

中华人民共和国国家标准

GB/T 39211—2020

船舶钢焊缝超声相控阵检测方法

Testing method of phased array technology for ship steel weld

2020-10-11 发布

2021-05-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 缩略语 1

5 人员 2

6 仪器和设备 2

7 试块和耦合剂 2

8 检测技术等级 3

9 检测前技术要求 4

10 检测 10

11 检测数据分析及缺陷确定 10

12 检测工艺验证及系统复核 13

13 检测报告 14

附录 A（资料性附录） 大厚度工件对比试块和声学评估对比试块 15

附录 B（资料性附录） 工艺验证试块反射体设置 18

附录 C（规范性附录） 手工无位置传感器相控阵超声检测方法 24



前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由全国海洋船标准化技术委员会(SAC/TC 12)提出并归口。

本标准起草单位:中国船舶工业综合技术经济研究院、中国船舶工业集团公司第十一研究所、招商局重工(江苏)有限公司、广船国际有限公司、中船黄埔文冲船舶有限公司、上海外高桥造船有限公司。

本标准主要起草人:程阳、陆雷俊、易一平、老轶佳、周文、郝璇、冯慧君、符善文、陈伟林、孙耀刚、晋克岭、叶超。



船舶钢焊缝超声相控阵检测方法

1 范围

本标准规定了船舶钢焊缝超声相控阵检测(以下简称相控阵超声检测)的人员、仪器和设备、试块和耦合剂、检测技术等级、检测前技术要求、检测、检测数据分析及缺陷确定、检测工艺验证及系统复核、检测报告等要求。

本标准适用于船舶钢焊缝相控阵超声检测。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 9445 无损检测 人员资格鉴定与认证

GB/T 12604.1 无损检测 术语 超声检测

GB/T 19418—2003 钢的弧焊接头 缺陷质量分级指南

GB/T 23905 无损检测 超声检测用试块

GB/T 32563—2016 无损检测 超声检测 相控阵超声检测方法

JJF 1338 相控阵超声探伤仪校准规范

CB/T 3559—2011 船舶钢焊缝超声波检测工艺和质量分级

ISO 13588:2019 焊缝的无损检测 超声检测 自动相控阵技术的使用(Non-destructive testing of welds—Ultrasonic testing—Use of automated phased array technology)

3 术语和定义

GB/T 9445、GB/T 12604.1 和 GB/T 32563—2016 界定的术语和定义适用于本文件。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

ACG:角度增益修正(Angle Corrected Gain)

CAD:计算机辅助制图(Computer Aided Drafting)

DAC:距离-幅度曲线(Distance Amplitude Curve)

DGS: 声程、波幅、当量关系曲线(Distance Gain Size)

SAFT:合成孔聚焦技术(Synthetic Apertrue Focusing Technique)

TCG:时间增益修正(Time Corrected Gain)

TFM:整体聚焦算法(Total Focusing Method)

TMCP:热机械控制工艺(Thermo Mechanical Control Process)



GB/T 39211—2020

TOFD:衍射声时技术(Time-of-flight Diffraction Technique)

5 人员

5.1 相控阵超声检测人员应符合 GB/T 32563—2016 的要求,应熟悉被检件的材质、几何尺寸及透声性等,对检测中出现的问题能做出分析、判断和处理。

5.2 相控阵超声检测人员应经相关的检测技术和技能培训,经船舶检验机构认可,持证上岗。

6 仪器和设备

相控阵超声检测使用的仪器和设备应符合 GB/T 32563—2016 的要求。

7 试块和耦合剂

7.1 试块

7.1.1 总则

试块包括标准试块、对比试块、工艺验证试块和多功能试块,试块制作应符合 GB/T 23905 的要求。

7.1.2 标准试块

7.1.2.1 标准试块应具有规定的化学成分、表面粗糙度、热处理及几何形状,用于声速、楔块延迟、超声设备及探头性能校准。

7.1.2.2 推荐选用 CB/T 3559—2011 规定的 IIW 试块、CSK-I A 试块或其他与之功能类似的试块。

7.1.3 对比试块

7.1.3.1 对比试块应与被检件具有相似的声学性能及意义明确的参考反射体,用于声学性能、检测灵敏度、ACG 及 TCG 的对比、评估和校准。推荐选用 CB/T 3559—2011 规定的 CTRB 系列试块或 GB/T 23905 规定的 RB-2 试块作为对比试块。

7.1.3.2 对板厚不小于 50 mm 的工件应考虑避免干扰影响,推荐设计带有斜切面的对比试块,满足全角度、全声程校准需求,参见附录 A。

7.1.3.3 管道环焊缝相控阵超声检测时,试块曲率半径应在管道曲率半径的 0.9 倍~1.5 倍之间;管道纵焊缝等曲面纵向焊缝相控阵超声检测时,试块曲率半径应在管道曲率半径的 0.9 倍~1.1 倍之间;当曲率半径大于 250 mm 时,可以采用平面对比校准。

