

DB61

陕 西 省 地 方 标 准

DB 61/T 1764—2023

燃气聚乙烯管道热熔接头相控阵超声检测

Phased array ultrasonic testing for butt fusion joint of gas polyethylene pipes

2023 - 12 - 22 发布

2024 - 01 - 22 实施

陕西省市场监督管理局 发布

目 次

前言..... II

1 范围..... 1

2 规范性引用文件..... 1

3 术语和定义..... 1

4 检测人员..... 2

5 检测设备..... 2

6 检测工艺..... 3

7 检测数据分析..... 5

8 缺陷评定..... 6

9 检测报告..... 7

附录 A （规范性） 对比试块 PE-A..... 8

附录 B （规范性） 对比试块 PE-B..... 9

附录 C （规范性） 对比试块 PE-C..... 10

附录 D （资料性） 热熔接头含缺陷模拟试块制作..... 11

附录 E （资料性） 热熔接头相控阵检测特征图谱..... 13

前 言

本文件按照GB/T 1.1-2020给出的规则起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由陕西省市场监督管理局提出并归口。

本文件起草单位：榆林市特种设备检验检测院、上海海骄机电工程有限公司、西安特种设备检验检测院、铜川市特种设备检验所、上海派普诺管道检测科技发展有限公司。

本文件主要起草人：李宇翔、崔增林、印军华、负柯、王占荣、王家庚、高文智、方家宁、张建龙、高兴、金鑫、李飞、刘晓鹏、杜博远、郑欣、邱娟、宋海平、孙涛、郭志、黄金轩、乔媛媛、李隆章、冯帆、毛维辉、贾学滨。

本文件由榆林市特种设备检验检测院负责解释。

联系信息如下：

单位：榆林市特种设备检验检测院

电话：0912-8186855

地址：陕西省榆林市西沙柳营东路双灵东巷16排5号

邮编：719000

燃气聚乙烯管道热熔接头相控阵超声检测

1 范围

本文件规定了燃气用埋地聚乙烯管道热熔接头相控阵超声检测人员、检测设备、检测工艺、检测数据分析、缺陷评定及检测报告的要求。

本文件适用于公称直径 $\geq 75\text{ mm}$ ，且壁厚 $< 40\text{ mm}$ 的燃气聚乙烯管道热熔接头的相控阵超声检测。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件；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 15558.1 燃气用埋地聚乙烯（PE）管道系统 第1部分：管材
- GB/T 15558.2 燃气用埋地聚乙烯（PE）管道系统 第2部分：管件
- GB/T 29302 无损检测仪器 相控阵超声检测系统的性能与检验
- GB/T 32563 无损检测 超声检测 相控阵检测方法
- NB/T 47013.15 承压设备无损检测 第15部分：相控阵超声检测

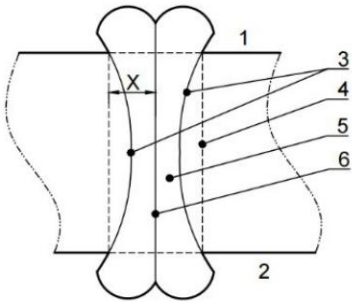
3 术语和定义

GB/T 9445和GB/T 32563界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

熔合区 MFZ melt fusion zone

热熔对接过程中晶体熔化的区域。熔合区如图1。



- 注 1：1——接头外侧
- 注 2：2——接头内侧
- 注 3：3——熔合区边界
- 注 4：4——测试区

注 5: 5-----熔合区

注 6: 6-----熔合面

图 1 热熔接头熔合区

3.2

未熔合 lack of fusion

熔合界面处聚合物分子间没有扩散，导致界面未熔合在一起的缺陷。

3.3

熔合面夹杂 Inclusion

熔合面掺入外来物。

3.4

孔洞 porosity

界面处熔融聚合物结晶时，气体未能逸出而残留下来所形成的空穴。

3.5

微粒污染 particulate contamination

熔合界面处存在颗粒物污染的缺陷。

4 检测人员

4.1 检测人员应符合 GB/T 9445 或相应适用标准的要求，进行检测资格鉴定，并取得相应等级的证书。取得各级别的检测人员，只能从事与该资格级别相应的无损检测工作，并负相应的技术责任。

