

ICS 77.040.20  
H 26

**NB**

# 中华人民共和国能源行业标准

NB/T 47013.10—2015  
代替NB/T 47013.10—2010

---

## 承压设备无损检测 第 10 部分：衍射时差法超声检测

Nondestructive testing of pressure equipments—  
Part 10: Ultrasonic time of flight diffraction technique

2015-04-02 发布

2015-09-01 实施

国家能源局 发布



## 目 次

前言 .....	358
1 范围 .....	361
2 规范性引用文件 .....	361
3 术语和定义 .....	362
4 一般要求 .....	365
5 检测工艺参数的选择和设置 .....	373
6 检测 .....	376
7 检测数据的分析和解释 .....	378
8 缺陷评定与质量分级 .....	380
9 检测记录和报告 .....	382
附录 A (资料性附录) 不等厚工件的检测 .....	383
附录 B (规范性附录) TOFD 检测仪器和探头性能指标要求 .....	386
附录 C (资料性附录) 仪器和探头组合的-12dB 声束扩散角测量方法 .....	388
附录 D (规范性附录) 其他结构形式的对比试块 .....	389
附录 E (资料性附录) 典型 TOFD 图像 .....	392

## 前 言

本标准 NB/T 47013《承压设备无损检测》分为以下 13 个部分：

- 第 1 部分：通用要求；
- 第 2 部分：射线检测；
- 第 3 部分：超声检测；
- 第 4 部分：磁粉检测；
- 第 5 部分：渗透检测；
- 第 6 部分：涡流检测；
- 第 7 部分：目视检测；
- 第 8 部分：泄漏检测；
- 第 9 部分：声发射检测；
- 第 10 部分：衍射时差法超声检测；
- 第 11 部分：X 射线数字成像检测；
- 第 12 部分：漏磁检测；
- 第 13 部分：脉冲涡流检测。

本部分为 NB/T 47013 的第 10 部分：衍射时差法超声检测。

本部分按 GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第 1 部分：标准的结构和编写》给出的规则起草。

本部分代替 NB/T 47013.10—2010《承压设备无损检测 第 10 部分：衍射时差法超声检测》，与 NB/T 47013.10—2010 相比，主要技术变化如下：

- 修改了“范围”相关内容；
- 修改了规范性引用文件；
- 增加了术语和定义；
- 调整了部分章节的顺序；
- 规定了检测仪器及探头测试标准、测试要求及测试参数；
- 减少了对比试块数量，同时保留原标准中规定的对比试块要求；
- 增加了扫查面盲区高度测定试块和声束扩散角测定试块；
- 调整了模拟试块的用途和使用要求；
- 增加了检测设备和器材的校准、核查、运行核查和检查的要求；
- 增加了 TOFD 检测技术等级规定，并对扫查面盲区、底面盲区及横向缺陷检测方法提供了选择建议；
- 增加了安全要求；
- 修改了检测区域的规定；
- 调整了“扫查方式的选择”中部分内容；
- 增加了盲区高度的确定方法；



- 增加了“检测系统总体设置的确认”的要求；
- 修改了质量分级中部分内容；
- 增加了检测记录的要求；
- 增加了资料性附录 A “不等厚工件的检测”；
- 增加了资料性附录 C “仪器和探头组合的-12dB 声束扩散角测量方法”；
- 增加了资料性附录 E “典型 TOFD 图像”。

本部分由全国锅炉压力容器标准化技术委员会（SAC/TC 262）提出并归口。

本部分起草单位：中国特种设备检测研究院、合肥通用机械研究院、上海森松压力容器有限公司、江苏省特种设备安全监督检验研究院、中国第一重型机械集团大连加氢反应器制造有限公司、国电科学技术研究院、辽宁省葫芦岛市特种设备监督检验所。

本部分主要起草人：郑晖、阎长周、江雁山、强天鹏、周凤革、杨齐、王笑梅、胡先龙、田国良。

本部分所代替标准的历次版本发布情况为：

- NB/T 47013.10—2010。



## 承压设备无损检测

### 第 10 部分：衍射时差法超声检测

#### 1 范围

1.1 NB/T 47013 的本部分规定了承压设备采用衍射时差法超声检测（以下简称“TOFD”）的方法和质量分级要求。

1.2 本部分适用于同时具备下列条件的焊接接头：

- a) 材料为低碳钢或低合金钢；
- b) 全焊透结构型式的对接接头；
- c) 工件公称厚度  $t$ ：12mm $\leq t\leq$ 400mm（不包括焊缝余高，焊缝两侧母材公称厚度不同时，取薄侧公称厚度值）。

1.3 对于基材（材质为低碳钢或低合金钢）公称厚度大于或等于 12mm 的承压设备用不锈钢-钢复合板、钛-钢复合板、铝-钢复合板和镍-钢复合板，从基材侧进行的对基材对接接头的 TOFD 检测可参照本部分使用；若从覆材侧对基材对接接头进行 TOFD 检测，也可参照本部分使用，但应先对超声波声束可能通过的区域用直探头按 NB/T 47013.3 的规定进行检测，不得有大于或等于  $\phi$ 2mm 平底孔当量直径的未结合。

1.4 对于基材（材质为低碳钢或低合金钢）公称厚度大于或等于 12mm 的承压设备用奥氏体不锈钢、镍合金等堆焊层承压设备，从基材侧进行的对基材对接接头的 TOFD 检测可参照本部分使用。

1.5 对于与承压设备有关的支撑件和结构件，可参照本部分使用；对于其他细晶各向同性和低声衰减金属材料，也可参照本部分使用，但应考虑声特性的变化；对于插入式接管角接头，满足本部分所要求的检测条件时，可参照使用。

1.6 当焊接接头两侧母材公称厚度不相等时，可参照附录 A 进行检测。

#### 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 12604.1	无损检测 术语 超声检测
GB/T 27664.1	无损检测 超声检测设备的性能与检验 第 1 部分：仪器
GB/T 27664.2	无损检测 超声检测设备的性能与检验 第 2 部分：探头
NB/T 47013.1	承压设备无损检测 第 1 部分：通用要求
NB/T 47013.2	承压设备无损检测 第 2 部分：射线检测
NB/T 47013.3	承压设备无损检测 第 3 部分：超声检测
NB/T 47013.4	承压设备无损检测 第 4 部分：磁粉检测
NB/T 47013.5	承压设备无损检测 第 5 部分：渗透检测
NB/T 47013.6	承压设备无损检测 第 6 部分：涡流检测
JB/T 8428	无损检测 超声试块通用规范