7.1.3.4 对声速不均匀的材料,推荐设计声学评估对比试块,用于测定声学均匀性能和验证声速可用性,参见附录 A。

7.1.3.5 若使用其他试块作为对比试块,应考虑试块横孔直径、扫查灵敏度设置等差异及试块端角、相邻反射孔干扰的影响。

7.1.4 工艺验证试块

7.1.4.1 工艺验证试块分为典型参考试块和模拟缺陷试块,按不同的检测技术等级设置相关数量的人工或自然缺陷,用于验证检测工艺的有效性。

7.1.4.2 工艺验证试块的材质、形状、结构、厚度,以及焊接坡口型式和焊接工艺应与实际检测的工件相同或相近,反射体的设置参照附录 B 相关要求来进行。

7.1.5 多功能试块

多功能试块具有或部分具有标准试块和对比试块功能,可按实际需求自行设计。推荐的多功能试块见图 1。

单位为毫米

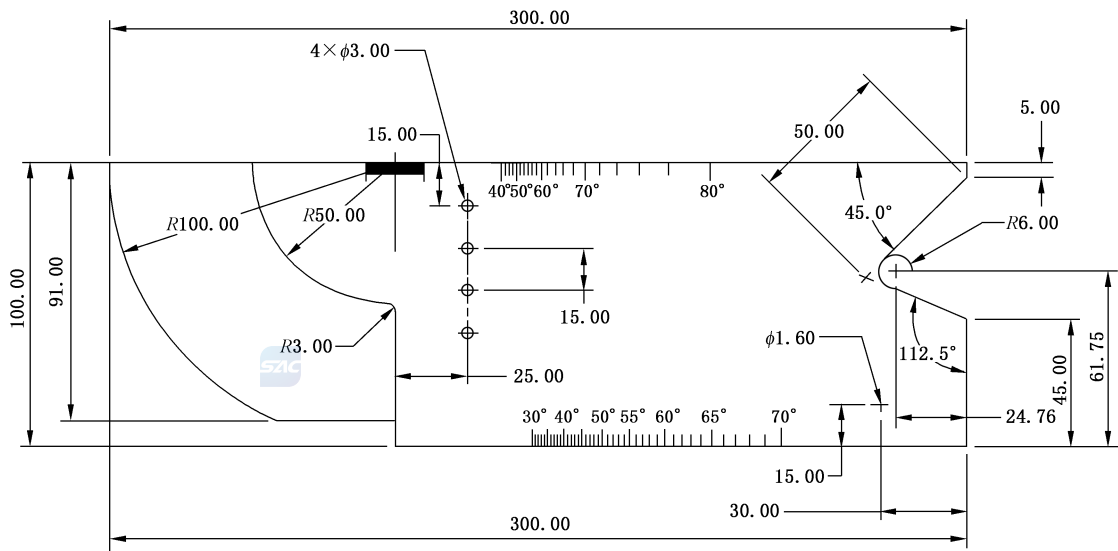


图 1 多功能试块示意图

7.2 耦合剂

7.2.1 耦合剂应保证良好的透声性能,选用的耦合剂应在操作温度范围内保证稳定可靠的超声特性和适当黏度。

7.2.2 实际检测采用的耦合剂应与检测系统设置和校准时的耦合剂相同或声学性能相近。

7.2.3 耦合剂应对操作人员、被检工件及环境无害。

8 检测技术等级

8.1 分级

焊接接头相控阵超声检测技术等级分为 A、B、C、D 四级。应根据检测工件的材质、结构、焊接方法和承受载荷等设计要求或双方约定选择相控阵超声检测技术等级。检验的完善程度和检测工作的难度按 A、B、C 顺序递增,检测技术等级 D 级为特殊应用,应根据本标准编写专门的工艺规程。

8.2 检测技术等级与其他标准的对应性

本标准推荐的检测技术等级与其他标准的对应性见表 1。

表 1 本标准与其他标准检测技术等级对应性

本标准	GB/T 32563—2016	CB/T 3559—2011	ISO 13588:2019	GB/T 19418—2003
A 级	A 级	A 级	A 级	C 级、D 级
B 级	B 级	B 级	B 级	B 级
C 级	C 级	C 级	C 级	协议商定
D 级	—	—	D 级	特殊应用

8.3 不同检测技术等级要求的不同角度的声束覆盖次数

相控阵超声检测区域覆盖一般可通过 CAD 或仿真软件进行,也可在试块上进行验证,应满足以下要求:

- a) A 级应保证相控阵探头声束对检测区域实现一次全覆盖。
- b) B 级应保证相控阵探头声束对检测区域实现不同角度两次全覆盖。
- c) C 级应保证相控阵探头声束对检测区域实现不同角度三次全覆盖。
- d) D 级为特殊应用,要求对检测区域实现至少一次全覆盖,或按照双方要求的技术规定。
- e) 应根据图像特征、信号位置对波幅较低的可疑信号进行判断。若发现坡口位置缺陷时,应采用与坡口面法线的夹角不大于 6°的声束进行验证。
- f) 当要求对检测区域进行两次以上覆盖时,宜至少使其中两次覆盖的声束来自大致相互垂直的方向。若因条件限制不能实现,至少保证两次覆盖的声束夹角不得小于 10°。
- g) 对厚度大于 100 mm 的工件,应采用一次波法进行相控阵超声检测,若受几何条件限制,在满足上述 a)~d)的条件下,可采用单面双侧或单面单侧检测。

8.4 不同检测技术等级的信噪比要求

8.4.1 检测技术等级 A、B、C 级在声学评估对比试块上测量信噪比,应确保所有检测声束在检测区域范围内信噪比不小于 9 dB。

8.4.2 检测技术等级 D 级是否制作声学评估对比试块及信噪比由双方协商确定,试块制作及测试要求参见附录 A。

9 检测前技术要求

9.1 检测时机

相控阵超声检测时机要求如下:

- a) 一般材料焊缝冷却至室温后,方可进行检测;
- b) 有产生延迟裂纹倾向的材料(例如屈服强度在 420 MPa 以上的材料),应在焊接完成至少 48 h 后进行检测;
- c) 有热处理要求的工件,应在热处理完成之后进行检测。

9.2 检测区域

9.2.1 检测区域应包含焊缝本身宽度加上两侧各 10 mm 的母材或实际热影响区宽度(取较大值)。

9.2.2 对母材厚度不足 10 mm 的薄板,检测区域应为焊缝宽度加上热影响区或母材厚度(取较大者)。

9.3 扫查方式

9.3.1 扫查方式选择

9.3.1.1 焊接接头检测推荐采用以下机械扫查与电子扫描的结合方式：

- a) 沿线扫查＋扇扫描；
- b) 沿线扫查＋线扫描；
- c) 沿线扫查＋线扫描＋扇扫描；
- d) 沿线栅格扫查＋扇扫描。

9.3.1.2 对可疑部位，可采用扇扫描，结合锯齿、前后、左右、旋转、环绕等多种扫查方式进行检测。

9.3.1.3 对无法有效采用机械扫查与电子扫描结合方式部位，例如工艺孔、工艺门、十字缝、丁字缝等结构，可采用无位置传感器扫查。

9.3.2 扫查方式、探测布置和声线示踪

9.3.2.1 相控阵超声检测各种检测等级的扫查方式、探测布置和声线示踪应符合表 2 的要求。

9.3.2.2 对不等厚焊缝的检测，应优先采用平齐面进行检测；在满足 8.3a)～d)的条件下，允许在不等厚焊缝的非齐平面进行检测；若进行相控阵超声检测和 TOFD 替代/联合检测时，相控阵超声检测应完整覆盖 TOFD 检测的盲区。

9.3.2.3 交叉焊缝相控阵超声检测在满足 8.3 的要求情况下，亦可采用将焊缝磨平、柔性探头、专用工装等技术进行相控阵超声检测。

9.3.2.4 对板厚大于 100 mm 的工件，原则上采用一次波法进行相控阵超声检测，若受几何条件限制，在满足 8.3a)～d)的条件下，可采用单面双侧、双面双侧或单面单侧检测。

表 2 不同检测等级的扫查方式、探测布置和声线示踪

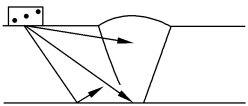
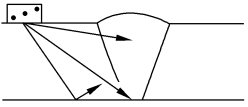

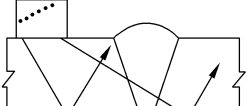
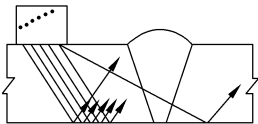
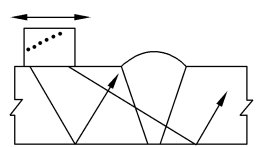
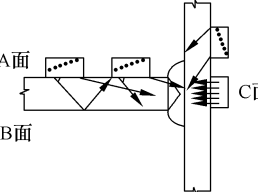
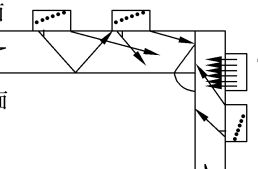
示意图	扫查方式	检测等级		
		A	B	C
	探头到焊缝距离固定、固定角度(沿线扫查) ^{a)}	两侧	单一方法不适用	两侧
	探头到焊缝距离固定、固定角度(沿线栅格扫查) ^{a)}	单侧	单侧	单侧
	线扫描(沿线扫查) ^{a)}	单侧	双侧两种角度	双侧
	扇扫描(沿线扫查) ^{a)}	单侧	双侧或两个步进偏移	双侧或两个步进偏移

