

# 船舶钢焊缝手工超声波探伤工艺 和质量分级

## 1 主题内容与适用范围

本标准规定了船舶对接、角接焊缝的手工超声波探伤工艺及焊缝质量分级。

本标准适用于母材厚度为 6 ~ 100 mm 的铁素体钢全焊透焊缝手工直接接触的 A 型脉冲反射式超声波探伤。

本标准不适用于铸钢及奥氏体不锈钢焊缝,以及未经热处理的电渣焊焊缝;外径小于 250 mm 或内外径之比小于 0.8 筒体纵向焊缝;筒体(或管件)外径小于 200 mm 的周向焊缝;各种尺寸的曲面相贯焊缝。

## 2 引用标准

CB/T 3177 船舶钢焊缝射线照相和超声波检查规则

ZB Y 344 超声探伤用探头型号命名方法

ZB J04 001 A 型脉冲反射式超声探伤系统工作性能测试方法

## 3 探伤人员

探伤人员必须持有船检部门认可的无损检测人员超声波检测方法的资格证书,才能从事相应等级的探伤工作。

## 4 探伤仪、探头及系统性能

4.1 探伤仪必须经国家法定计量机构标定后方可使用。

4.2 探伤仪工作频率范围至少为 1 ~ 5 MHz,水平线性误差不大于 1%;垂直线性误差不大于 5%;动态范围不小于 26 dB。衰减器或增益控制器精度在任意 12 dB 范围内的工作误差不超过 ±1 dB,总调节量不小于 60 dB。

4.3 探头必须具有 ZB Y 344 规定的标志;声束水平轴线偏离角不大于 2°,垂直方向不允许出现双峰。折射角实测值与公称值偏差不得大于 2°,K 值(折射角正切值)偏差不得超过 0.1。前沿距离偏差值不得大于 1 mm。

4.4 探伤仪与斜探头组合分辨力(Z 值)在 CTk-A 1 或 STB-A2 试块上的  $\varphi 1.5 \text{ mm} \times 4$  两孔测定,其 Z 值大于 15 dB;若在 CSK-1 试块上  $\varphi 50 \text{ mm}$  和  $\varphi 44 \text{ mm}$  两孔测定,则 Z 值大于 6 dB。

4.5 仪器与斜探头组合灵敏度余量应大于测长线(MRL)10 dB。

4.6 探伤仪的水平线性,垂直线性;组合分辨力、组合灵敏度余量,每隔一个月检查一次。

4.7 斜探头前沿距离,折射角、声束水平轴线偏离角,开始使用每隔一周工作日检查一次。

4.8 探伤人员可参照 ZB J04 001 对 4.6、4.7 条规定的项目进行检查。

## 5 试块和耦合剂

5.1 标准试块可采用 IIW 试块,也可选用其他类型的标准试块,除了 4.4 和 4.5 条两个组合性能外,其余性能必须在同一标准试块上测定。

5.2 对比试块根据被检焊缝的母材厚度分为 CTRB-1, CTRB-2 和 CTRB-3 三种型式,形状尺寸见附录 A(补充件),其材质应与被检母材相同或声学性能相近似。

5.3 对比试块经粗加工后应用大于 2.5 MHz 频率以纵波直接接触法超声波探伤,不允许有大于  $\phi 1$  当量的缺陷存在。

5.4 可根据需要在对比试块上添加参考孔,但布孔位置不应与试块端角和相邻参考孔的反射相干扰。

5.5 耦合剂应具有良好的透声性能和适当的粘度,并对被检工件和人体无损害,检后容易清理。

5.6 在对比试块上调整和工件检验必须用相同的耦合剂。

## 6 工件表面准备

6.1 焊缝以外表检验合格后,不论抽检焊缝或全检焊缝,均须作出编号标记。

6.2 焊后至探测的间隔时间按有关要求确定。

6.3 探测区焊缝两侧母材表面上的油垢、锈斑、飞溅氧化皮必须清除。探测面应光滑平整,其宽度按声程跨越型式不同,由公式(1)~(5)确定。

6.3.1 全声程(一次反射法)探测,如图 1 所示,探测面宽度按公式(1)或公式(2)计算。

$$W \geq p + a \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$W \geq 2T \tan \beta + a \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:  $W$ ——探测面宽度,mm;  $p$ ——1 跨距;  $a$ ——探头后沿长度,mm;  $T$ ——母材厚度,mm;  
 $\beta$ ——斜探头折射角,°。