4.2 检测人员应了解燃气用聚乙烯管道的特性、制造工艺和焊接工艺，通过聚乙烯管道焊接接头相控阵超声检测专业技术培训，并能独立进行聚乙烯管道焊接接头相控阵超声检测。

4.3 检测人员应得到聘用单位的工作授权。

5 检测设备

5.1 仪器

相控阵超声检测仪器性能应符合 GB/T 29302。

5.2 探头

5.2.1 探头采用一维线阵纵波探头，阵元间距应 ≤ 0.6 mm，阵元长度应 ≤ 10 mm。

5.2.2 探头频率应根据管材厚度选定。不同管材厚度范围适用的探头频率见表 1。

表 1 不同管材厚度适用的探头频率

管材厚度 e (mm)	频率 f (MHz)
$6 < e \leq 15$	5~6
$15 < e \leq 30$	4~5
$e > 30$	2.25~4

5.2.3 工件与楔块间应耦合良好。工件与楔块最大间隙超过 0.5 mm 时，应定制与工件曲率相符的楔块。

5.3 试块

5.3.1 对比试块用于调节设备，材料与被检件相似，含有意义明确的参考反射体。对比试块 PE-A、PE-B、PE-C 尺寸和要求应符合附录 A、附录 B、附录 C。

5.3.2 模拟试块用于检测工艺的验证。外形尺寸应能代表被检工件的特征，厚度应与被检工件厚度相对应。模拟试块的制作方法可参考附录 D。

5.4 耦合剂

应结合待检熔接接头的表面平整程度选择耦合剂：

- a) 对表面平整的焊接接头，应采用透声性好，且不损伤检测表面的耦合剂，如浆糊、甘油和水等；
- b) 对表面不平整的焊接接头，应采用其声速与聚乙烯材料相同或接近，声阻抗与聚乙烯材料相差不大的耦合剂，推荐采用由甘油、水玻璃等按一定比例混合配制而成的稠状耦合剂；
- c) 应在工艺文件规定的温度范围内稳定可靠。