表 2（续）

示意图	扫查方式	检测等级		
		A	B	C
	扇扫描+线扫描 (沿线扫查) ^b	单侧	双侧或两个 步进偏移	双侧或两个 步进偏移
	扇扫描(沿线栅格扫查)	不推荐	不推荐	单侧
	扇扫描+线扫描 (沿线扫查)	A 面或 B 面	两面	至少两面 (至少包括 C 面)
	扇扫描+线扫描 (沿线扫查)	A 面或 B 面	两面	至少两面 (至少包括 C 面)
<p>^a 检测技术等级 C,应至少补充一组扇扫描或 TOFD 检测。</p> <p>^b 中厚板检测,可使用 TOFD 替代线扫描或扇扫描,或者联合检测。</p>				

9.4 探头及楔块的选择

9.4.1 探头及楔块的选择应符合 GB/T 32563—2016 的要求。

9.4.2 管道等曲面工件焊缝相控阵超声检测时,楔块曲率和被检工件曲率误差应不大于 10%,且声束入射楔块底部和工件间隙应不大于 0.5 mm。

9.5 探头布置及软件设置

9.5.1 探头布置

探头布置应符合 GB/T 32563—2016 的要求。

9.5.2 激发孔径设置

激发孔径设置应符合 GB/T 32563—2016 的要求。

9.5.3 扇扫描设置

- 9.5.3.1 扇扫描设置应符合 GB/T 32563—2016 的要求。
- 9.5.3.2 扇扫描角度步进应保证最大检测深度处相邻声束重叠至少为 50%，推荐的扇扫描角度步进设置应符合表 3 的要求。

表 3 推荐的扇扫描角度步进设置

最大检测深度 t mm	角度步进范围
$6 \leq t < 100$	$\leq 1^\circ$
$100 \leq t \leq 150$	$\leq 0.5^\circ$

9.5.4 线扫描设置

线扫描设置应符合 GB/T 32563—2016 的要求。

9.5.5 聚焦设置

- 当检测声程范围在 50 mm 及以下时，推荐聚焦深度可以设置在最大探测声程处；当检测声程范围在 50 mm 以上时，推荐聚焦深度可以选择检测声程范围的 3/4 处或其他适当深度（例如最大检测声程处）。
- 当需要对缺陷进行精确定量及目标区域检测需要更高的灵敏度和分辨力时，可将焦点设置在该区域。



9.6 扫查面准备

- 9.6.1 扫查面准备应符合 GB/T 32563—2016 的要求。
- 9.6.2 探头楔块与工件表面的间隙不大于 0.5 mm，否则应进行修磨处理。
- 9.6.3 交叉焊缝检测需将该部位打磨平，或不打磨焊缝进行手工无位置传感器检测，手工无位置传感器检测要求见附录 C。

9.7 母材检测

母材检测应符合 GB/T 32563—2016 的要求。

9.8 检测温度

- 9.8.1 采用常规探头和耦合剂时，工件的表面温度范围为 0℃～60℃。
- 9.8.2 系统校准与实际检测间的温度差应控制在±15℃之内。
- 9.8.3 超出温度范围的检测，可采用特殊探头或耦合剂，并通过工艺试验验证检测的可操作性和可靠性。

9.9 检测系统校准

9.9.1 一般要求

- 9.9.1.1 相控阵超声检测前，应进行扫查范围和检测灵敏度的校准。
- 9.9.1.2 扫查范围的校准应覆盖需要检测的区域，校准时，对扫描角度范围内的声束按照工艺设计进行校准。

GB/T 39211—2020

9.9.1.3 校准可采用 TCG 校准或 DAC 加 ACG 校准,为避免角度灵敏度差异,也可以在校准前先进行 ACG 修正。

9.9.2 扇扫描校准

9.9.2.1 DAC 曲线和 TCG 校准可采用 CB/T 3559—2011 规定的 CTRB 系列试块、GB/T 23905 规定的 RB-2 或附录 A 中推荐的对比试块,也可采用其他横孔试块。ACG 修正可采用横孔或圆弧反射体。

9.9.2.2 扇扫描 TCG 修正后不同深度处相同反射体回波波幅应在合理范围内,经最大补偿的声束回波的信噪比应满足 8.4 的要求。

9.9.3 线扫描校准

9.9.3.1 对孔径位置灵敏度差异修正,0°声束可使用 CB/T 3559—2011 规定的 CTRB 系列试块 40 mm 的大平底回波或等效大平底回波进行修正,其余角度声束可采用 $\phi 3$ mm 孔进行校准。DAC 曲线和 TCG 修正可采用 CTRB 系列试块,也可采用其他横孔试块。

9.9.3.2 线扫描 TCG 校准后不同深度相同反射体回波波幅应在合理范围内,经最大补偿的声束回波的信噪比应符合 8.4 的要求。

9.9.4 扫查分区

9.9.4.1 扫查分区应符合 GB/T 32563—2016 的要求,对声速不均匀材料焊缝,分区应符合 A.8 的要求。

9.9.4.2 分区检测的重叠区域应不少于相邻分区的 10%。

9.9.5 灵敏度校准

9.9.5.1 灵敏度校准使用 CTRB 系列及等效试块进行,校准时,可选用 TCG 和 DAC 两种方式中的一种。

9.9.5.2 初始灵敏度校准推荐采用 TCG 校准灵敏度。

9.9.5.3 基准灵敏度的确定方法如下:

- a) 基准灵敏度(TCG):将 $\phi 3$ mm \times 40 mm 横孔回波设置为满屏高度的适当高度(例如 80%);
- b) 基准灵敏度(DAC):探测深度为 6 mm~50 mm 时,将 DAC 曲线的最大声程处 $\phi 3$ mm \times 40 mm 横孔回波调至满屏的适当高度(例如 40%),作为基准灵敏度;探测深度大于 50 mm 时,将 DAC 曲线的最大声程处 $\phi 3$ mm \times 40 mm 横孔回波调至满屏的适当高度(例如 20%),作为基准灵敏度。

9.9.6 DAC 或 TCG 曲线绘制

9.9.6.1 检测深度大于 15 mm 时,绘制 DAC 或 TCG 曲线不应少于三点,且最大深度应满足检测要求。

9.9.6.2 在检测范围内的 DAC 曲线不应低于示波屏满刻度的 20%。

9.9.6.3 DAC 曲线簇由判废线 RL、定量线 SL 和评定线 EL 组成。

9.9.6.4 评定线与定量线之间(包括评定线)为 I 区;定量线与判废线之间(包括定量线)为 II 区;判废线及以上为 III 区。

9.9.6.5 根据被检焊缝母材厚度不同,TCG 或 DAC 曲线的灵敏度应符合表 4 的要求,作为检测灵敏度。检测横向缺陷时,应将检测灵敏度提高 6 dB。

表 4 DAC 或 TCG 曲线的灵敏度

母材厚度 t mm	判废线	定量线	评定线
$6 \leq t < 50$	$\phi 3$	$\phi 3-10 \text{ dB}$	$\phi 3-16 \text{ dB}$
$50 \leq t < 100$	$\phi 3+2 \text{ dB}$	$\phi 3-6 \text{ dB}$	$\phi 3-12 \text{ dB}$
$100 \leq t \leq 150$	$\phi 3+2 \text{ dB}$	$\phi 3-2 \text{ dB}$	$\phi 3-8 \text{ dB}$