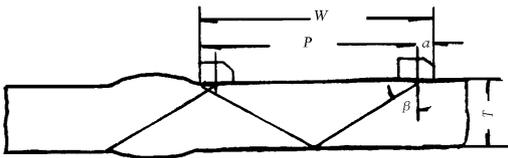


图 1

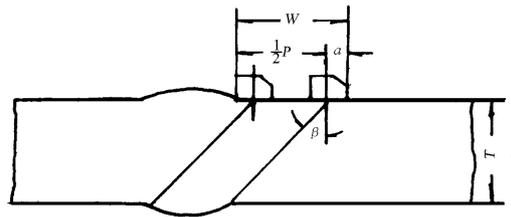


图 2

6.3.2 半声程(直射法)探测,如图 2 所示,探测面宽度按公式(3)或公式(4)计算。

$$W \geq \frac{1}{2}p + a \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$W \geq T \tan \beta + a \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中:  $W$ ——探测面宽度,mm;  $p$ ——1 跨距;  $a$ ——探头后沿长度,mm;  $T$ ——母材厚度,mm;  
 $\beta$ ——斜探头折射角,°。

6.3.3 大于全声程(多次反射法)探测,如图 3 所示,探测面宽度按公式(5)计算。

$$W \geq 1.5B + L \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中:  $W$ ——探测面宽度,mm;

$B$ ——焊缝宽度,mm;

$L$ ——探头长度,mm。

## 7 探测频率和探头折射角(或 $K$ 值)的选择

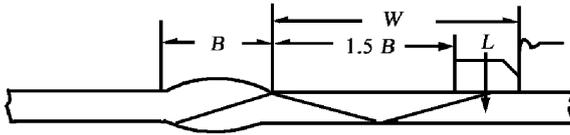


图 3

7.1 探测频率按表 1 选用。也可按具体情况在 2 ~ 5 MHz 之间选择。

表 1

母材厚度 mm	探测频率 MHz
$\leq 20$	5(或 4)
$> 20$	2 ~ 5

7.2 必须使折射主声束覆盖整个被检焊缝截面。

7.3 对接焊缝按表 2 选择。

表 2

母材厚度 $T_{mm}$	探测面	使用跨距	折射角 (或 K 值)
$\leq 20$	单面双侧	1/2 跨距 ~ 1 跨距 > 1 跨距 <sup>1)</sup>	70°(或 K2.5; K2.0)
$> 20 \sim 50$	单面双侧	1/2 跨距 ~ 1 跨距	70°; 60°(或 K2.5; K2, K1.5)
$> 50 \sim 100$	单面双侧	1/2 跨距 ~ 1 跨距	45°(或 K1; K1.5) <sup>2)</sup>
		1/2 跨距	70°; 60°(或 K2; K1.5)

注: 1) 当焊缝较宽, 探头前沿尺寸又较长的情况下才采用。

2) 适用于  $T \leq 75$  mm。

7.4 角接焊缝按表 3 选择, 探测面与探头相对位置如图 4 所示。

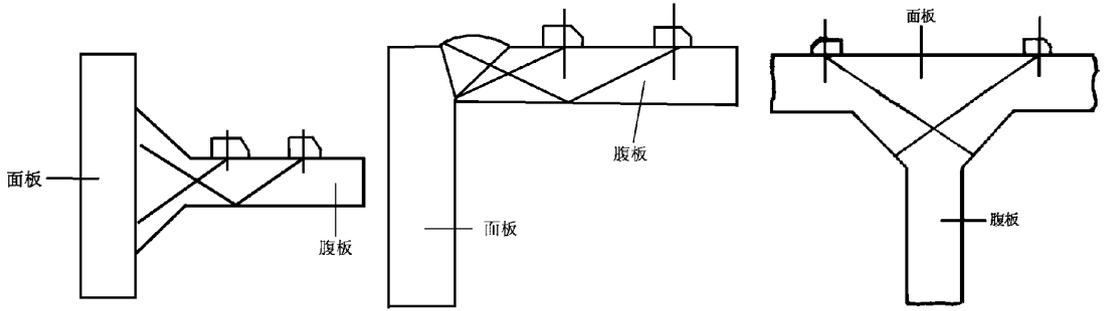
表 3

腹板厚度 $T_{mm}$	探测面	使用跨距	折射角(或 K 值)
$\leq 20$	腹板单面单侧	1/2 跨距 ~ 1 跨距	70°(或 K2.5; K2.0)
$> 20 \sim 50$	腹板单面单侧	1/2 跨距 ~ 1 跨距	70°; 60°(或 K2.5; K2; K1.5)
	面板外单面双侧	1/2 跨距	60°; 45°(或 K1.5; K1)
$> 50$	腹板单面单侧	1/2 跨距 ~ 1 跨距	45°(或 K1)
	面板外单面双侧	1/2 跨距	45°(或 K1)