JB/T 9214 无损检测 A 型脉冲反射式超声检测系统工作性能测试方法  
JB/T 10062 超声探伤用探头 性能测试方法

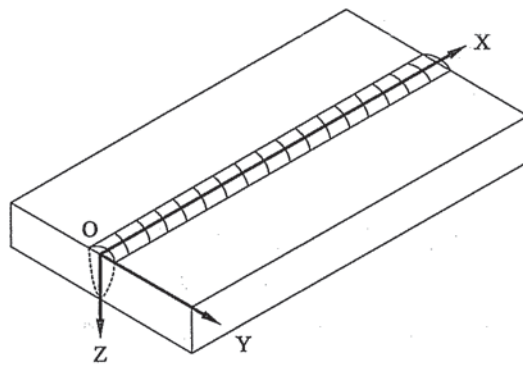
### 3 术语和定义

GB/T 12604.1、NB/T 47013.1 界定的以及下列术语和定义适用于本部分。

#### 3.1

##### 坐标定义 **coordinate definition**

规定检测起始参考点 O 点以及 X、Y 和 Z 坐标的含义，见图 1。



说明：

- O——设定的检测起始参考点；
- Y——沿焊缝宽度方向的坐标；
- X——沿焊缝长度方向的坐标；
- Z——沿焊缝厚度方向的坐标。

图 1 坐标定义

#### 3.2

##### TOFD **time of flight diffraction**

衍射时差法超声检测，是采用一发一收探头对工作模式、主要利用缺陷端点的衍射波信号探测和测定缺陷位置及尺寸的一种超声检测方法。

#### 3.3

##### 扫查面 **scanning surface**

放置探头并进行扫查的工件表面。

#### 3.4

##### 底面 **back wall**

与扫查面相对的工件另一侧表面。

#### 3.5

##### 直通波 **lateral wave**

从发射探头沿工件以最短路径到达接收探头的超声波。

## 3.6

**底面反射波 back wall echo**

从发射探头经底面反射到接收探头的超声波。

## 3.7

**探头中心间距 probe centre separation (PCS)**

发射探头和接收探头入射点之间的直线距离。

## 3.8

**非平行扫查 non-parallel scan**

探头运动方向与声束方向垂直的扫查方式，一般指探头对称布置于焊缝中心线两侧沿焊缝长度方向（X轴）运动的扫查方式，见图2。

## 3.9

**偏置非平行扫查 offset-scan**

探头对称中心与焊缝中心线保持一定偏移距离的非平行扫查方式，见图3。

## 3.10

**平行扫查 parallel scan**

探头运动方向与声束方向平行的扫查方式，一般指探头沿Y轴运动的扫查方式，见图4。

## 3.11

**斜向扫查 oblique scan**

探头沿X轴方向运动，且探头对连线与焊缝中心线成 $30^\circ \sim 60^\circ$ 夹角的扫查方式，见图5。

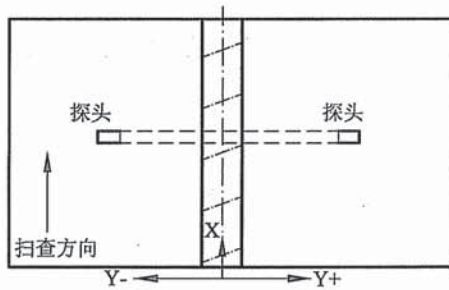


图2 非平行扫查

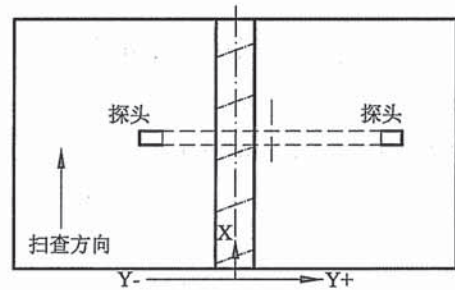


图3 偏置非平行扫查

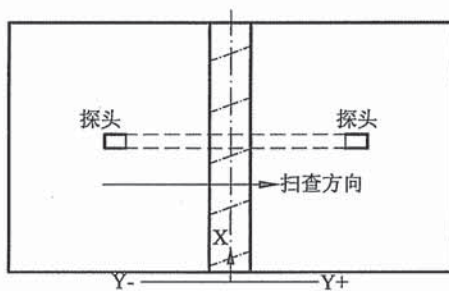


图4 平行扫查

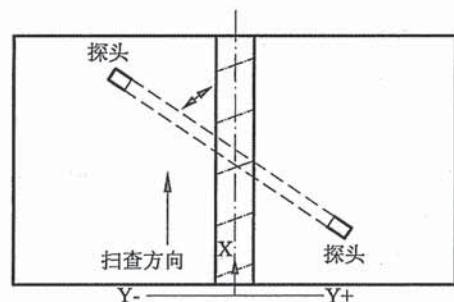


图5 斜向扫查



3.12

**底面盲区 back wall dead zone**

非平行扫查或偏置非平行扫查时，因轴偏离引起的底部无法检测的区域，一般以检测区域内无法检出的底面缺陷高度最大值表征。

3.13

**初始底面盲区高度 original height of back wall dead zone**

以非平行扫查时检测区域边界处的底面盲区高度值表征，见图 6 中  $h_4$ 。

3.14

**扫查面盲区 scanning surface dead zone**

由于直通波有一定的宽度以及工件外形结构而导致的扫查面无法检测的区域，一般以检测区域内无法检出的扫查面缺陷高度最大值表征。

3.15

**初始扫查面盲区高度 original height of scanning surface dead zone**

以非平行扫查时 TOFD 探头对中心线处的扫查面盲区高度值表征，见图 7 中  $h_5$ （假定直通波宽度为 2 周）。

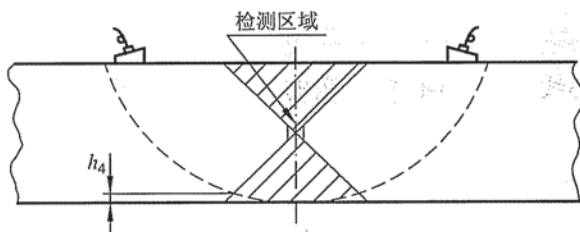


图 6 初始底面盲区高度

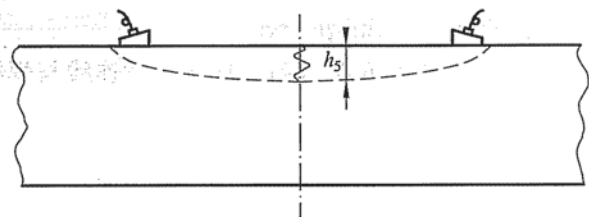


图 7 初始扫查面盲区高度

3.16

**A 扫描信号 A-scan signal**

超声波信号的波形显示，水平轴表示超声波的传播时间，垂直轴表示波幅。

3.17

**TOFD 图像 TOFD image**

TOFD 数据的二维显示，是将扫查过程中采集的 A 扫描信号连续拼接而成；一个轴代表探头移动距离，另一个轴代表深度，一般用灰度表示 A 扫描信号的幅度。

3.18

**相关显示 relevant indications**

TOFD 图像中，由缺陷引起的显示。

3.19

**非相关显示 non-relevant indications**

TOFD 图像中，由于工件结构（例如焊缝余高或根部）或者材料冶金成分的偏差（例如铁素体基材和奥氏体覆盖层的界面）引起的显示为非相关显示。

## 3.20

缺陷深度 **flaw depth**

缺陷上端点与扫查面间的最短距离，见图 8 中  $d_1$ 。

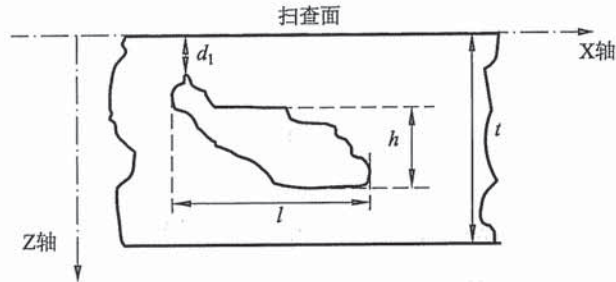


图 8 缺陷长度  $l$ 、缺陷深度  $d_1$  和缺陷自身高度  $h$

## 3.21

缺陷长度 **flaw length**

缺陷在 X 轴投影间的距离，见图 8 中  $l$ 。

## 3.22

缺陷自身高度 **flaw height**

沿 X 轴方向的某位置，缺陷在 Z 轴投影间的距离最大值，见图 8 中  $h$ 。

## 4 一般要求

## 4.1 检测人员

4.1.1 从事 TOFD 检测的人员应当符合 NB/T 47013.1 的要求。

4.1.2 TOFD 检测人员应熟悉所使用的 TOFD 检测设备器材。

4.1.3 TOFD 检测人员应具有实际检测经验并掌握一定的承压设备结构及制造基础知识。

## 4.2 检测设备和器材

## 4.2.1 检测设备

4.2.1.1 检测设备包括仪器、探头、扫查装置和附件，附件是实现设备检测功能所需的其他物件；器材包括试块和耦合剂等。

4.2.1.2 仪器和探头应符合其相应的产品标准规定，具有产品质量合格证明文件。仪器合格证明文件中至少应给出预热时间、低电压报警或低电压自动关机电压、发射脉冲重复频率、有效输出阻抗、发射脉冲电压、发射脉冲宽度（采用方波脉冲作为发射脉冲的）以及接收电路频带等主要性能参数；探头产品质量合格证中至少应给出中心频率、电阻抗或静电容、相对脉冲回波灵敏度和频带相对宽度等主要性能参数。