- 9.9.6.6 环焊缝检测时,TCG 或 DAC 校准应在与检测面曲率相同或相近的对比试块上进行。
- 9.9.6.7 纵焊缝的增益及声程修正可通过相应的对比试块测定,也可通过仿真软件计算实现。
- 9.9.6.8 在所采用的最大声程内,工件的表面耦合损失和材质衰减超过 2 dB 时,应进行传输损失补偿。

9.9.7 扫查步进设置

- 9.9.7.1 扫查步进指扫查过程中相邻两个 A 扫描信号间的空间采样间隔,检测前应将检测系统设置为根据扫查步进采集信号。
- 9.9.7.2 扫查步进设置按照表 5 的规定进行。

表 5 扫查步进值的设置 单位为毫米

工件厚度 t	扫查步进最大值
$6 \leq t < 50$	1.0
$50 \leq t \leq 150$	2.0

9.9.8 位置传感器的校准

位置传感器的校准应符合 GB/T 32563—2016 的要求。

9.10 设备器材性能控制核查

设备器材性能控制核查应符合表 6 的要求。

表 6 设备器材性能控制核查

项目名称	核查(或检定、校验)周期
声速	每次检测前;对检测结果有异议时
灵敏度	每次检测前;对检测结果有异议时
TCG	每次检测前;对检测结果有异议时
显示波幅线性 ^a	投入使用前和使用中每年校准一次;期间核查每三个月一次;维修后
显示水平线性 ^a	投入使用前和使用中每年校准一次;期间核查每三个月一次;维修后
晶片波幅线性	投入使用前和使用中每三个月校准一次;对检测结果有异议时;维修后
晶片有效性 ^b	投入使用前和使用中每三个月校准一次;对检测结果有异议时;维修后
定位精度 ^c	必要时(应具体细化);双方要求时
<div>^a 显示水平线性和显示波幅线性应符合 JJF 1338 的要求。</div> <div>^b 晶片有效性测试应符合 GB/T 32563—2016 的要求。</div> <div>^c 定位精度应符合 GB/T 32563—2016 的要求。</div>	

GB/T 39211—2020

9.11 技术稳定性

为确保相控阵超声检测技术稳定、可靠,建议当重要变量发生变化时,应进行扫查计划修正,具体见表 7。

表 7 技术稳定性控制表

序号	相控阵超声检测工艺及重要变量
1	探头(晶片宽度、数量、尺寸等)和楔块(材料、高度、屋顶角、角度、形状等)
2	聚焦范围(聚焦面、深度、声程、扫查增量等)
3	合成孔径(晶片数量、宽度、高度、起始位置等)
4	焊缝(外形、厚度、尺寸、扫查面等)
5	检测工艺(扇扫、线扫、水浸、直接接触、横波、纵波、自动、人工等)
6	超声设备和试块(包括设备类型、软件、发射性能等)

10 检测

10.1 依照工艺设计将检测系统的硬件及软件置于检测状态,将探头摆放到要求的位置,沿设计的路径进行扫查。扫查过程中应采取一定的措施(如提前画出探头轨迹或参考线、使用导向轨道或使用导向磁条)探头移动轨迹偏离与扫查轨迹不应超过 3 mm。

10.2 扫查速度按 GB/T 32563—2016 的规定进行。

10.3 若需对焊缝在长度方向进行分段扫查,则各段扫查区重叠范围至少为 20 mm,最大扫查长度不宜超过 2 000 mm。

10.4 耦合监控应符合 GB/T 32563—2016 的要求。

10.5 当符合以下条件之一时应进行横向缺陷检测:

- a) 有横向裂纹发生倾向;
- b) 所选用的检测等级为 C 级;
- c) 双方约定要求进行时。

10.6 进行横向缺陷检测时,可采用相控阵超声探头或常规超声探头进行斜平行扫查或平行扫查,当采用平行扫查时,建议将焊缝余高磨平。

11 检测数据分析及缺陷确定

11.1 检测数据的有效性评价

检测数据的有效性评价应按 GB/T 32563—2016 的规定进行。

11.2 指示缺陷的测量

11.2.1 总则(分层)

11.2.1.1 结合 S 型显示、B 型显示、C 型显示、扇扫描(或线扫描)及 A 扫描显示,对缺陷的位置、幅度、长度进行测量。

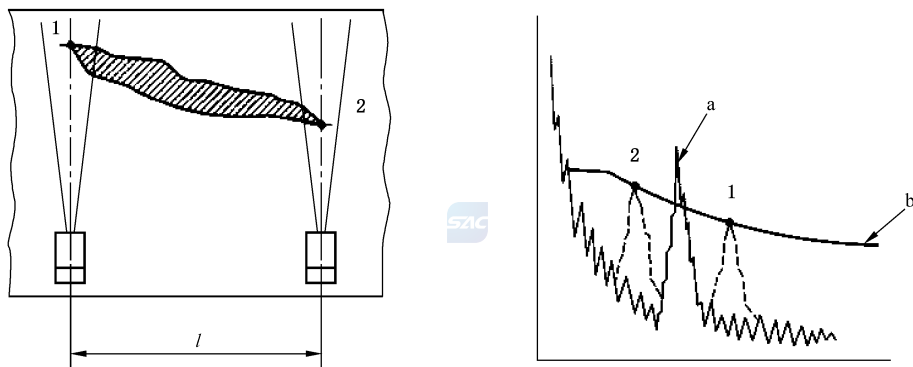
11.2.1.2 可采用 TFM 法、SAFT 法等聚焦技术提高定位精度。

- 11.2.1.3 依据缺陷的位置、显示图像等信息,初步确定缺陷的性质。
- 11.2.1.4 相关显示的分类应按规定判定分为面型显示(裂纹、未熔合、未焊透类)或者是体型显示(夹渣、气孔类)。
- 11.2.1.5 缺陷指示边界确定方法应符合 12.1.2 的要求。

11.2.2 指示缺陷长度和最大波幅测量

11.2.2.1 指示缺陷长度测量

左右移动探头或数据光标,将缺陷指示波幅降至相应验收等级的评定等级线,以探头移动距离作为缺陷的指示长度,如图 2 所示。当有需要时,可采用其他测量方法,并在检测工艺文件中注明。



说明:

1、2——当指示缺陷波幅等于评定线时的位置;

a ——最大波幅;

b ——判定线;

l ——指示缺陷测量长度。

图 2 缺陷指示长度测量位置图(斜入射技术)