## 8 时基线调整

8.1 用对比试块上参考孔或相同的材质的半圆试块弧面上的反射波, 以水平、深度或声程距离与示波屏上的时基线刻度按比例调整。

8.2 最大探测距离至少调整到示波屏基线满刻度 3/4 以上。



(a) 腹板单面单侧 (b) 面板外单面双侧

图 4

9 距离 - 波幅曲线

9.1 距离 - 波幅曲线应以实际探测用的仪器、探头,经时基线调整后,根据探测距离范围在 CTRB-1 或 CTRB-2、CTR-3 试块上实测制作。

9.2 根据被检焊缝母材厚度不同,距离 - 波幅曲线簇的灵敏度见表 4。

表 4

母材厚度 $T$ mm	ARL 线 (判废线)	DRL 线 (测长区分线)	MRL 线(测长线)
$\leq 50$	$\phi 3$	$\phi 3 - 10 \text{ dB}$	$\phi 3 - 16 \text{ dB}$
$> 50$	$\phi 3 + 2 \text{ dB}$	$\phi 3 - 6 \text{ dB}$	$\phi 3 - 12 \text{ dB}$

9.3 距离 - 波幅曲线簇的绘制

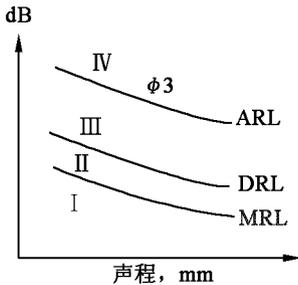


图 5 母材厚度  $T \leq 50 \text{ mm}$  的曲线簇示意图

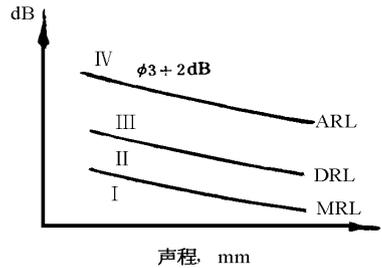


图 6 母材厚度  $T > 50 \text{ mm}$  的曲线簇示意图

9.3.1 相对波高的分贝 - 距离坐标法

以 CTRB 试块上不同声程的  $\phi 3$  横孔在相同波幅(如示波屏满幅 50%)时的 dB 值,绘制在坐标纸上,然后按表 4 相应作出由 ARL, DRL 和 MRL 组成的曲线簇。示意图如图 5,图 6。

9.3.2 分贝 - 面板法

在 CTRB 试块上扫射所需最近声程的  $\phi 3$  横孔,将该参考回波调整到示波屏满幅 80% 以上,以此灵敏度

为基准,使不同声程的横孔波幅,逐一标记在示波屏上,然后连成  $\phi 3$  参考孔距离 - 波幅曲线(如图 7),用仪器上的衰减器,按表 4 将  $\phi 3$  线变换为 ARI, DRL 和 MRL 线

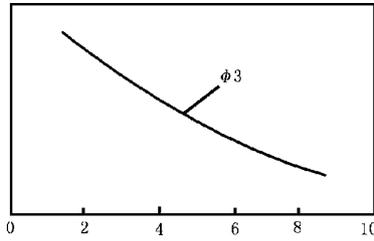


图 7 在示波屏面板上绘制的  $\phi 3$  距离 - 波幅曲线示意图

### 9.3.3 波幅 - 面板法

由 9.3.2 条方法作得  $\phi 3$  线后,再根据表 4 分别在示波屏上作出 ARL, DRL 和 MRL 线(如图 8)。若 MRL 线低于示波屏满幅 20% 时,应分段制作(如图 9)。