## 4.2.1.3 检测仪器、探头及其组合性能的要求

## 4.2.1.3.1 检测仪器

4.2.1.3.1.1 仪器至少应具有超声波发射、接收、放大、数据自动采集、记录、显示和分析功能，其电气性能和功能应满足附录 B 的要求并提供证明文件，电气性能测试方法参照 GB/T 27664.1 的规定。

4.2.1.3.1.2 按超声波发射和接收的通道数，检测仪器可分为单通道和多通道仪器。



#### 4.2.1.3.2 探头

4.2.1.3.2.1 通常采用两个分离的宽带窄脉冲纵波斜入射探头，一发一收相对放置组成探头对，固定于扫查装置；探头的性能指标应满足附录 B 的要求并提供证明文件，测试方法参照 GB/T 27664.2 的规定。

4.2.1.3.2.2 在能证明具有所需的检测和测量能力情况下，也可使用其他型式的探头，如相控阵探头、横波探头或电磁超声探头等。

#### 4.2.1.3.3 检测仪器和探头的组合性能

4.2.1.3.3.1 检测仪器和探头的组合性能包括水平线性、垂直线性、灵敏度余量、组合频率、-12dB 声束扩散角和信噪比。

4.2.1.3.3.2 发生以下情况时应测定仪器和探头的组合性能：

- a) 新购置的 TOFD 仪器和（或）探头；
- b) TOFD 仪器和探头在维修或更换主要部件后；
- c) 检测人员有怀疑时。

4.2.1.3.3.3 水平线性不大于 1%，垂直线性不大于 5%。

4.2.1.3.3.4 灵敏度余量应不小于 42dB。

4.2.1.3.3.5 仪器和探头的组合频率与探头标称频率之间偏差不得大于±10%。

4.2.1.3.3.6 采用本部分规定的对比试块时，在合适的检测设置下能使检测区域范围内的反射体衍射信号幅度达到满屏的 50%，并有 8dB 以上的信噪比。

4.2.1.3.3.7 水平线性、垂直线性和灵敏度余量的测试方法按 JB/T 9214 的规定，组合频率的测试方法参照 JB/T 10062 的规定，仪器和探头组合的-12dB 声束扩散角测定方法见附录 C。

#### 4.2.1.4 扫查装置

4.2.1.4.1 扫查装置一般包括探头夹持部分、驱动部分和导向部分，并安装位置传感器。

4.2.1.4.2 探头夹持部分应能调整和设置探头中心间距，在扫查时保持探头相对位置不变。

4.2.1.4.3 导向部分应能在扫查时使探头运动轨迹与拟扫查线保持一致。

4.2.1.4.4 驱动部分可以采用马达或人工驱动。

4.2.1.4.5 位置传感器的分辨率和精度应符合本部分的工艺要求。

#### 4.2.2 耦合剂

4.2.2.1 应采用有效且适用于被检工件的介质作为耦合剂。

4.2.2.2 选用的耦合剂应在工艺规程规定的温度范围内保证稳定可靠。

#### 4.2.3 试块

##### 4.2.3.1 标准试块

标准试块是指用于仪器探头系统性能校准的试块，本部分采用的标准试块为 CSK-IA 和 DB-P Z20-2，其应满足 NB/T 47013.3 中的相应要求。

##### 4.2.3.2 对比试块

4.2.3.2.1 对比试块是指用于检测校准的试块。

4.2.3.2.2 对比试块可采用无焊缝的板材、管材或锻件，也可采用焊接件；其声学性能应与工件相同或相似，外形尺寸应能代表工件的特征和满足扫查装置的扫查要求；对比试块中的反射体采用机加工方式；按本部分图样制作加工的对比试块应满足规定的尺寸精度要求并提供相应的证明文件。

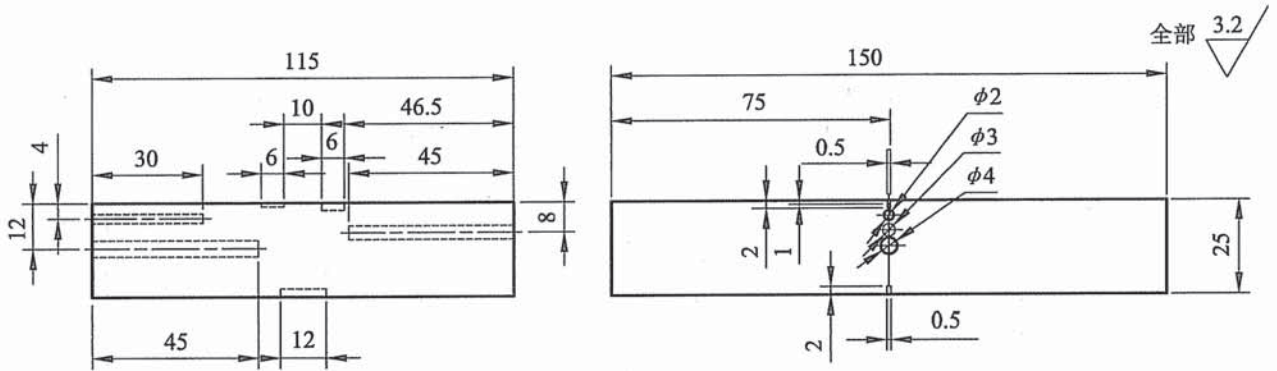
4.2.3.2.3 对比试块材料中超声波声束可能通过的区域用直探头检测时，不得有大于或等于  $\phi$

2mm 平底孔当量直径的缺陷。

4.2.3.2.4 检测曲面工件的纵缝时,若工件曲率半径大于或等于 150mm 时,可采用平面对比试块;当检测面曲率半径小于 150mm 时,应采用曲率半径为工件 0.9 倍~1.5 倍的曲面对比试块,曲面对比试块中的反射体形状、尺寸和数量与同厚度的平面对比试块一致。

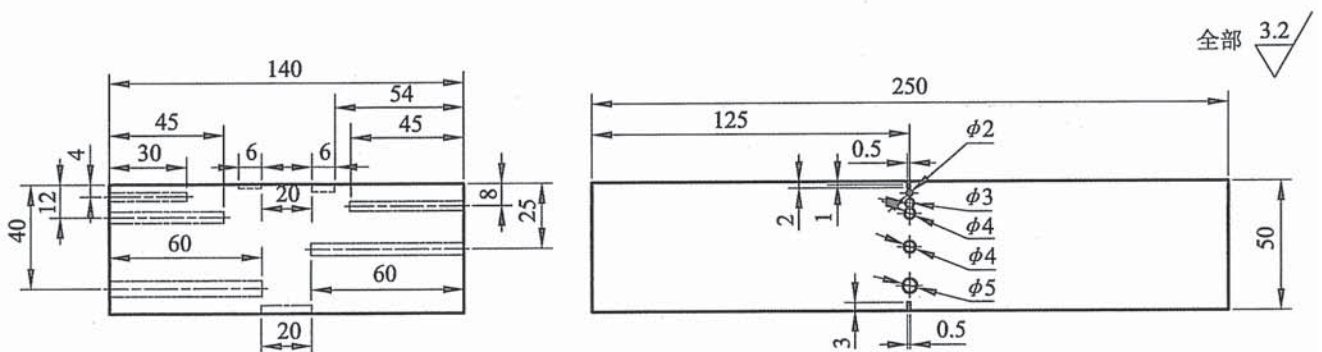
4.2.3.2.5 本部分采用的平面对比试块如下:

- a) TOFD-A 对比试块: 适用于厚度为  $12\text{mm} \leq t \leq 25\text{mm}$  工件检测, 见图 9;
- b) TOFD-B 对比试块: 适用于厚度为  $12\text{mm} \leq t \leq 50\text{mm}$  工件检测, 见图 10;
- c) TOFD-C 对比试块: 适用于厚度为  $12\text{mm} \leq t \leq 100\text{mm}$  工件检测, 见图 11;
- d) TOFD-D 对比试块: 适用于厚度为  $12\text{mm} \leq t \leq 200\text{mm}$  工件检测, 见图 12;
- e) TOFD-E 对比试块: 适用于厚度为  $12\text{mm} \leq t \leq 400\text{mm}$  工件检测, 见图 13。



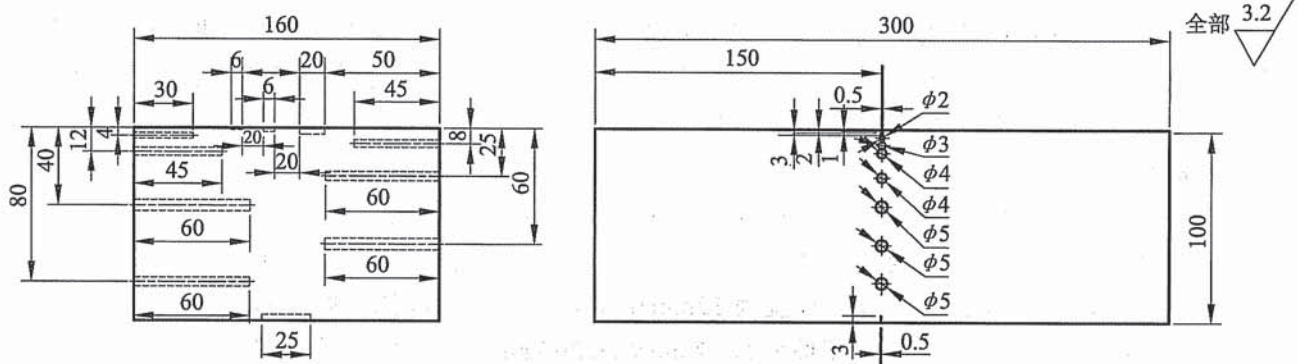
注: 孔径误差不大于 $\pm 0.02\text{mm}$ , 开孔垂直度偏差不大于 $\pm 0.1^\circ$ , 其他尺寸误差不大于 $\pm 0.05\text{mm}$ 。

图 9 TOFD-A 对比试块



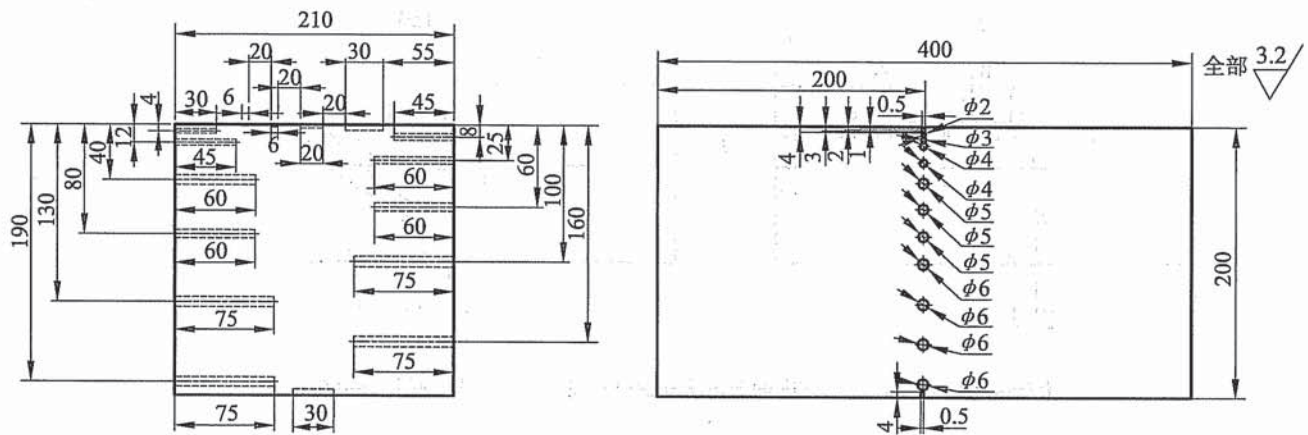
注: 孔径误差不大于 $\pm 0.02\text{mm}$ , 开孔垂直度偏差不大于 $\pm 0.1^\circ$ , 其他尺寸误差不大于 $\pm 0.05\text{mm}$ 。

图 10 TOFD-B 对比试块



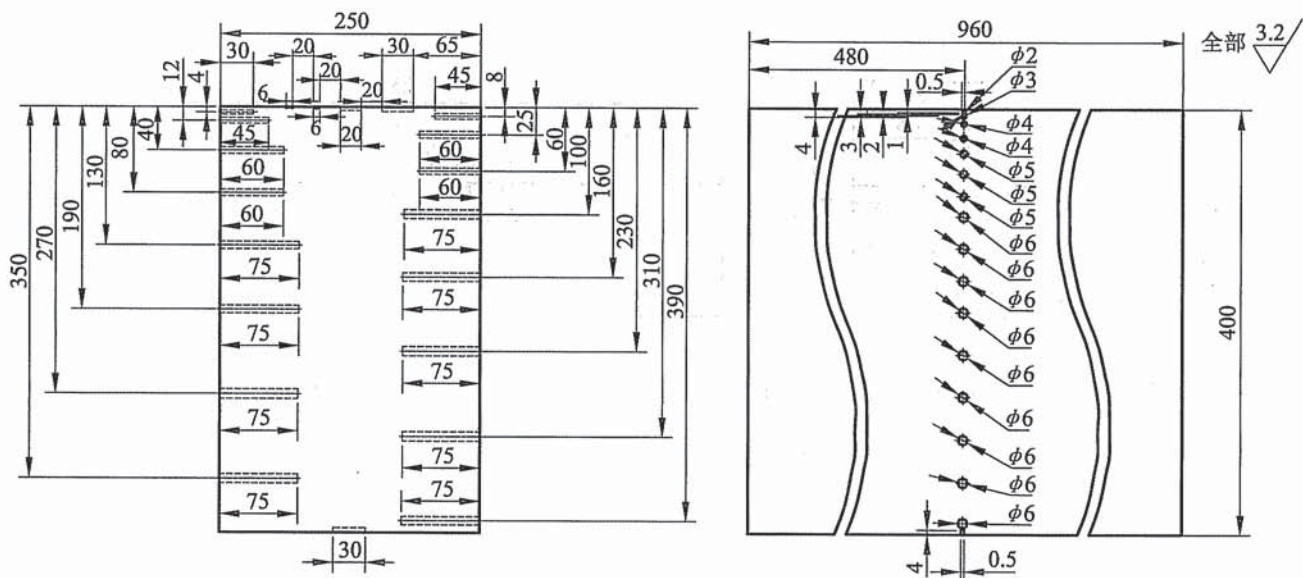
注：孔径误差不大于±0.02mm，开孔垂直度偏差不大于±0.1°，其他尺寸误差不大于±0.05mm。