11.2.2.2 指示缺陷最大波幅测量

左右移动探头或数据光标,调整不同扇扫角度(当采用扇扫时),指示缺陷最大波幅由扫查范围内缺陷最高回波幅度决定。

扇扫描时,找到不同位置扇扫描的不同角度 A 扫描中缺陷的最高回波幅度作为该指示缺陷的最大波幅。

线扫描时,找到不同孔径组合时缺陷最高回波幅度作为该指示缺陷的最大波幅。

11.2.3 指示缺陷高度测量

11.2.3.1 通用原则

指示缺陷高度显示一般随着缺陷指示长度方向变化,指示缺陷高度应由扫查范围内缺陷指示最大高度决定。

11.2.3.2 使用衍射信号测定缺陷高度

如果在相控阵超声检测中能识别衍射信号,应使用下列方法之一测定的边界作为其高度:

GB/T 39211—2020

- a) 同一指示缺陷观察到上下两个衍射信号,以两个信号峰值所在位置作为边界;
- b) 同一指示缺陷观察到一个衍射信号和一个表面信号,以衍射信号峰值和上表面位置作为边界;
- c) 根部指示缺陷识别一个衍射信号和确定壁厚尺寸,以衍射信号峰值和厚度位置作为边界;
- d) 一个和表面开口缺陷相关的衍射信号,以表面及衍射信号位置作为边界。

11.2.3.3 使用其他信号测定缺陷高度

如果指示缺陷高度不能采用衍射信号进行测量,可采用以下方法进行测量:

- a) 采用绝对灵敏度测量方法,或者 TCG、DGS 或半波法等测量方法;
- b) 反射信号时差;
- c) 波形转换信号时差。

11.2.4 缺陷深度及水平位置测量

缺陷最高波波幅在 Z 轴方向上位置定义为缺陷深度;在 Y 轴方向上定义为缺陷水平位置(步进偏移),X 轴方向上位置定义为缺陷扫查位置(扫查偏移),具体见图 3 和图 4。

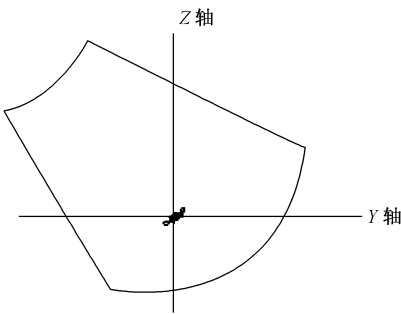


图 3 相控阵超声检测缺陷深度及水平位置(S 型显示)

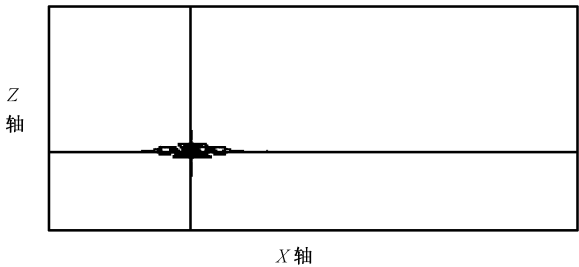
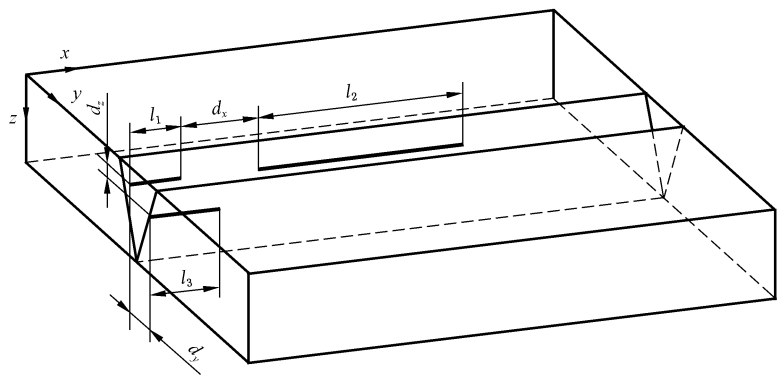


图 4 相控阵超声检测缺陷深度及水平位置(B 型显示)

11.2.5 缺陷定位

检测时,缺陷定位按照预定的起始位置起算,推荐定位原则如图 5 所示。



说明：
 d_x, d_y, d_z —— x, y, z 方向上两显示的间距；
 l_i —— 单个缺陷显示的长度, $i=1, 2, \dots, n$ 。

图 5 缺陷定位示意图

12 检测工艺验证及系统复核

12.1 检测工艺验证

12.1.1 试块验证

相控阵超声检测工艺建立后,若有需要,应按照附录 B 相应的检测等级进行检测工艺验证。工艺验证试块中典型参考试块用于检测等级为 A、B、C 级的检测工艺验证,对比试块用于检测等级为 B、C、D 级的检测工艺验证。

检测工艺验证方式按照附录 B 中要求进行典型参考和模拟缺陷验证,由检测及委托方共同确认其中的一种。

检测工艺验证一般可在典型参考试块上进行,出现 GB/T 32563—2016 中 8.2.2 规定的情况之一时,可在模拟缺陷试块上进行验证试验。

12.1.2 一般要求

工艺验证用典型参考试块和模拟缺陷试块材质宜和现场被检工件相同或相近,厚度应为被检工件的 0.9 倍~1.3 倍,且最大差值不大于 25 mm。

工艺验证实验结果应确保能够清楚地显示和测量对比试块中缺陷或反射体。工艺验证试验检测分析后所得缺陷长度不小于实际尺寸。

12.1.3 特殊要求及应用

检测工艺验证特殊要求及应用应符合 GB/T 32563—2016 的要求。采用相控阵超声检测进行特定缺陷检测时(如仅进行横向缺陷检测),可按照技术文件要求仅制作该类型缺陷试块,但工艺验证应满足 12.1.1 和 12.1.2 的要求。

12.2 检测复核

12.2.1 当出现 GB/T 32563—2016 中 10.7.1 规定的情况时,应进行检测系统的复核。

12.2.2 复核应采用与初始检测设置时的同一试块。若复核时发现与初始检测设置的测量偏离,则按照表 8 规定执行。检测复核一般采用中心角,每次复核不少于 3 点。

GB/T 39211—2020

表 8 偏离和纠正

偏差范围		纠正措施
灵敏度	偏差不大于 4 dB	通过软件进行纠正
	偏差大于 4 dB	应重新设置,并重新检测上次校准以来所检测的焊缝
深度	偏差不大于 0.5 mm 或 2% (取较大值)	不需要采取措施
	偏差大于 0.5 mm 或 2% (取较大值)	应找出原因重新设置。若在检测中或检测后发现,则纠正后应重新检测上次校准以来所检测的焊缝

13 检测报告

检测报告应符合 GB/T 32563—2016 的要求。



附录 A
(资料性附录)
大厚度工件对比试块和声学评估对比试块

A.1 概述

常规材料、中薄壁焊缝的相控阵超声检测采用常规对比试块可以解决灵敏度校准等具体应用,在厚度不小于 50 mm 的大厚度焊缝检测中,由于相控阵超声多点校准方式导致的反射体及端面干扰较为严重,推荐设计大厚度工件对比试块来满足灵敏度校准。