5.5 扫查器

5.5.1 应能夹持探头并贴合管道沿焊缝进行平行扫查。

5.5.2 检测前应对扫查器进行校准，位移误差应≤1 %，最大不超过 10 mm。

5.6 校准、核查、运行核查和检查

检测设备的校准、核查、运行核查和检查要求按NB/T47013.15执行。

6 检测工艺

6.1 检测区域

熔合区加上两侧各 5 mm 的母材。

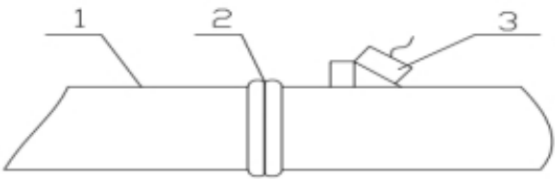
6.2 扫查方式选择

采用周向扫查。

6.3 探头布置及软件设置

6.3.1 探头布置

探头平行于管材轴线，布置于焊缝上或焊缝附近（见图2）。



注 1：1———管材；
注 2：2———热熔接头；
注 3：3———相控阵探头。

图 2 探头的布置

6.3.2 激发孔径

激发孔径尺寸D、阵元宽度b应满足： $0.2 \leq D/b \leq 5$ 。推荐选择较大的激发孔径。

6.3.3 检测模式

检测模式可从图3～图5中选取。



图 3 线性扫描模式

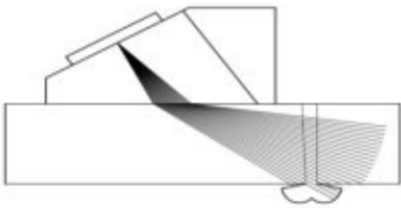


图 4 扇形扫描模式

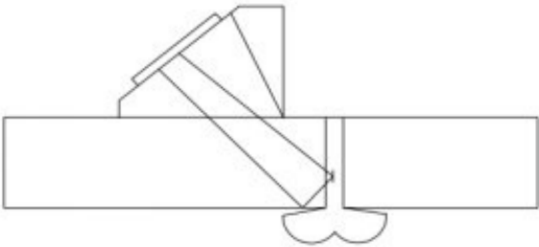


图 5 全聚焦模式

6.3.4 聚焦设置

6.3.4.1 初始扫查聚焦深度设置在工件中最大探测声程处。

6.3.4.2 在对缺陷进行精确定量或对特定区域检测需要获得更高的灵敏度和分辨力时，可将焦点设置在该区域。但应注意聚焦区以外声场劣化。

6.3.5 显示设置

显示设置宜设置为A扫描显示、S型显示、C型显示和D型显示。

6.4 检测时机

熔接完成并经自然冷却 1.5 h后。

6.5 扫查面

6.5.1 待检热熔接头应符合以下要求：

- a) 采用管材符合 GB/T 15558.1 的要求，管件符合 GB/T 15558.2 的要求；
- b) 接头由持证焊工按经评定合格的焊接工艺进行组装、施焊；
- c) 接头宏观检查和外卷边切除检查合格，接头表面平整、干净，不影响探头与工件的声耦合。

6.5.2 所有影响检测的污物等应予以清除。

6.6 灵敏度

6.6.1 使用 PE- A 系列试块，采用 TCG 方式校准灵敏度。

6.6.2 扫查灵敏度由工艺验证试验确定，一般设定为 $\phi 1 \times 25$ -4dB。

6.6.3 工件表面耦合损失和最大声程处材质衰减与试块相差大于或等于 2dB 时，应进行传输损失补偿。

6.7 扫查

6.7.1 扫查速度应 ≤ 30 mm/s，扫查步进 ≤ 1 mm。

6.7.2 扫查起止位置至少重叠 20 mm。

6.7.3 扫查过程中应保持稳定的耦合。

6.8 工艺验证

工艺验证一般在模拟试块上进行，应能够清楚地显示模拟试块中的缺陷或反射体。

7 检测数据分析

7.1 有效性评价

分析前应对采集的检测数据进行评估以确定其有效性，检测数据应满足以下要求：

- a) 扫查图像中耦合不良累计不得超过 5%，单个耦合不良长度不得超过 2 mm；
- b) 灵敏度、信噪比符合检测要求；
- c) 数据覆盖检测范围，无漏检；
- d) 数据丢失量不得超过 5%，且不允许相邻数据连续丢失。

7.2 缺陷识别

7.2.1 根据 S 型显示、C 型显示和 D 型显示，结合 A 扫描显示，识别缺陷显示，判定缺陷类别。

7.2.2 附录 E 给出热熔接头相控阵超声检测特征图谱。

7.3 缺陷测量

7.3.1 位置、尺寸测量

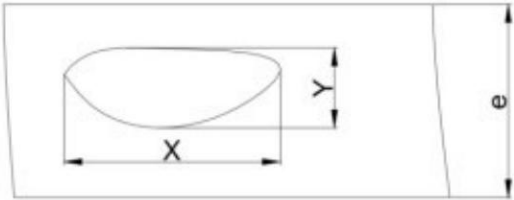
7.3.1.1 结合 S 型显示、C 型显示、D 型显示及 A 扫描显示，对缺陷的位置、尺寸进行测量。

7.3.1.2 缺陷尺寸：若缺陷回波只有一个高点，采用 -6 dB 法；若缺陷回波有多个高点，采用端点 -6 dB 法。

7.3.2 未熔合、微粒污染

7.3.2.1 未熔合、微粒污染为面积型缺陷，以其外接矩形的边长表示。如图 6，X 为周向边长，Y 为径向边长。

7.3.2.2 当存在两个及两个以上缺陷时，应考虑缺陷的相互影响。当相邻缺陷间距小于等于较短缺陷尺寸时，应作为一个缺陷处理，间距也应计入缺陷长度。



- 注 1：e——管材壁厚；
注 2：X——缺陷外接矩形的周向边长；
注 3：Y——缺陷外接矩形的轴向边长。

图 6 面积型缺陷的表征

7.3.3 合面夹杂、孔洞

熔合面夹杂、孔洞为体积型缺陷，周向和径向尺寸表征同 7.3.2。

8 缺陷评定

8.1 缺陷质量等级划分

根据接头中存在的缺陷类别、数量和大小，质量等级可划分为 I、II、III 级。

8.2 熔合面夹杂、未熔合和微粒污染评级

按表 2 的规定进行分级评定。

表 2 熔合面夹杂、未熔合和微粒污染缺陷的质量分级

级别	与内外壁贯通的	与内外壁未贯通的
I	—	$Y \leq e/6$
II	$Y \leq e/6$	$Y \leq e/3$
III	大于 II 级者	
注：e为管材壁厚。		