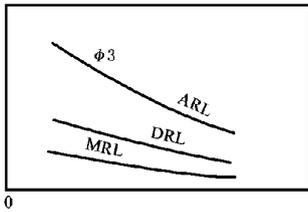


图 8 母材厚度  $T \leq 50 \text{ mm}$  的面板曲线示意图

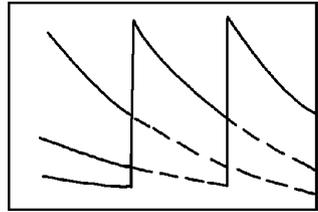


图 9 分段制作的面板曲线示意图

9.4 在探测的声程范围内,绘制距离 - 波幅曲线时不少于三点。

## 10 校验和补偿

### 10.1 校验

10.1.1 探伤过程中,每隔 4h 在对比试块上对时基线比例和距离 - 波幅曲线进行校验,校验点不少于两点。

10.1.2 校验点的时基线漂移量超过满刻度  $\pm 2\%$  时,则时基线比例应重新予以校准,并对已定位的缺陷重作测定。

10.1.3 校验点的回波波幅与原波幅偏差大于  $\pm 10\%$  时,应重作校准,并对已定当量的缺陷,予以复核。

### 10.2 补偿

对比试块与被检件之间的转移补偿,可按如下的程序测定。

10.2.1 用两个折射角相同的探头,在相应的对比试块上作一收一发(如图 10)。将一次底面反射波调至示波屏满幅 80% 高度  $H_1$ (如图 11)。

10.2.2 仪器灵敏度保持  $H_1$  状态,使两探头相距两跨距(如图 12)。将两次底面反射波  $H_2$  显示在示波屏上,并用标记笔把  $H_1$  和  $H_2$  连成一线如图 13。

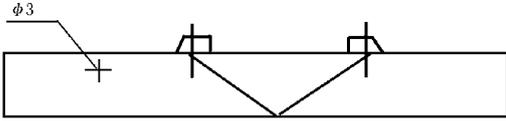


图 10 在对比试块上,以一跨距作一收一发示意图

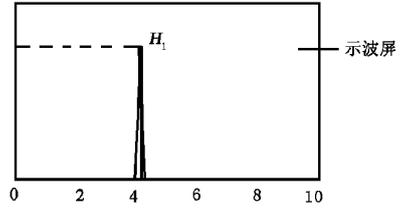


图 11 示波屏上一次底面反射波示意图

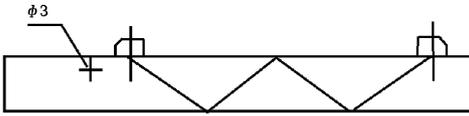


图 12 在对比试块上,以两跨距作一收一发示意图

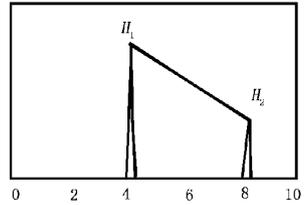


图 13 在示波屏上将 H<sub>1</sub> 和 H<sub>2</sub> 连成一线示意图

10.2.3 把以上两探头转移到被检件母材表面上,选取一跨距或两跨距(如图 14)。使母材一次或两次底面反射波 H<sub>3</sub> 显示示波屏上,如图 15。



图 14 在母材上取得底面反射波 H<sub>3</sub> 的示意图

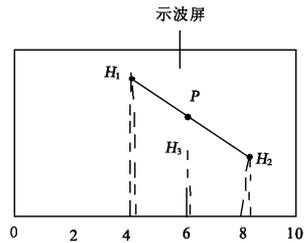


图 15 在示波屏上底面反射波 H<sub>3</sub> 和相应声程点 P 示意图

10.2.4 利用仪器上的衰减器使 H 提高(或下降)到 P 点,取得转移补偿 dB 值,如图 15

## 11 探头扫查方式

11.1 确定缺陷位置、方向、形状以及判别缺陷信号和假信号,采用前后、左右、摆动(转角)、环绕四种基本扫查方式(如图 16)

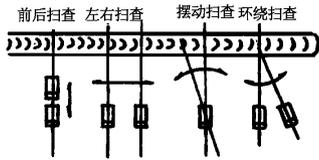


图 16

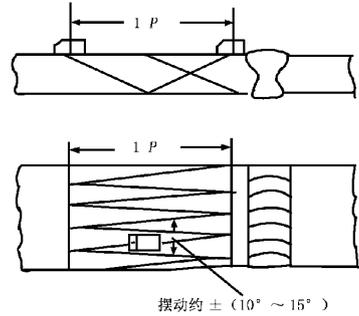


图 17

11.2 探测纵向缺陷,以前后和左右扫查组合成锯齿形扫查方式(如图 17)。探头沿焊缝方向每次移动间距应不大于晶片直径或宽度,在移动过程中作  $10^{\circ} \sim 15^{\circ}$  摆动。垂直焊缝方向移动范围应稍大于一跨距,也可将移动范围分为半跨距和一跨距两个区域(如图 18)。