不同声学性能材料及同种材料内部声学性能的不均匀性,会导致相控阵超声检测结果的可靠性下降,推荐设计声学性能评估专用的试块来满足评价。

A.2 大厚度工件对比试块设计目标

大厚度工件对比试块设计目标主要用于壁厚 50 mm 以上工件相控阵超声检测灵敏度对比测试。

A.3 大厚度工件对比试块示例

推荐的大厚度工件对比校准试块示意图见图 A.1。试块左侧部位设计孔径为 1.6 mm 的横通孔,可用于验证信噪比测试,右侧部位设计深度为 10 mm、30 mm、50 mm、70 mm 四个孔径为 3 mm 的横通孔,用于进行检测校准。

单位为毫米

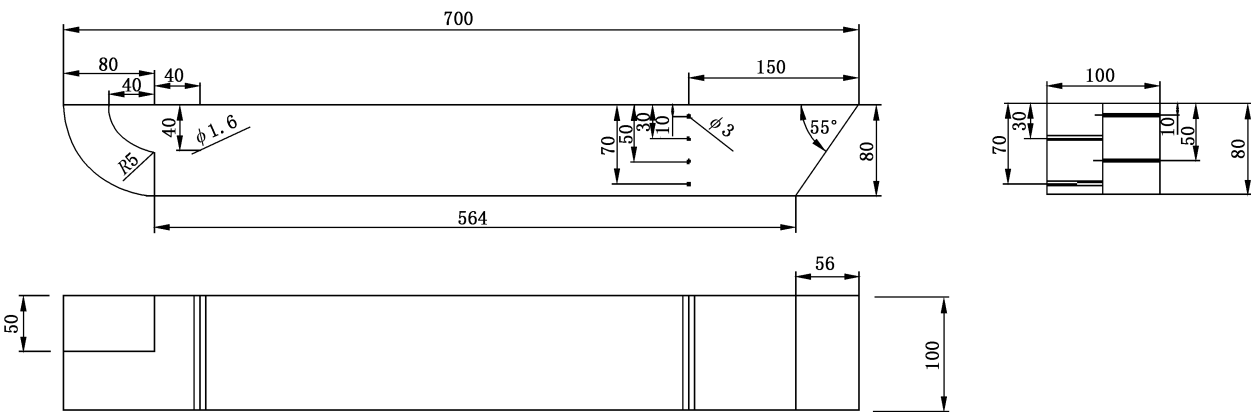


图 A.1 大厚度工件校准试块示意图

A.4 声学评估对比试块设计目标

某些非常规被检材料(如 TMCP 钢、不锈钢等)在超声波传播声学上具有一定的特异性,这需要进行被检材料声学均匀性测定及各个方向声速测定,以确定是否能进行相控阵超声检测。

A.5 声学性能评估试块示例

制作声学性能评估对比试块示意图见图 A.2,具体要求如下:

- a) 试块选用和被检工件同一材质及热处理状态的板材加工而成;
- b) 截取板材压延方向(R 方向)及垂直方向(T 方向)板材,长度不小于板厚 8 倍,宽度大于 4 倍的探头宽度,并做好 T 方向及 R 方向标记;也可截取正方形试块并满足上述要求。
- c) 分别在 T 方向、R 方向的试块板厚 1/4、3/4 处侧边钻直径 3 mm、长度 40 mm 的孔。

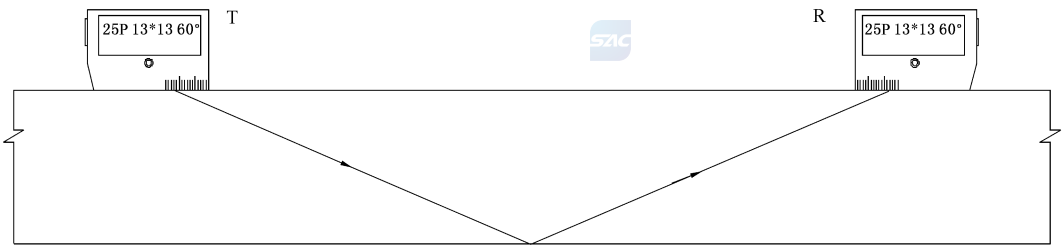


图 A.2 声学性能评估对比试块示例

A.6 被检测材料声速均匀性测试方法

A.6.1 调整和测量超声检测系统的探头零位和前沿。

A.6.2 将探头分别置于 T 方向专用对比试块和 R 方向专用对比试块上,探头折射角偏差小于 1°,收发布置如图 A.2 所示,探头角度可在相控阵超声检查角度内选择。

A.6.3 按照几何函数计算声波在试件中的声程,并分别计算出 T 方向和 R 方向上的材料声速,取 3 个位置,计算横波声速在 T 方向上和 R 方向上的各自平均的声速。

A.7 被检测材料声速均匀性测试评估

对比 T 方向上和 R 方向上的平均声速,若该材料的 T 方向和 R 方向上的平均声速偏差不大于 60 mm/s,则认为该材料不具有明显方向性,可将 T 方向上和 R 方向上的平均声速作为常规均质钢材进行相控阵超声波检测。

若该材料的 T 方向和 R 方向上的平均声速偏差大于 60 mm/s,说明该材料超声波声学性能在 T 方向和 R 方向上具有明显的各项异性,在相控阵超声检测时,需要制作 T 方向和 R 方向专门的校准试块,并可将 T 方向和 R 方向上的各自平均声速分别作为相控阵超声检测 T 方向和 R 方向时的声速输入。

A.8 被检测材料声速均匀性验证

调节完成后的相控阵超声检测系统,在如图 A.3 所示的对比试块上进行声速可用性的校核,一般在设定系统下,在最大检测声程范围内的直径 3 mm 的侧边钻孔,定位深度误差不大于 10%且不大于 2 mm (两者取较小值),若超出上述限值应在厚度方向上进行合理分区检测。

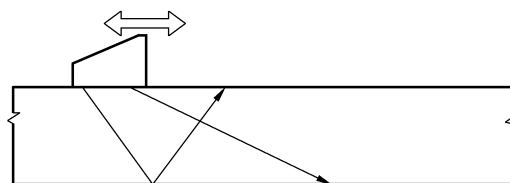


图 A.3 声速可用性校核对比试块

附 录 B
(资料性附录)
工艺验证试块反射体设置

B.1 典型参考试块反射体设置

母材厚度 6 mm~25 mm,至少有 3 个反射体。反射体可被加工在一个或多个试块上。母材厚度大于 25 mm,至少有 5 个反射体。反射体可被加工在一个或多个试块上。

参考反射体的尺寸公差如下:

- a) 直径:±0.2 mm;
- b) 长度:±2 mm;
- c) 角度:±2°。

表 B.1、表 B.2 和表 B.3 给出了不同厚度下的参考反射体。

表 B.1 参考试块上槽的长度和深度(底部) 单位为毫米

厚度 t	长度	高度	宽度
$6 \leq t < 40$	t	1 ± 0.2	0.2 ± 0.05
$40 \leq t < 60$	40 ± 2	2 ± 0.2	0.2 ± 0.05
$60 \leq t < 100$	50 ± 2	2 ± 0.2	0.2 ± 0.05
$100 \leq t \leq 150$	60 ± 2	3 ± 0.2	0.2 ± 0.05