8.3 孔洞评级

按表3的规定进行分级评定。

表 3 孔洞缺陷的质量分级

级别	孔洞尺寸
I	$Y/e \leq 15\%$
II	$Y/e \leq 30\%$
III	大于 II 级者
注：e为热熔接头管材壁厚。	

8.4 综合评级

熔接接头中同时出现多种类型的缺陷时，以质量最差的级别作为熔接接头的质量级别。

8.5 质量接受标准

可为 I 级或 II 级，由合同双方商定或参照有关规范执行。

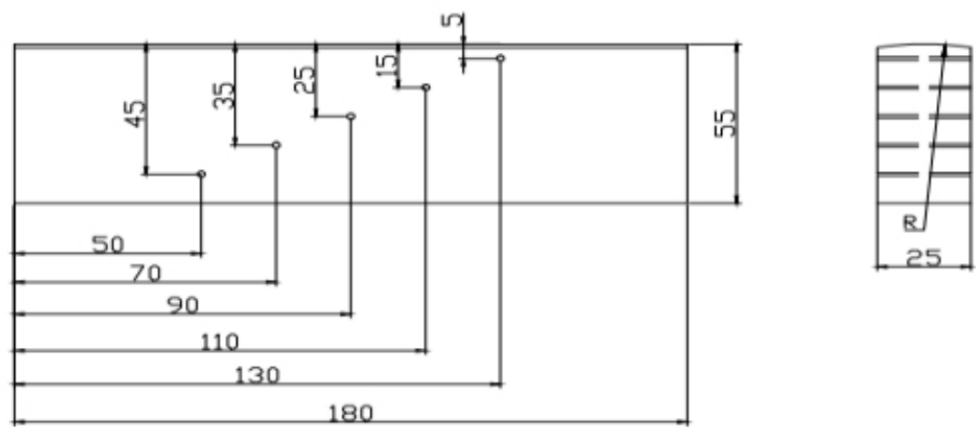
9 检测报告

检测报告至少应包括以下内容：

- a) 委托单位和报告编号；
- b) 检测标准、验收等级；
- c) 接头名称、编号、材质、规格；
- d) 检测设备：仪器名称、型号、编号，探头、扫查装置、试块、耦合剂；
- e) 检测结果、评级；
- f) 缺陷显示图；
- g) 检测人员及其资格、审核人员及其资格、报告日期。

附录 A
(规范性)
对比试块 PE-A

A.1 对比试块PE-A用于检测系统的声束延时校准、TCG/ACG修正。试块应由与被检工件同材质的或声学性能相同或近似的材料制成，材料内不得有大于或等于 $\phi 1\text{ mm}$ 平底孔当量的缺陷。试块形状和尺寸见图 A.1，试块的表面粗糙度应与被检工件相接近，人工反射体为预埋 $\phi 1\text{ mm}$ 金属丝。