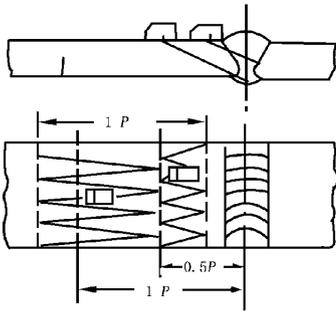


图 18

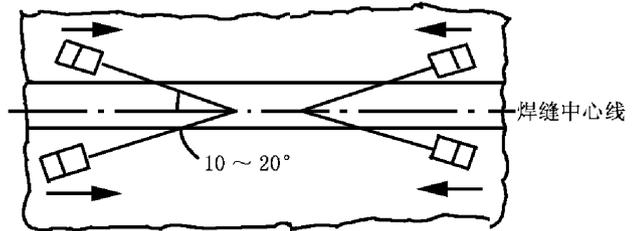


图 19

11.3 探测横向缺陷应采用斜平行扫查如图 19 所示。探头在焊缝两侧边缘并与焊缝中心线成  $10^{\circ} \sim 20^{\circ}$  交角,从四个方向进行扫查。

11.4 探测 T 型角焊缝的横向缺陷,可采用平行扫查方式,如图 20 所示,探头在面板上沿焊缝作两个方向扫查。

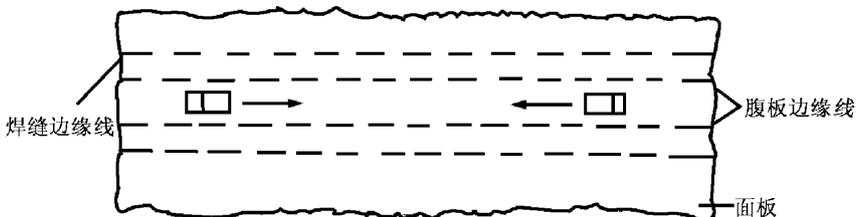


图 20

11.5 在必要和条件允许情况下为探测 T 型角焊缝面板侧层状撕裂,可采用纵波直探头,在面板上沿焊

缝作纵方形或横方形扫查如图 21、图 22 所示,其检测灵敏度及缺陷回波评定见附录 C(参考件)。

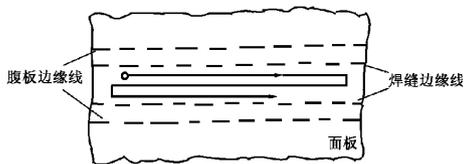


图 21

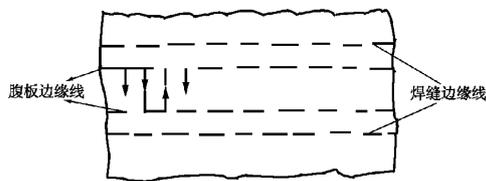


图 22

## 12 初探伤

12.1 探伤灵敏度不低于  $MRL$  线。

12.2 探测区的回波超过  $MRL$  线时,应根据探头位置、方向、扫查方式、声程和焊缝状况经识别后,判断是否为缺陷波。

12.3 在断定为焊缝缺陷的部位上作出标记。

## 13 评价探伤

13.1 探伤灵敏度调整到  $MRL$  线,并对初探伤中被标记出的部位作进一步探查。

13.2 根据最高回波的探头位置,定出缺陷方位(包括沿焊缝方向、深度、距焊缝截面中心距离)。

13.3 确定最高回波所在的区域,按 13.4 条规定,探头作左右移动,进行指示长度测定。

13.4 缺陷指示长度测定

13.4.1 缺陷回波位于  $ARL$  线和  $DRL$  线之间,且只有一个峰幅,以降低  $6dB$  相对灵敏度法测定。若有多个峰幅,则以端点峰幅降低  $6dB$  相对灵敏度法测定。

13.4.2 缺陷回波位于  $DRL$  线和  $MRL$  线之间,且只有一个峰幅时,用峰幅降至  $MRL$  线的绝对灵敏度法测定,若有多个峰幅,则以端点峰幅降至  $MRL$  线的绝对灵敏度法测定。

## 14 筒体纵向焊缝探伤

筒体纵向焊缝探伤见附录 B(补充件)。

## 15 焊缝质量评级

15.1 根据缺陷的波高和指示长度及分布状态,把焊缝质量分为  $I \sim V$  级。

15.2 高于  $ARL$  线(位于  $IV$  区)的缺陷回波均评为  $V$  级。

15.3 低于或等于  $MRL$  线(位于  $I$  区)的缺陷回波可评为  $I$  级。

15.4 超过  $MRL$  线到  $ARL$  线之间的缺陷回波根据所测定的单个缺陷指示长度按表 5 评级。

表 5

评定级别	单个缺陷指示长度 $mm$
I	$\frac{1}{3}T$ <sup>1)</sup> 8; 最小 <sup>2)</sup> 8; 最大 <sup>3)</sup> 24
II	$\frac{1}{2}T$ ; 最小 12; 最大 36
III	$\frac{3}{4}T$ ; 最小 16; 最大 48
IV	$T$ ; 最小 20; 最大 60
V	超过 IV 级