表 B.2 横通孔直径 单位为毫米

厚度 t	直径
$6 \leq t < 25$	2.5 ± 0.2
$25 \leq t < 50$	3.0 ± 0.2
$50 \leq t < 100$	4.5 ± 0.2
$100 \leq t \leq 150$	6.0 ± 0.2
注:如果需要加工近表面孔时,孔径为 2 mm,见图 B.2。	

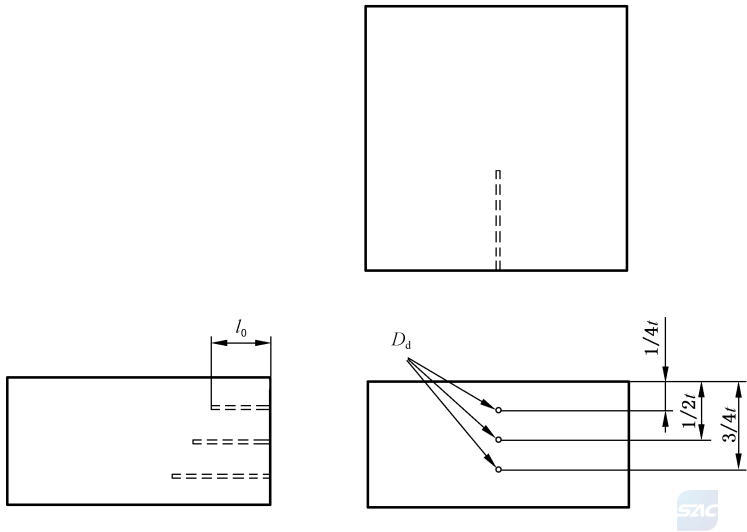
表 B.3 横通孔和表面槽长度(厚度 $t > 25$ mm) 单位为毫米

深度	一个试块上 3 个孔最小长度	多个试块 1 个孔最小长度	一个试块 3 个槽最小长度	多个试块 1 个槽最小长度
$1/4t$	$l_0 = 45$	45	40	40
$1/2t$	$l_0 + 15$	45	40	40
$3/4t$	$l_0 + 30$	45	40	40

B.2 典型参考试块示意图

B.2.1 检测技术等级 A

检测技术等级 A 推荐的典型参考试块示意图见图 B.1。



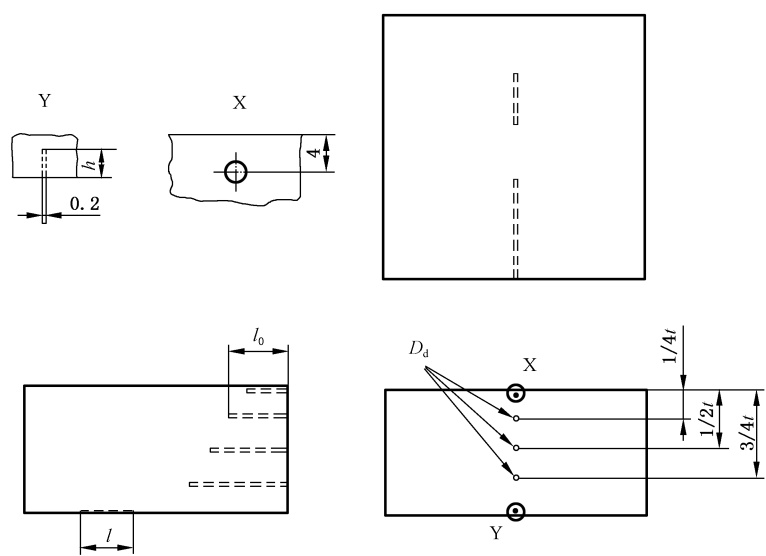
说明：
 D_d ——横通孔直径；
 l_0 ——横通孔长度；
 t ——试块厚度。

图 B.1 推荐的典型参考试块(检测技术等级 A)

B.2.2 检测技术等级 B

检测技术等级 B 推荐的典型参考试块示意图见图 B.2。

单位为毫米



说明：

D_d ——横通孔直径；

h ——底部槽深度；

l ——底部槽长度；

l_0 ——横通孔长度；

t ——试块厚度。

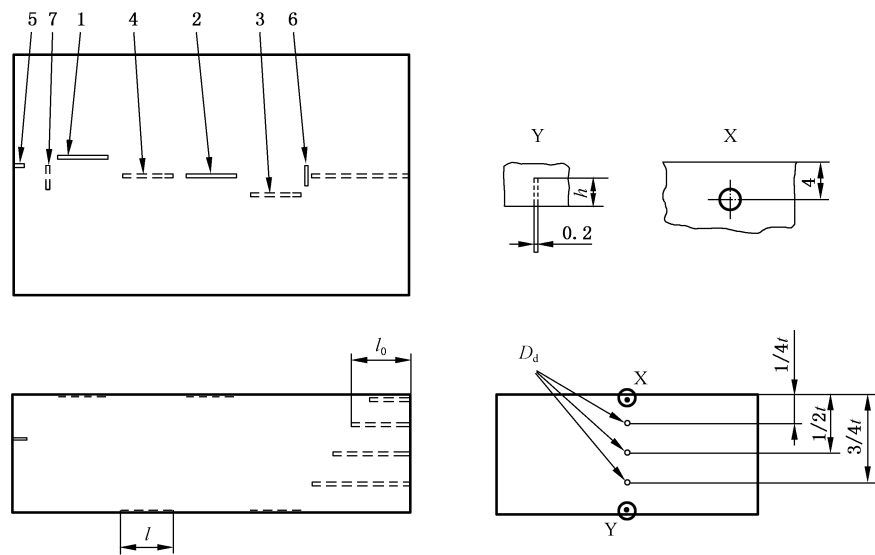
注：X 细节图为距表面深度 4 mm 横通孔，直径 2 mm 且最小长度 30 mm。相同尺寸表面槽也可采用表 B.1。

图 B.2 推荐的典型参考试块(检测技术等级 B)

B.2.3 检测技术等级 C

检测技术等级 C 推荐的典型参考试块示意图见图 B.3。





说明：

D_d —— 横通孔直径；	1,2 —— 近表面槽；
h —— 槽深度；	3,4 —— 远表面槽；
l —— 槽长度；	5 —— 假想焊缝坡口槽；
l_0 —— 横通孔长度；	6 —— 近表面横向槽；
t —— 试块厚度；	7 —— 远表面横向槽。

注 1：X 细节图为距表面深度 4 mm 横通孔，直径 2 mm 且最小长度 30 mm。相同尺寸表面槽也可采用表 B.1。

注 2：槽 2 和槽 4 位于假想焊缝中心线上；槽 1 和槽 3 位于假想焊缝两侧；槽 5 位于假想焊缝坡口上，与焊缝坡口面夹角为 $\pm 5^\circ$ ，槽 5 的位置和尺寸按规定要求。

图 B.3 推荐的典型参考试块(检测技术等级 C)