A.1 对比试块 PE-A

A.2 试块圆弧和适用范围见表 A.1。

表A.1 试块圆弧和适用范围

单位：mm

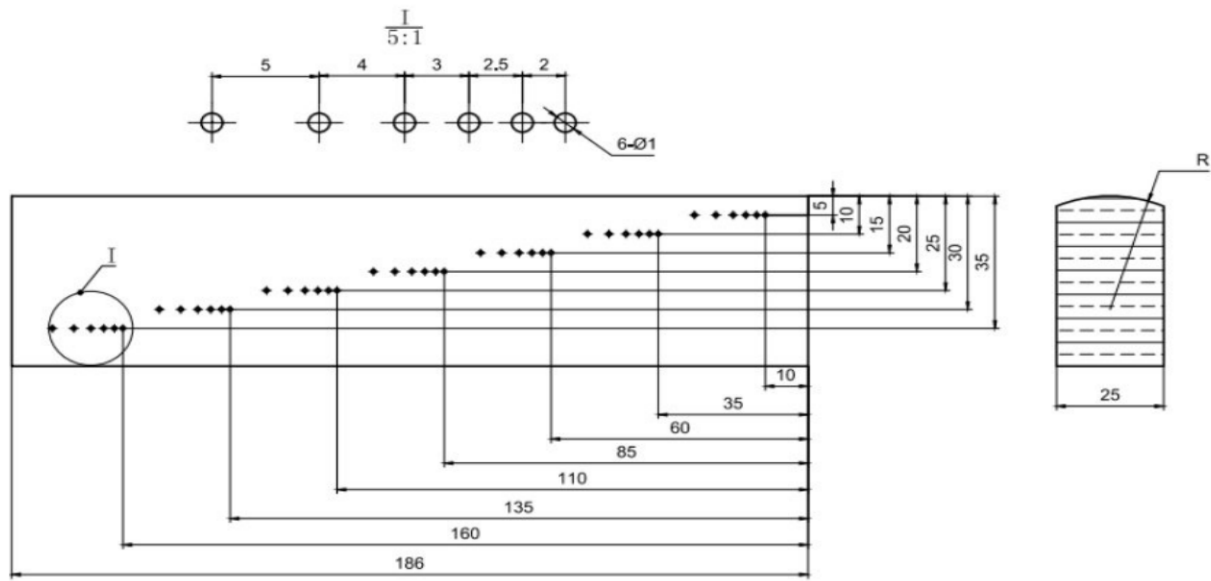
试块型号	试块圆弧R	适用接头范围（公称直径）
PE-A-1	30	$\geq 75 \sim 110$
PE-A-2	60	$\geq 110 \sim 200$
PE-A-3	平面	≥ 200

A.2 对比试块加工应符合下列要求：

- a) 预埋金属丝平行于底面。
- b) 试块长度、高度、宽度、金属丝位置符合图 A.1，尺寸精度为 $\pm IT12$ 。
- c) 金属丝的直径： $\phi 1\text{ mm} \pm 0.05\text{ mm}$ 。

附 录 B
(规范性)
对比试块 PE-B

B.1 对比试块PE-B用于分辨力测试。试块应由与被检工件同材质的或声学性能相同或近似的材料制成，材料内不得有 $\geq \phi 1\text{ mm}$ 平底孔当量的缺陷。试块的形状和尺寸见图B.1，试块的表面粗糙度应与被检工件相接近，人工反射体为预埋 $\phi 1\text{ mm}$ 金属丝。



图B.1 对比试块PE-B

B.2 试块圆弧和适用范围见表B.1。

表 B.1 试块圆弧和适用范围

单位:mm

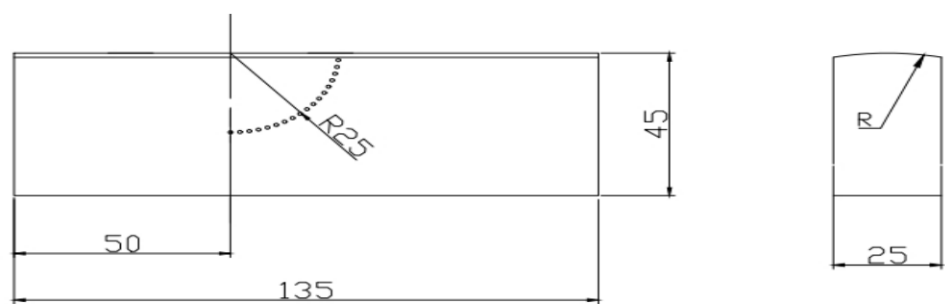
试块型号	试块半径R	适用接头范围（公称直径）
PE-B-1	30	$\geq 75 \sim 110$
PE-B-2	60	$\geq 110 \sim 200$
PE-B-3	平面	≥ 200

B.3 对比试块加工应符合下列要求：

- a) 预埋金属丝平行于底面。
- b) 试块长度、高度、宽度、金属丝位置符合图 B.1，尺寸精度为 $\pm IT12$ 。
- c) 金属丝的直径： $\phi 1\text{ mm} \pm 0.05\text{ mm}$ 。

