊缝及其热影响区; B 级检验从翼缘板外侧用双晶聚焦直探头,翼缘板内侧用斜探头

扫查焊缝及其热影响区; C 级检验应从翼缘板外侧用双晶聚焦直探头,翼缘板内侧用斜探头扫查焊缝及其热影响区,同时还必须用斜探头从翼缘板外侧扫查焊缝。

## 3 T 型贴角焊缝缺陷评定

### 3.1 缺陷定量

(1) 对于焊角根部区域的缺陷,一般按照根部未熔合处理。对于靠近翼板或腹板侧的缺陷,一般按照焊角未熔合处理。其余部分的缺陷一般不定性分析,只对缺陷进行定量,除非有明显的危害性缺陷特征。

(2) 缺陷指示长度的测定,见 GB 11345—1989 中 11.4.1。

(3) 以单个缺陷中最大波高所在距离-波幅曲线的区域记录缺陷的波高。

### 3.2 缺陷评定

T 型贴角焊缝缺陷的评定方法除最大反射波幅位于 II 区的缺陷,根据缺陷指示长度按表 2 的规定予以评级,其它情况见 GB 11345—1989 中 13.2~13.6。

表 2 缺陷的等级评定

级别	缺陷的评定长度/mm	级别	缺陷的评定长度/mm
I	$1/3H_e$ , 最小为 10	III	$3/4H_e$ , 最小为 16
II	$2/3H_e$ , 最小为 12	IV	超过 III 级者

注:  $H_e$  为角焊缝的有效焊喉尺寸,当组装间隙  $b \leq 1.5$  mm 时,  $H_e = 0.7H_f$ ; 当组装间隙  $1.5$  mm  $< b \leq 5$  mm 时,  $H_e = 0.7(H_f - b)$ 。

## 4 试验

### 4.1 试件制作

设计并制作了焊角尺寸分别为 6, 8, 10, 12 和 14 mm 共 5 块模拟试件,翼板厚度及腹板厚度同为 20 mm。

### 4.2 超声波探伤

(1) 检测仪器选用 CTS-2000。探头选用三种: ① 频率为 2.5 MHz、晶片尺寸为 8 mm × 12 mm、探头角度为 45°、前沿长度 7.5 mm。② 频率为 2.5 MHz、晶片尺寸为 14 mm × 14 mm、探头角度为 45°、前沿长度 15 mm。③ 频率为 2.5 MHz、晶片尺寸为  $\phi 20$  mm、聚焦深度为 20 mm。耦合剂为 CMC 化学浆糊。

(2) 灵敏度采用  $\phi 3$  mm 横通孔作为标准反射体,制作距离-波幅曲线,扫查灵敏度为  $\phi 3$  mm—16 dB。

表 3 探头规格为 2.5Z14×14A45,前沿 15 mm

序号	板厚 /mm	焊角尺 寸/mm	有效焊 喉/mm	探伤缺陷					实际缺陷	
				垂直 <sup>1)</sup> /mm	水平 <sup>2)</sup>	长度/mm	当量	级别	垂直/mm	水平
1	20	6	4.2	2	3	32	φ 3—4	Ⅳ	1.5~4.2	0~3.6
2	20	6	4.2	3	4	23	φ 3—2	Ⅳ	2.5~4.2	2~5
3	20	6	4.2	3	2	30	φ 3—3	Ⅳ	2.3~5.5	0~2.3
4	20	8	5.6	4	4	30	φ 3—6	Ⅳ	1.5~5	2.3~6
5	20	8	5.6	3	3	33	φ 3—5	Ⅳ	2.5~5	1~3.2
6	20	8	5.6	2.5	5	22	φ 3—5	Ⅳ	1~4.8	3.2~6
7	20	10	7	2	4	5	φ 3—8	Ⅰ	1.8~3.4	1.5~4
8	20	10	7	3	4	12	φ 3—2	Ⅳ	2~5.4	2.5~7
9	20	12	8.4	2	8	35	φ 3+10	Ⅳ	0~3.5	4.2~9.2
10	20	12	8.4	1	6	26	φ 3+0	Ⅳ	0.5~4.5	4.5~8
11	20	12	8.4	3.5	6	34	φ 3+4	Ⅳ	2.2~6	3~8
12	20	14	9.8	2	5	22	φ 3+2	Ⅳ	2.2~4.2	4~7
13	20	14	9.8	2	4.5	29	φ 3+1	Ⅳ	2~4.5	3~5
14	20	14	9.8	2	4	27	φ 3+5	Ⅳ	2~4	3~5.5

注:1) 垂直位置是指缺陷至翼缘板的距离。2) 水平是指缺陷至腹板的距离。

表 4 探头规格为 2.5Z10×10A45,前沿 7.5 mm

序号	板厚 mm	焊角尺 寸/mm	有效焊 喉/mm	探伤缺陷					实际缺陷	
				垂直 <sup>1)</sup> /mm	水平 <sup>2)</sup>	长度/mm	当量	级别	垂直/mm	水平
1	20	6	4.2	2.5	2	30	φ 3—4.5	Ⅳ	1.5~4.2	0~3.6
2	20	6	4.2	2	4	24	φ 3—2	Ⅳ	2.5~4.2	2~5
3	20	6	4.2	2	2	32	φ 3—4.5	Ⅳ	2.3~5.5	0~2.3
4	20	8	5.6	4	3	30	φ 3—5	Ⅳ	1.5~5	2.3~6
5	20	8	5.6	2.5	3	33	φ 3—4.5	Ⅳ	2.5~5	1~3.2
6	20	8	5.6	2	4	24	φ 3—5	Ⅳ	1~4.8	3.2~6
7	20	10	7	2	4	5	φ 3—8	Ⅰ	1.8~3.4	1.5~4
8	20	10	7	3	4	12	φ 3—2	Ⅳ	2~5.4	2.5~7
9	20	12	8.4	2.5	7	37	φ 3+9	Ⅳ	0~3.5	4.2~9.2
10	20	12	8.4	1	7	25	φ 3+0	Ⅳ	0.5~4.5	4.5~8
11	20	12	8.4	3	6	35	φ 3+4.5	Ⅳ	2.2~6	3~8
12	20	14	9.8	3	5	22	φ 3+3	Ⅳ	2.2~4.2	4~7
13	20	14	9.8	2	4	27	φ 3+1	Ⅳ	2~4.5	3~5
14	20	14	9.8	2	4	25	φ 3+6	Ⅳ	2~4	3~5.5

注:1) 垂直位置是指缺陷至翼缘板的距离。2) 水平位置是指缺陷至腹板的距离。

(3) 采用直射法和一次反射法,通过曲线确定仪器闸门的起点和宽度。

探伤结果见表 3 和 4。

#### 参考文献:

- [1] 张明升. T 型接头角焊缝的超声波检测技术[J]. 水利电力机械. 1992,2(1):31—36.
- [2] 陈育文,季步. T 型角焊缝的超声波探伤[J]. 无损检测,1981,3(4):8—15.
- [3] 唐锦荣,马礼广,邓景燊. T 型焊缝的手动超声波探伤[J]. 无损检测,1990,12(5):130—134.
- [4] JG/T 203—2007 钢结构超声波探伤及质量分级方法[S].
- [5] GB 11345—1989 钢焊缝手工超声波探伤方法和探伤结果分级[S].