B.3 推荐模拟缺陷试块反射体设计原则和要求

B.3.1 检测技术等级 B、等级 C

- B.3.1.1 模拟缺陷试块与被检测工件在材质、形状、主要几何尺寸、焊接坡口型式和焊接工艺等方面应相同或相近。应在需要验证的位置设置缺陷，缺陷类型可以是焊接或其他方法产生的自然缺陷，也可以是通过机械加工得到的模拟缺陷的反射体。
- B.3.1.2 模拟缺陷试块中缺陷设计时，可设计具有代表性的缺陷（气孔、夹渣、裂纹、未熔合、未焊透等），必要时设计横向缺陷。
- B.3.1.3 设计缺陷尺寸应不大于表 B.4、表 B.5 规定。
- B.3.1.4 设计缺陷至少包含 1 个合格缺陷，当设计 2 个以上同类型缺陷时，应设计在焊缝中心线两侧。
- B.3.1.5 上下表面缺陷可设计为人工矩形槽，矩形槽应平行于焊缝中心线，位置设置于焊缝热影响区的外缘。人工矩形槽可校准扫查覆盖及测量方法。上下表面矩形槽的几何尺寸见表 B.4。

GB/T 39211—2020

表 B.4 表面人工矩形槽推荐尺寸 单位为毫米

母材厚度 t	矩形槽深度	矩形槽长度	矩形槽宽度
$6 \leq t < 25$	$\leq \text{壁厚} \times 0.087$	6.4	2
$25 \leq t < 64$	$\leq \text{壁厚} \times 0.055$	$\leq \text{槽深} \times 4$	2
$64 \leq t < 100$	$\leq \text{壁厚} \times 0.044$	$\leq \text{槽深} \times 4$	2
$100 \leq t \leq 150$	$\leq \text{壁厚} \times 0.033$	$\leq \text{槽深} \times 4$	2
注：其他高度的内部缺陷由双方协商执行。			

B.3.1.6 内部合格缺陷设计用于检查检测工艺灵敏度和测量方法。内部缺陷设计应满足所采用验收标准的合格水平或表 B.5 所示几何尺寸要求。

表 B.5 内部缺陷推荐尺寸 单位为毫米

母材厚度 t	内部缺陷高度	内部缺陷长度
$6 \leq t < 25$	$\leq \text{壁厚} \times 0.143$	≤ 6.4
$25 \leq t < 64$	$\leq \text{壁厚} \times 0.066$	$\leq \text{高度} \times 4$
$64 \leq t < 100$	$\leq \text{壁厚} \times 0.052$	$\leq \text{高度} \times 4$
$100 \leq t \leq 150$	$\leq \text{壁厚} \times 0.038$	$\leq \text{高度} \times 4$
注：其他高度的内部缺陷由双方协商执行。		

- B.3.1.7 不同厚度结构焊缝模拟试件应满足以下要求：
- a) 10 mm～25 mm 厚度的结构焊缝模拟试件至少设计 4 个缺陷，分别为坡口未熔合、上表面缺陷、下表面缺陷、内部缺陷(如图 B.4 所示)；
 - b) 25 mm～100 mm 厚度结构焊缝模拟试件至少设计 5 个缺陷，分别为坡口未熔合、上表面缺陷、下表面缺陷、条状缺陷(内部缺陷)、点状缺陷(内部缺陷)；
 - c) 大于 100 mm 厚度结构焊缝模拟试件至少设计 6 个缺陷，分别为坡口未熔合、上表面缺陷、下表面缺陷、未焊透缺陷、条状缺陷(内部缺陷)、点状缺陷(内部缺陷)；
 - d) 模拟缺陷试块可在焊缝及母材内适当部位(建议 1/2 或 3/4 壁厚位置处)加工 1.6 mm 侧边钻孔，用以测试信噪比。

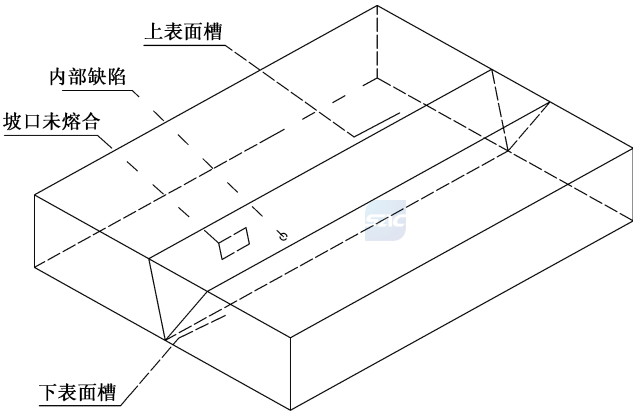


图 B.4 典型检测工艺验证试块(25 mm 以下)

B.3.2 检测技术等级 D

B.3.2.1 交叉焊缝或丁字焊缝模拟试件的设计原则

交叉焊缝或丁字焊缝模拟缺陷设计时,应满足 B.3.1 的要求,并在非主焊缝方向靠近主焊缝中心线区域设置一定长度的未焊透或其他典型缺陷。

B.3.2.2 其他典型缺陷焊缝模拟试件的设计原则

当相控阵超声检测仅用于典型的缺陷的检测时,可按照典型缺陷的存在形式进行单个特定典型缺陷试块的设计。典型缺陷可按照实际缺陷的存在和焊接工艺情况进行设置,至少应设置所需要发现的最小典型缺陷。例如横向表面裂纹缺陷平行扫查设计时,可按照双方要求,至少设计一个需发现最小缺陷横向缺陷。



GB/T 39211—2020

附 录 C
(规范性附录)
手工无位置传感器相控阵超声检测方法

C.1 使用原则

手工无位置传感器相控阵超声检测用于无法采用一维线性位置传感器记录的部位,例如交叉焊缝、工艺门拐角处等。

C.2 扫查视图

手工无位置传感器相阵超声检测时,一般采用扇扫描或线扫描进行检测。但至少包含 S 型视图(或 E 型视图)和 A 型视图。

C.3 检测范围



手工无位置传感器相控阵超声检测范围一般为无法采用位置传感器的相控阵超声检测局部部位,手工无位置传感器相控阵超声检测范围重叠覆盖不少于 30 mm。

C.4 检测技术等级

手工无位置传感器相控阵超声检测检测技术等级一般与其相邻部位相同,若无法满足有效覆盖次数或现场应用较困难时,可采用检测技术等级 D 级。

C.5 扫查方式

为确定缺陷的位置、方向、形状,判别缺陷信号与伪缺陷信号,可采用前后、左右、转角和环绕四种基本扫查方式。交叉焊缝等直线型焊缝,推荐根据模拟声场覆盖情况采用沿线扫查(固定偏移量的左右扫查),如图 C.1 所示。

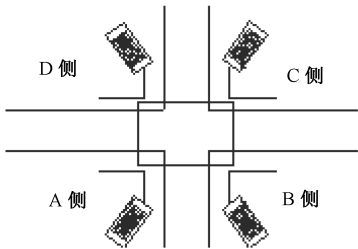


图 C.1 交叉焊缝扫查推荐示意图

C.6 检测数据的存储

手工无位置传感器相控阵超声检测由于无法保存完整有效检测数据,对无缺陷部位可不保存检测数据,对需要记录或返修的缺陷需要以适当视图的形式保存检测数据。

C.7 记录合格及返修缺陷记录图像

记录及返修缺陷视图中应同时包含 S 型视图(或 E 型视图)和 A 型视图。记录合格及返修缺陷图像,应取指示缺陷最严重位置。