附录 C
(规范性)
对比试块 PE-C

C.1 对比试块PE-C用于声束角度范围测试。试块应由与被检工件同材质的或声学性能相同或近似的材料制成，材料内不得有大于或等于 $\phi 1\text{ mm}$ 平底孔当量的缺陷。试块的形状和尺寸见图A. 1，试块表面粗糙度应与被检工件相接近，人工反射体为预埋 $\phi 1\text{ mm}$ 金属丝。



图C.1 对比试块PE-C

C.2 试块圆弧和适用范围见表C. 1。

表C.1 试块圆弧和适用范围

单位:mm

试块型号	试块圆弧R	适用接头范围（公称直径）
PE-C-1	40	$\geq 75 \sim 110$
PE-C-2	80	$\geq 110 \sim 200$
PE-C-3	平面	≥ 200

C.3 对比试块加工应符合下列要求：

- a) 预埋金属丝平行于测试底面。
- b) 试块长度、高度、宽度、金属丝位置符合图样 C.1，尺寸精度为 $\pm IT12$ 。
- c) 金属丝的直径： $\phi 1\text{ mm} \pm 0.05\text{ mm}$ 。

附 录 D
(资料性)
热熔接头含缺陷模拟试块制作

D.1 熔合面夹杂

- D.1.1 取两段同规格的管材，将其固定在热熔焊接机架上。
- D.1.2 用铣刀铣削两个熔合端面直到获得连续完整的铣削带。
- D.1.3 在夹具和管材上做好标记，以确保取出管材后仍能将其放回原位。
- D.1.4 取出机架上一段管材，将铣削面朝上放置。
- D.1.5 在铣削面上选8个中间位置，用针尖做好标记（标记点清晰且无明显压痕）。
- D.1.6 用镊子将25 μm 厚的铝箔片置于8个标记点上。
- D.1.7 用烙铁将铝箔片热固定在标记点处（为防止铝箔片变形，力度不应过大，见图D.1）。

注：为了使铝箔片在焊接过程中保留在接头中，固定时应尽量在管壁中心处。由于在焊接过程中熔体流动的影响，实际径向位置可能发生变化。



图 D.1 铝箔片的放置

- D.1.8 将管材装回夹具，且使夹具与管材标记重合，随后进行正常焊接操作。

D.2 微粒污染

- D.2.1 取两段同规格的管材，将其固定在热熔焊接机架上。
- D.2.2 用铣刀铣削两个熔合端面直到获得连续完整的铣削带。
- D.2.3 在夹具和管材上做好标记，以确保取出管材后仍能将其放回原位。
- D.2.4 取出机架上一段管材，将铣削面朝上放置。
- D.2.5 用软毛刷刷取少量滑石粉（颗粒 $<25\mu\text{m}$ ）均匀涂抹在铣削面上（见图D.2）。