图 11 TOFD-C 对比试块



注：孔径误差不大于±0.02mm，开孔垂直度偏差不大于±0.1°，其他尺寸误差不大于±0.05mm。

图 12 TOFD-D 对比试块



注：孔径误差不大于±0.02mm，开孔垂直度偏差不大于±0.1°，其他尺寸误差不大于±0.05mm。

图 13 TOFD-E 对比试块



4.2.3.2.6 平面对比试块也可采用其他结构形式，应满足以下要求：

- a) 满足 4.2.3.2.2~4.2.3.2.3 要求；
- b) 对比试块厚度应为工件厚度的 0.9 倍~1.3 倍且两者间最大差值不大于 25mm；
- c) 对比试块中反射体的形状、尺寸和数量满足附录 D 的规定。

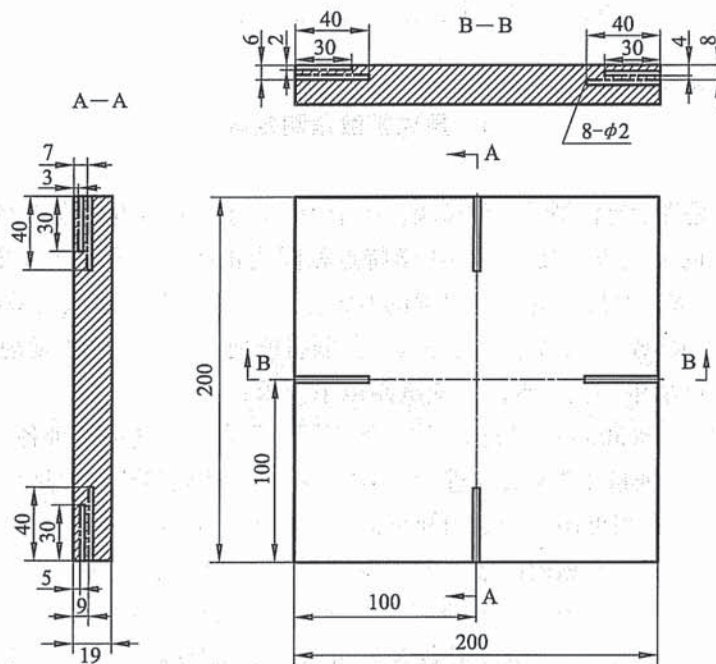
4.2.3.2.7 检测特殊结构的工件时，如削边处理的不等厚工件对接接头，建议采用专用对比试块，专用对比试块按照以下要求：

- a) 满足 4.2.3.2.2~4.2.3.2.3 要求；
- b) 专用对比试块厚度、外形应与工件基本一致；
- c) 专用对比试块中反射体的形状、尺寸和数量参照附录 D 的规定；
- d) 根据检测需要在难以检测的部位增加反射体。

4.2.3.2.8 扫查面盲区高度测定试块

4.2.3.2.8.1 扫查面盲区高度测定试块用于测定初始扫查面盲区高度。

4.2.3.2.8.2 扫查面盲区高度测定试块见图 14。



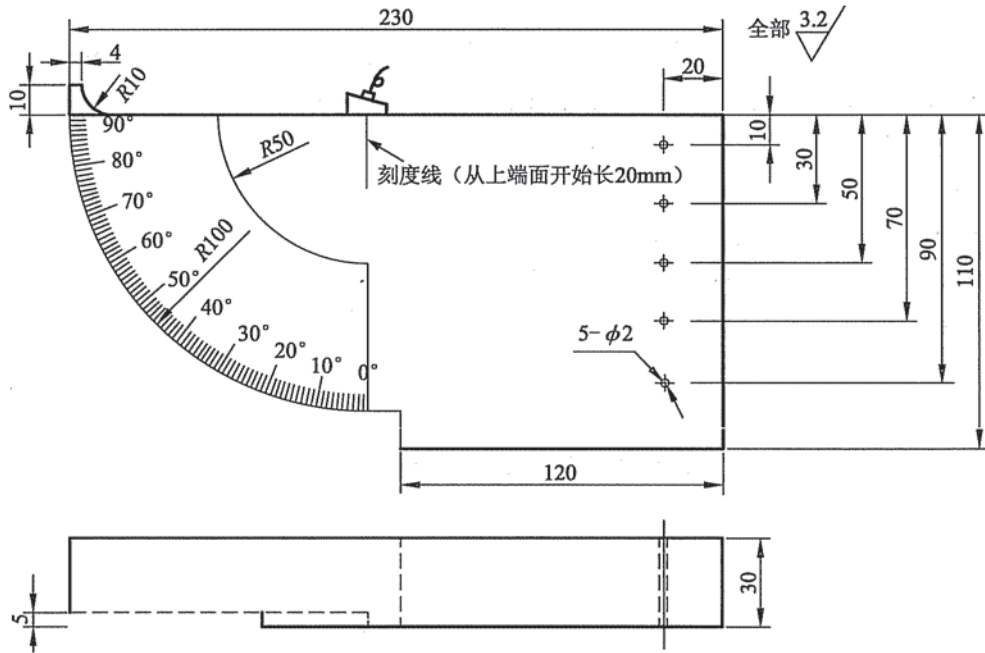
注：孔径误差不大于 $\pm 0.02\text{mm}$ ，开孔垂直度偏差不大于 $\pm 0.1^\circ$ ，其他尺寸误差不大于 $\pm 0.05\text{mm}$ 。

图 14 扫查面盲区高度测定试块

4.2.3.2.9 声束扩散角测定试块

4.2.3.2.9.1 声束扩散角测定试块用于测定检测仪器和探头组合的实际-12dB 声束扩散角。

4.2.3.2.9.2 声束扩散角测定试块见图 15。



注：尺寸偏差不大于±0.05mm，角度偏差不大于±0.5°。

图 15 声束扩散角测定试块

4.2.3.3 模拟试块

4.2.3.3.1 模拟试块是指含有模拟缺陷的试块，用于 TOFD 检测技术等级为 C 级时的检测工艺验证。

4.2.3.3.2 模拟试块的材质应与被检工件声学特点相同或相似，外形尺寸应能代表工件的特征且满足扫查装置的扫查要求，厚度应为工件厚度的 0.9 倍 ~ 1.3 倍且两者间最大差值不大于 25mm。

4.2.3.3.3 模拟试块中的模拟缺陷应采用焊接工艺制备或使用以往检测中发现的真实缺陷。

4.2.3.3.4 对于模拟试块中的模拟缺陷，应满足以下要求：

- a) 位置要求：壁厚  $t \leq 50\text{mm}$  的模拟试块，上表面、下表面和内部至少各一处；壁厚  $t > 50\text{mm}$  的模拟试块，应保证按 5.2.3 要求进行分区检测时每个厚度分区内至少有一处埋藏缺陷；若模拟试块可倒置，则可用一个表面缺陷同时代表上、下表面。
- b) 类型要求：至少应包括纵向缺陷、横向缺陷各 1 处；体积型、面积型缺陷各 1 处。
- c) 尺寸要求：一般不大于表 7 中 II 级规定的同厚度工件的最大允许缺陷尺寸。
- d) 若一块模拟试块中未完全包含上述缺陷，可由多块同范围的模拟试块组成。