注:1)  $T$ ——被检焊缝母材厚度,若焊缝两侧母材厚度不同,以较薄侧厚度为准。

2) 最小——指母材  $T$  小于某一厚度时的允许值;例如  $I$  级焊缝,当母材  $T$  在等于小于  $24mm$  时,可允许单个缺陷指示长度为  $8mm$ 。

3) 最大——指母材 T 大于某一厚度时的上限值;例如 I 级焊缝,当母材 T 大于 72 mm 时,其单个缺陷指示长度不允许大于 24 mm。

15.5 超过 MRL 线到 ARL 线之间的缺陷回波,其指示长度小于 8 mm 均为按 4 mm 计长。

15.6 若各方向相邻缺陷的间距小于 8 mm,则以缺陷相加之和作为单个缺陷指示长度评级。

15.7 当单个缺陷指示长度未超过表 5 限值时,则在任意 6T 或 150mm (二者取小) 焊缝长度内的相加总长,不允许超过表 6 限值。

表 6

评定级别	I	II	III	IV	V
相加总长, mm	2T	2.5T	3T	4T	大于 IV 级

15.8 若两个缺陷在任意 6T 或 150 mm (二者取小者) 焊缝长度内都能取到其一部分,则应将这两缺陷的全部指示长度计人总长评级。

15.9 若被检焊缝长度小于 6T 或 150 mm (二者取小者) 时,则表 6 中的限值按比例递减。但最小总长可按表 5 的单个缺陷指示长度限值评级。

15.10 被检焊缝经探伤人员确认是危害性缺陷(裂纹、未熔合、未焊透)则评为 V 级,并不受 15.3 ~ 15.9 各条款约束。若遇到疑难,确系无法确认时,可用其他无损探伤方法作综合判断。

15.1.1 按比例抽检的焊缝,在检查区(段)一端或两端确认危害性缺陷有延伸时,应在延伸端扩大探查,其探查长度按 CB/T 3177 中第 10.13 条规定。

15.1.2 低于验收等级的焊缝,按 CB/T 3177 中第 10 条规定。

## 16 记录和报告

探伤记录式样见附录 D(参考件),报告格式见 CB/T 3177 附录 A(参考件)。

## 附 录 A

### 对比试块的形状、尺寸及适用范围

(补充件)