图 D.2 微粒污染（滑石粉）施加

- D.2.6 将管材放回夹具中，并确保标记点重合；
- D.2.7 按照正常焊接方法进行焊接

附 录 E
(资料性)
热熔接头相控阵检测特征图谱

E.1 正常焊接

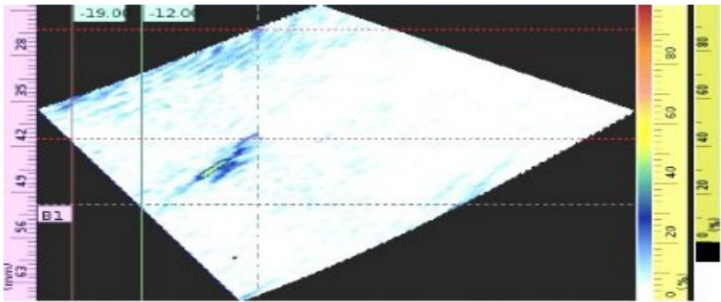


图 E.1 正常热熔接头相控阵超声检测图谱

正常焊接的热熔接头超声图像中，除接头熔合区内卷边信号外，无明显的缺陷显示。

E.2 未熔合

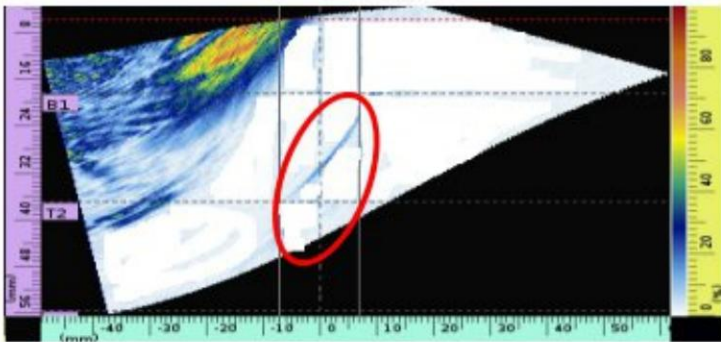


图 E.2 含未熔合的热熔接头相控阵超声检测图谱

未熔合属于面积型缺陷，在相控阵超声图像中，缺陷显示在熔合面位置，缺陷显示较弱。

E.3 熔合面夹杂

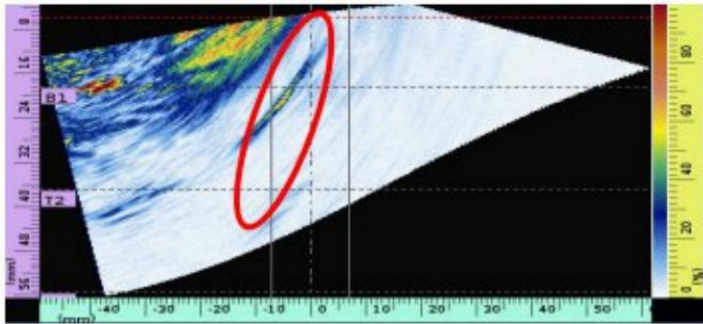


图 E.3 含夹杂的热熔接头相控阵超声检测图谱

熔合面夹杂属于体积型缺陷，在相控阵超声图像中，缺陷显示在熔合面位置，缺陷显示亮度与夹杂物有关，夹杂为金属时，显示较亮，为非金属时，显示较暗。

E. 4 孔洞

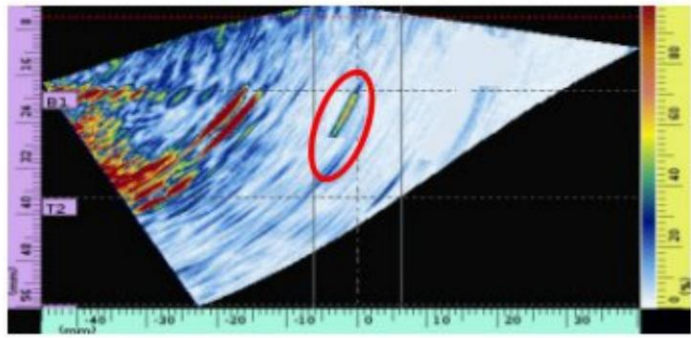


图 E. 4 含孔洞的热熔接头相控阵超声检测图谱

孔洞属体积型缺陷，在相控阵超声图像中，缺陷显示在熔合面位置，显示较为清晰。

E. 5 微粒污染

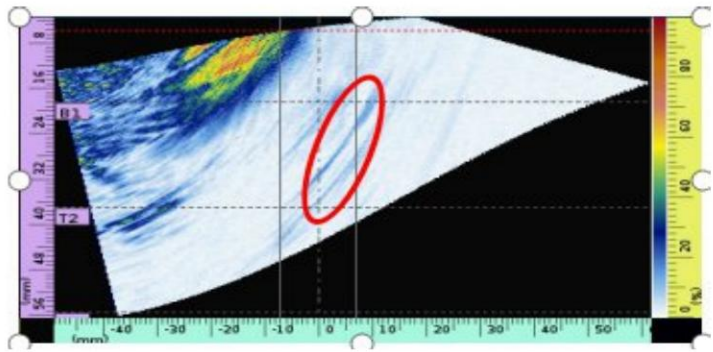


图 E. 5 含微粒污染的热熔接头相控阵超声检测图谱

微粒污染由许多微小密集型夹杂引起，在相控阵超声图像中，缺陷显示在熔合面位置，显示较为模糊。