4.2.4 检测设备和器材的校准、核查、运行核查和检查的要求

4.2.4.1 校准、核查、运行核查和检查应在标准试块和对比试块上进行，测试时应使探头主声束垂直对准反射体的反射面，以获得稳定和最大的反射信号。

4.2.4.2 校准或核查

4.2.4.2.1 每年至少对检测仪器和探头组合性能中的水平线性、垂直线性、组合频率和灵敏度余量以及仪器的衰减器精度，进行一次校准并记录，测试要求应满足 4.2.1.3.3 的规定。

4.2.4.2.2 每年至少对标准试块及对比试块的表面腐蚀与机械损伤进行一次核查，按 JB/T 8428 的要求进行。

4.2.4.3 运行核查

4.2.4.3.1 每隔 6 个月至少对仪器和探头组合性能中的水平线性和垂直线性进行一次运行核查并记录，测试要求应满足 4.2.1.3.3 的规定。

4.2.4.3.2 在合适的检测设置下采用本部分规定的对比试块进行检测时，设备能够清楚的显示和测量其中的反射体，每隔 6 个月至少进行一次测定和记录。

#### 4.2.4.4 检查

4.2.4.4.1 每次检测前应测定和记录探头前沿、超声波在探头楔块中的传播时间及-12dB 声束扩散角（仪器和探头组合的-12dB 声束扩散角测定方法见附录 C）。

4.2.4.4.2 每次检测前应对位置传感器进行检查和记录，检查方式是使带位置传感器的扫查装置至少移动 500mm，将检测设备所显示的位移与实际位移进行比较，其误差应小于 1%。

### 4.3 TOFD 检测技术等级

TOFD 检测技术等级分为 A、B、C 三个级别，见表 1。

表 1 TOFD 检测技术等级

技术等级	检测面	扫查面盲区 <sup>a</sup>	底面盲区 <sup>b</sup>	横向缺陷检测	采用模拟试块验证工艺	扫查面表面检测	底面表面检测
A	单面	≤1mm	≤1mm	—	—	需要	必要时 <sup>c</sup>
B	单面	≤1mm	≤1mm	需要	—	需要	必要时 <sup>c</sup>
C	双面 <sup>d</sup>	—	≤1mm	需要	需要 <sup>e</sup>	需要	需要

注 1：对于各检测技术等级，为使底面盲区或扫查面盲区高度 ≤1mm，可选择的检测工艺或方法建议如下：  
a) 当初始扫查面盲区高度  $h_5 > 1\text{mm}$  时，宜采用脉冲反射法超声检测；  
b) 当初始底面盲区高度  $h_4 > 1\text{mm}$  时，宜采用偏置非平行扫查；  
注 2：对于检测技术等级 B 或 C 级，为检测横向缺陷，可采用 TOFD 斜向扫查，也可按照 NB/T 47013.3 中承压设备对接接头 B 级或 C 级检测技术等级的要求进行横向缺陷的超声检测。  
注 3：表面检测方法包括磁粉检测、渗透检测或涡流检测，优先采用磁粉检测。  
注 4：脉冲反射法超声检测、磁粉检测、渗透检测和涡流检测应按照 NB/T 47013.3 ~ 47013.6 规定的要求进行。

<sup>a</sup> 检测区域内的扫查面盲区，一般应在 4.2.3.2 规定的对比试块上验证。  
<sup>b</sup> 检测区域内的底面盲区。  
<sup>c</sup> 底面有可疑相关显示时。  
<sup>d</sup> 若由于结构原因，可以在无法进行双面检测的局部采用 B 级检测，但应采用模拟试块验证工艺且一般应进行底面表面检测。  
<sup>e</sup> 采用 4.2.3.3 规定的模拟试块按 4.4.4.3 要求进行。

### 4.4 检测工艺文件

4.4.1 检测工艺文件包括工艺规程和操作指导书。

4.4.2 工艺规程除满足 NB/T 47013.1 的要求外，还应规定表 2 中所列相关因素的具体范围或要求；如相关因素的变化超出规定时，应重新编制或修订工艺规程。



表2 检测工艺规程涉及的相关因素

序号	相关因素
1	产品范围（工件形状、规格、材质、壁厚等）
2	依据的标准、法规
3	检测设备和器材以及校准、核查、运行核查或检查的要求
4	检测工艺（探头配置、扫查方式、厚度分区等）
5	检测前的表面准备要求
6	盲区检测方式及工艺试验报告
7	横向缺陷检测方式及工艺试验报告
8	检测数据的分析和解释
9	缺陷评定与质量分级

4.4.3 应根据工艺规程的内容以及被检工件的检测要求编制操作指导书，其内容除满足 NB/T 47013.1 的要求外，至少还应包括：

- a) 检测技术要求：执行标准、检测技术等级、合格级别、检测时机、检测比例和检测前的表面准备要求；
- b) 检测设备器材（包括仪器、探头、扫查装置、耦合剂、试块名称和规格型号，性能检查的项目、时机和性能指标）；
- c) 检测工艺参数（包括扫查面的选择；探头参数及布置；仪器的设置如灵敏度设置、扫查步进、脉冲重复频率、信号平均等；厚度分区及各分区覆盖范围；初始表面盲区高度及其检测方法；初始底面盲区高度及其检测方法；扫查方式；扫查速度；横向缺陷的检测方法（必要时）等）；
- d) 检测标识规定；
- e) 检测操作程序和扫查次序；
- f) 检测记录和数据评定的具体要求。

4.4.4 操作指导书的工艺验证

4.4.4.1 操作指导书在首次应用前应进行工艺验证。

4.4.4.2 技术等级为 A 或 B 级时，可采用对比试块或在实际工件上进行验证。

4.4.4.3 技术等级为 C 级时，还应选取 4.2.3.3 要求的模拟试块进行验证，验证的具体方式和要求如下：

- a) 按操作指导书对相应的模拟试块进行 TOFD 检测；
- b) TOFD 图像应能够清楚的显示模拟试块中所有的模拟缺陷；
- c) 测量的模拟缺陷尺寸应尽量接近其实际尺寸。

4.5 检测程序：

- a) 根据工艺规程和检测对象的检测要求编制操作指导书；
- b) 选择和确定检测工艺参数；
- c) 被检测工件准备；
- d) 检测系统性能检查；



- e) 检测;
- f) 检测系统复核;
- g) 数据评定;
- h) 检测记录;
- i) 检测报告。

#### 4.6 温度

- 4.6.1 应确保在规定的温度范围内进行检测;采用常规探头和耦合剂时,被检工件的表面温度范围应控制在 $0^{\circ}\text{C} \sim 50^{\circ}\text{C}$ ;超出该温度范围,可采用特殊探头或耦合剂。
- 4.6.2 若温度过低或过高,一般应采取有效措施避免。若无法避免,应评价其对检测结果的影响。
- 4.6.3 检测系统设置和校准时的温度与实际检测温度之差应控制在 $20^{\circ}\text{C}$ 之内。

#### 4.7 安全要求

- 4.7.1 应满足 NB/T 47013.1 中 6.3 相关规定的要求。
- 4.7.2 应考虑可能的漏电等因素,并采取必要的保护措施。

### 5 检测工艺参数的选择和设置

#### 5.1 检测区域的确定

- 5.1.1 检测区域由其高度和宽度表征。
  - 5.1.1.1 检测区域高度为工件焊接接头的厚度。
  - 5.1.1.2 检测区域宽度为焊缝本身及焊缝熔合线两侧各 10mm。
- 5.1.2 若对于已发现缺陷部位进行复检或已确定的重点部位,检测区域可缩减至相应部位。