#### A1 CTRB-1 型

适用于被检焊缝母材厚度 6 ~ 20 mm,其形状和尺寸如图 A1 所示。

表面粗糙度  $R_a < 10\mu\text{m}$

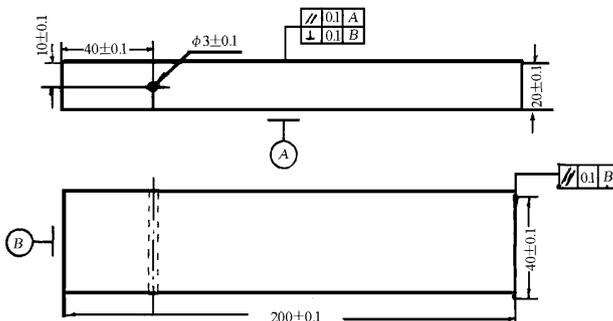


图 A1

A2 CTRB-2 型

适用于被检焊缝母材厚度 10 ~ 50 mm, 其形状和尺寸如图 A2 所示。

表面粗糙度  $R_a < 10\mu\text{m}$

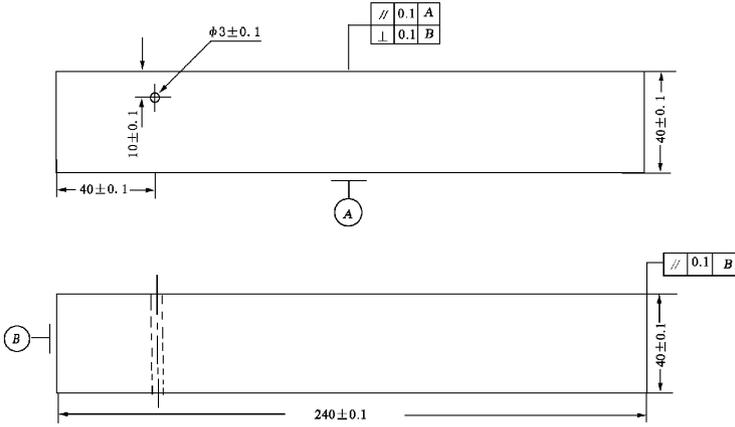


图 A2

3 CTRB-3 型

适用于被检焊缝母材厚度 50 ~ 100 mm, 其形状和尺寸如图 A3 所示。

表面粗糙度  $R_a < 10\mu\text{m}$

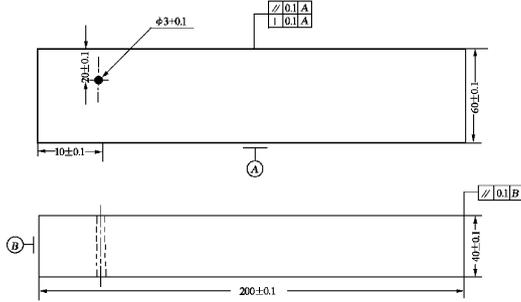


图 A3

附 录 B

筒体纵向焊缝探伤

(补充件)

B1 外径大于等于 500 mm 筒体纵向焊缝探伤

B1.1 斜探头折射角  $\beta$  应满足公式(B1)。

$$\beta < \sin^{-1} \frac{r}{R} \dots\dots\dots (B1)$$

式中:  $R$ ——筒体外半径, mm;