#### 5.2 探头选取和设置

- 5.2.1 探头选取包括探头型式、参数的选择。一般选择宽角度纵波斜探头,对于每一组探头对的两个探头,其标称频率应相同,声束角度和晶片直径宜相同。
- 5.2.2 当工件厚度  $t \leq 50\text{mm}$  时,可采用一组探头对检测,推荐将探头中心间距设置为使该探头对的声束交点位于  $2/3t$  深度处。
- 5.2.3 当工件厚度  $t > 50\text{mm}$  时,应在厚度方向分成若干不同的深度范围,采用不同参数的探头对分别进行检测;推荐将探头中心间距设置为使每一探头对的声束交点位于其所检测深度范围的  $2/3$  深度处;该探头声束在所检测深度范围内相对声束轴线处的声压幅值下降不应超过 12dB。
- 5.2.4 检测工件底面的探头声束与底面检测区域边界处法线间的夹角一般应不小于  $40^{\circ}$ 。
- 5.2.5 与平板工件或较大曲率工件厚度有关的检测分区、探头选取和设置可参考表 3。

表 3 平板对接接头的探头推荐性选择和设置

工件厚度 mm	厚度分区数	深度范围 mm	标称频率 MHz	声束角度 $\alpha$ ( $^{\circ}$ )	晶片直径 mm
$\geq 12 \sim 15$	1	$0 \sim t$	15 ~ 7	70 ~ 60	2 ~ 4
$> 15 \sim 35$	1	$0 \sim t$	10 ~ 5	70 ~ 60	2 ~ 6
$> 35 \sim 50$	1	$0 \sim t$	5 ~ 3	70 ~ 60	3 ~ 6
$> 50 \sim 100$	2	$0 \sim 2t/5$	7.5 ~ 5	70 ~ 60	3 ~ 6
		$2t/5 \sim t$	5 ~ 3	60 ~ 45	6 ~ 12
$> 100 \sim 200$	3	$0 \sim t/5$	7.5 ~ 5	70 ~ 60	3 ~ 6
		$t/5 \sim 3t/5$	5 ~ 3	60 ~ 45	6 ~ 12
		$3t/5 \sim t$	5 ~ 2	60 ~ 45	6 ~ 20
$> 200 \sim 300$	4	$0 \sim 40$	7.5 ~ 5	70 ~ 60	3 ~ 6
		$40 \sim 2t/5$	5 ~ 3	60 ~ 45	6 ~ 12
		$2t/5 \sim 3t/4$	5 ~ 2	60 ~ 45	6 ~ 20
		$3t/4 \sim t$	3 ~ 1	50 ~ 40	10 ~ 20
$> 300 \sim 400$	5	$0 \sim 40$	7.5 ~ 5	70 ~ 60	3 ~ 6
		$40 \sim 3t/10$	5 ~ 3	60 ~ 45	6 ~ 12
		$3t/10 \sim t/2$	5 ~ 2	60 ~ 45	6 ~ 20
		$t/2 \sim 3t/4$	3 ~ 1	50 ~ 40	10 ~ 20
		$3t/4 \sim t$	3 ~ 1	50 ~ 40	12 ~ 25

5.2.6 若已知缺陷的大致位置或仅检测可能产生缺陷的部位，可选择相匹配的探头型式（如聚焦探头）或探头参数（如频率、晶片直径），将探头中心间距设置为使探头对的声束交点为缺陷部位或可能产生缺陷的部位，且声束角度  $\alpha$  为  $55^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 。

### 5.3 扫查面和扫查方式的选择

5.3.1 当检测技术等级为 A 或 B 级时，一般情况下宜选择外表面作为扫查面；弧面和非平面对接接头的扫查面选择应考虑盲区高度的大小；扫查面的选择还应考虑有足够的操作实施空间；当检测技术等级为 C 级时，扫查面的选择应符合 4.3 的要求。

5.3.2 初始扫查方式一般分为非平行扫查、偏置非平行扫查和斜向扫查。

5.3.3 一般采用非平行扫查作为基本扫查方式，用于缺陷的快速探测以及缺陷长度、缺陷自身高度的测定，可大致测定缺陷深度。

5.3.4 当非平行扫查的初始底面盲区高度较大或探头声束不能有效覆盖检测区域时，可对相应检测区域增加偏置非平行扫查。

5.3.5 当需要检测焊接接头中的横向缺陷时，可采用斜向扫查。

5.3.6 在满足检测目的的前提下，根据需要的不同，也可采用其他适合的扫查方式。

5.3.7 在采用多种初始扫查方式时，应合理安排扫查次序并在操作指导书中注明。

### 5.4 确定初始扫查面盲区高度和检测方式

#### 5.4.1 初始扫查面盲区高度



5.4.1.1 初始扫查面盲区高度的确定应采用实测法。

5.4.1.2 应采用图 14 规定的扫查面盲区高度试块进行测量。将设置好的扫查装置分别对不同深度侧孔进行扫查，能发现的最小深度横孔上沿所对应的深度即为初始扫查面盲区高度。

5.4.2 扫查面盲区检测方式

5.4.2.1 可参照 4.3 选择扫查面盲区检测方式。

5.4.2.2 若选用脉冲反射法的爬波法，应在工艺中明确爬波探头的规格型号和布置方式。

5.5 确定初始底面盲区高度和检测方式

5.5.1 初始底面盲区高度按式 (1) 计算：

$$\Delta h = t \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{x^2}{s^2 + t^2}} \right) \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$t$ ——工件厚度；

$x$ ——偏离焊缝中心线的距离（此处为底面检测区域宽度的一半）；

$s$ ——探头中心间距的一半。

5.5.2 底面盲区检测方式

5.5.2.1 可参照 4.3 选择底面盲区检测方式。

5.5.2.2 若选用偏置非平行扫查方式时，应在工艺中明确偏置方向、偏置量及偏置后的底面盲区高度（可参考式 (1) 计算）。

5.6 确定横向缺陷的检测方式

5.6.1 可参照 4.3 选择横向缺陷检测方式。

5.6.2 若选用斜向扫查方式时，应在工艺中明确斜向扫查角度、探头选取和设置等，斜向扫查应与非平行扫查同步进行。

5.7 扫查步进设置

5.7.1 扫查步进是指扫查过程中相邻两个 A 扫描信号间沿工件扫查路径的空间间隔。检测前应将检测设备设置为根据扫查步进采集信号。

5.7.2 扫查步进值设置主要与工件厚度有关，按表 4 的规定进行设置。

表 4 扫查步进值的设置

单位为 mm

工件厚度 $t$	扫查步进最大值 $\Delta x_{\max}$
$12 \leq t \leq 150$	1.0
$t > 150$	2.0

5.8 信号平均化处理

5.8.1 信号平均化处理有利于降低随机噪声的影响，从而提高信噪比。

5.8.2 检测前应合理设置检测通道的信号平均化处理次数  $N$ ，一般情况下设定为 1，噪声较大时设定值不应大于 16。

5.9 设置仪器其他参数

5.9.1 根据所选择探头，设置数字化频率至少为所选择探头最高标称频率的 6 倍。

5.9.2 根据所选择探头；设置接收电路的频率响应范围至少为所选择探头标称频率的 0.5 倍~1.5 倍。

5.9.3 设置脉冲重复频率，应与数据采集速度和可能的最大扫查速度相称。

#### 5.10 A 扫描时间窗口设置和深度校准

5.10.1 检测前应对检测通道的 A 扫描时间窗口进行设置。

5.10.2 若工件厚度不大于 50mm 且采用单检测通道时，其时间窗口的起始位置应设置为直通波到达接收探头前 0.5 $\mu$ s 以上，时间窗口的终止位置应设置为工件底面的一次波型转换波后 0.5 $\mu$ s 以上；同时将直通波与底面反射波时间间隔所反映的厚度校准为已知的工件厚度值。