$r$ ——筒体内半径, mm。

B1.2 时基线以声程比例调整。

B1.3 声程修正系数  $\mu$  按图 B1 确定。

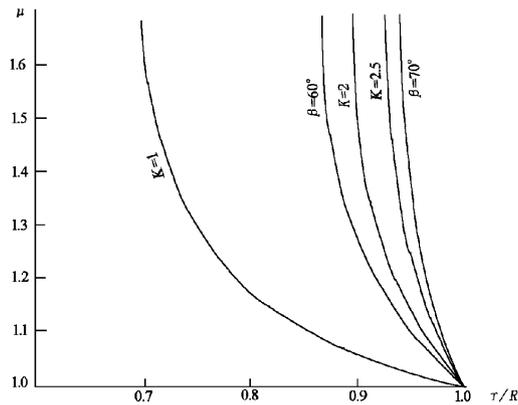


图 B1

B1.4 以筒体厚度相同的平板 1/2 和 1 跨距声程乘  $\mu$  后, 用移动标记尺固定在示波屏时基线相应格数上。

B1.5 根据缺陷波在示波屏上声程, 由三角函数计算出缺陷在径向和圆弧方向位置。

B2 外径小于 500 mm 筒体纵缝探伤

B2.1 探头斜楔纵向应磨成与被检件曲面相吻合。

B2.2 磨制后的斜探头入射点在图 B2 所示的试块上测定; 折射角由探头在曲面对比试块上扫描端角或参考孔如图 B3. 经计算后确定。

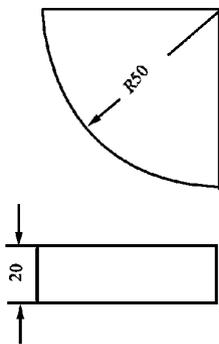


图 B2

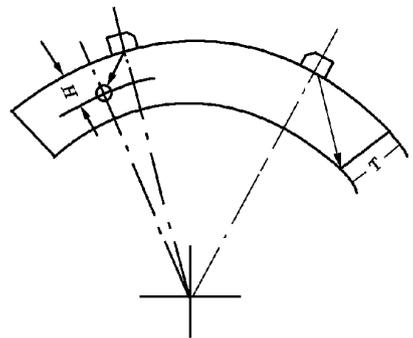


图 B3

B3 曲面对比试块

B3.1 试块型式分为 CTRB-1C、CTRB-2C 两种, 如图 B4、图 B5 所示。前者适用于母材壁厚小于等于 20

mm 的焊缝探伤;后者用于母材壁厚大于 20 mm 到 50 mm 的焊缝探伤。

B3.2 试块的材质和曲率半径与被检工件相同,表面粗糙度不大于  $30\mu\text{m}$ 。

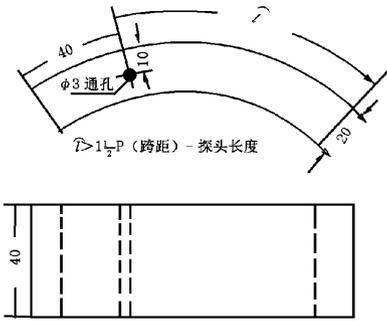


图 B4

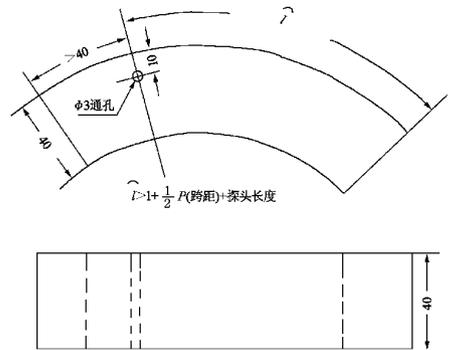


图 B5

#### B4 时基线调整

在曲面对比试块上扫描上下端角,移动探头到最大回波时,将  $\widehat{l}_1$ 、 $\widehat{l}_2$  按比例调整到示波屏相应格数上。如图 B6 所示。

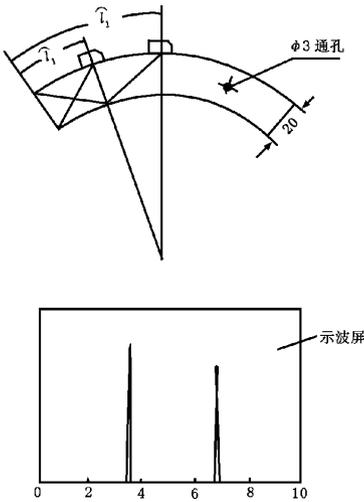


图 B6

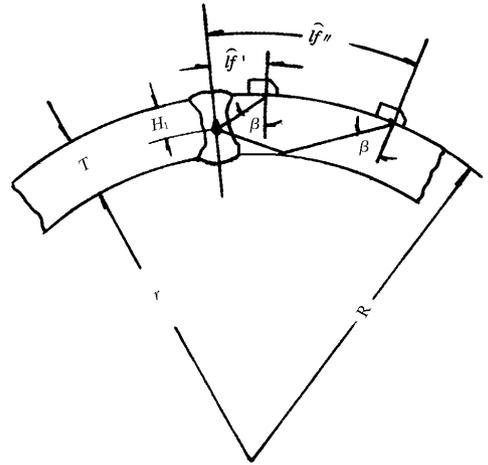


图 B7

#### B5 缺陷定位

根据缺陷波在探测面上测得的  $\widehat{l}_1'$  或  $\widehat{l}_1''$  以及工件曲率半径  $R$  和母材厚度  $T$ , 折射角  $\beta$ , 经计算确定缺陷径向深度距探测面距离  $H_1$  如图 B7 所示。

## 附 录 C

## T 型角焊缝纵波垂直探伤评定

(参考件)

- C1 本参考件适用于面板厚度大于 20 mm 的 T 型角焊缝直探头超声波探伤。
- C2 探测频率为 2 ~ 5 MHz,晶片直径为 14 mm 或 20 mm。
- C3 探测灵敏度  $\phi_2$  平底孔(MRL);测长区分线灵敏度  $\phi_3$  平底孔(DRL);判废灵敏度  $\phi_4$  平底孔(ARL)。
- C4 扫查方式按 11.5 条。
- C5 缺陷回波低于或等于  $\phi_2$  可忽略不计。
- C6 缺陷回波高于  $\phi_2$  等于  $\phi_4$ ,根据回波区域按 13.4 条测纵、横向指示长度 X、Y。
- C7 将 X 和 Y 相乘后大于 40 mm<sup>2</sup>,作不合格处理。
- C8 缺陷回波大于  $\phi_4$  作不合格处理。
- C9 缺陷回波被确认为是层状撕裂,可评为不合格,并不受 C5 ~ C7 各条约束。

## 附 录 D

## 记 录 式 样

(参考件)

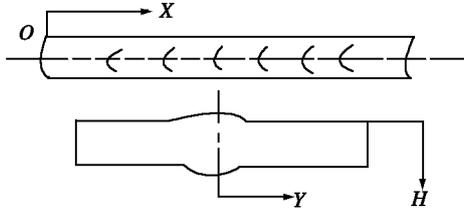
记录表

编号:

工程编号		分段编号		部件编号		
工件编号		验收等级		工件名称		
材 质		板厚,mm		接头型式		
焊接方法		表面状态		特定事项		
仪器型号		探测频率		探头型式		
折射角 (或 K 值)		晶片尺寸		耦合剂		
时基线调整		探测灵敏度		补 偿		
焊缝编号	缺陷位置			缺陷波高	评定结论	备 注
	X	H	Y			

被检件草图：

缺陷位置示意图：



探伤人员等级和签名：

日期：