5.10.3 若在厚度方向分区检测时，应采用 4.2.3 规定的对比试块设置各检测通道的 A 扫描时间窗口和进行深度校准，A 扫描时间窗口至少应包含所需检测的深度范围，同时应满足如下要求：

- a) 首先根据已知的对比试块内的各侧孔实际深度校准检测设备的深度显示；
- b) 最上分区的时间窗口的起始位置应设置为直通波到达接收探头前 0.5 $\mu$ s 以上，时间窗口的终止位置应设置为所检测深度范围的最大值；
- c) 其他分区的时间窗口的起始位置应在厚度方向依次向上覆盖相邻检测分区深度范围的 25%；
- d) 最下分区的时间窗口的终止位置应设置为底面反射波到达接收探头后 0.5 $\mu$ s 以上；
- e) 可利用检测设备经对比试块校核后的深度参数输入。

#### 5.11 检测灵敏度设置

5.11.1 检测前应设置检测通道的灵敏度。

5.11.2 若被检工件厚度不大于 50mm 且采用单检测通道时，可直接在被检工件上或采用 4.2.3.2 规定的对比试块设置灵敏度。若直接在被检工件上设置灵敏度时，一般将直通波的波幅设定到满屏高的 40%~80%；若直通波不可用，可将底面反射波波幅调整为满屏高的 80%，再提高 20dB~32dB；若直通波和底面反射波均不可用，可将材料的晶粒噪声设定为满屏高的 5%~10%作为灵敏度。

5.11.3 若在厚度方向分区检测时，应采用 4.2.3.2 规定的对比试块设置各通道检测灵敏度。将各通道 A 扫描时间窗口内各反射体产生的最弱的衍射信号波幅设置为满屏高的 40%~80%作为灵敏度（最上分区也可将直通波的波幅设定到满屏高的 40%~80%）。

#### 5.12 检测系统总体设置的确认

5.12.1 各项检测工艺参数设置均完成后，若是直接在被检工件上进行的，则应在被检工件的同一部位作实际扫查，该检测数据应保存在检测记录中。

5.12.2 各项检测工艺参数设置均完成后，若是采用对比试块进行的，则应在对比试块上作实际扫查，该检测数据应保存在检测记录中。

5.12.3 若检测工艺参数不适合，应作必要的调整。

## 6 检测

### 6.1 扫查面准备

6.1.1 探头移动区应清除焊接飞溅、铁屑、油垢及其他杂质，一般应进行打磨。探头移动区表面应平整，便于探头的扫查，其表面粗糙度  $R_a$  值应不低于 12.5 $\mu$ m。

6.1.2 保留余高的焊缝，如果焊缝表面有咬边、较大的隆起和凹陷等应进行适当的修磨，并作圆滑过渡以免影响检测结果的评定；要求去除余高的焊缝，应将余高打磨到与邻近母材平齐。当扫查方式为平行扫查时，一般应要求去除余高。

6.1.3 检测前应在被检工件扫查面上予以标记，标记内容至少包括扫查起始点和扫查方向，同时推荐在母材上距焊缝中心线规定的距离处画出一条线，作为扫查装置运动的参考。



## 6.2 母材检测

6.2.1 对重要工件或检测人员有怀疑时，应对超声波声束通过的母材区域按 NB/T 47013.3 中的有关规定，采用直探头进行检测或在 TOFD 检测的过程中进行。

6.2.2 母材中影响检测结果的反射体，应予以记录。

## 6.3 耦合剂

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。

## 6.4 检测前工艺参数调节

6.4.1 若灵敏度设置直接在被检工件上进行，在实际扫查前应检查灵敏度；若灵敏度设置是采用对比试块，则在实际工件检测前应进行表面耦合补偿，表面耦合补偿量的确定可参照 NB/T 47013.3 的有关内容。

6.4.2 若 A 扫描时间窗口设置和深度校准是采用对比试块，则应在实际工件上检查深度显示，确保深度显示偏差不大于工件厚度的 3% 或 2mm（取较大值），否则应进行必要的调节。

6.4.3 对于曲面或其他非平面工件的纵向焊接接头，应对深度显示进行必要的调节。

## 6.5 扫查

6.5.1 扫查时应保证实际扫查路径与拟扫查路径的偏差不超过探头中心间距的 10%。

6.5.2 扫查时应保证扫查速度小于或等于最大扫查速度  $v_{\max}$ ，同时应保证耦合效果和满足数据采集的要求。

最大扫查速度按式（2）计算：

$$v_{\max} = \frac{PRF}{N} \Delta x \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中：

$v_{\max}$  ——最大扫查速度，mm/s；

$PRF$  ——激发探头的脉冲重复频率，Hz；

$\Delta x$  ——设置的扫查步进值，mm；

$N$  ——设置的信号平均化处理次数。

6.5.3 每次扫查长度不应超过 2 000mm；若需对焊缝在长度方向进行分段扫查，则各段扫查区的重叠范围至少为 20mm；对于环焊缝，扫查停止位置应越过起始位置至少 20mm。

6.5.4 扫查过程中应密切注意波幅状况，若发现直通波、底面反射波、材料晶粒噪声或波型转换波的波幅降低 12dB 以上或怀疑耦合不好时，应重新扫查整段区域；若发现直通波满屏或晶粒噪声波幅超过满屏高 20% 时，则应降低增益并重新扫查。

## 6.6 检测数据记录

每一次的检测数据应按照工艺文件的要求进行编号储存。

## 6.7 检测系统复核

6.7.1 在如下情况时应进行复核：

- a) 检测过程中检测设备开停机或更换部件时；
- b) 检测人员有怀疑时；
- c) 检测结束时。

6.7.2 若初始检测工艺设置时采用了对比试块，则在复核时应采用同一对比试块；若为直接在工件上进行的灵敏度设置，则应在工件上的同一部位复核。

6.7.3 若复核时发现初始设置的参数偏离（应消除按 6.4 进行调节产生的影响），按表 5 的规定执行。

表 5 偏离和纠正

灵敏度	1	$\leq 6\text{dB}$	不需要采取措施，必要时可通过软件纠正
	2	$> 6\text{dB}$	应重新设置，并重新检测上次设置以后所检测的焊缝
深度	1	$\leq 2\text{mm}$ 或板厚的 3% (取较大值)	不需要采取措施
	2	$> 2\text{mm}$ 或板厚的 3% (取较大值)	应重新设置，并重新检测上次设置以后所检测的焊缝
位移	1	$\leq 5\%$	不需要采取措施
	2	$> 5\%$	应对上次设置以后所检测的位置进行修正

## 7 检测数据的分析和解释

### 7.1 检测数据的有效性评价

7.1.1 分析数据之前应对所采集的数据进行评估以确定其有效性，检测数据至少应满足如下要求：

- a) A 扫描时间窗口设置符合 5.10 的要求；
- b) 采集的数据量满足所检测焊缝长度的要求；
- c) 每一检测数据中的 A 扫描信号丢失量不得超过总量的 5%，且相邻 A 扫描信号连续丢失长度不超过表 4 规定的扫查步进最大值的两倍；缺陷部位的 A 扫描信号丢失不得影响缺陷的评定；
- d) 信号波幅改变量及信号连续性满足 6.5.4 的规定；
- e) 直通波、底面反射波无明显非缺陷引起的突变且较为平直。

7.1.2 对于无效数据，应重新进行检测。

### 7.2 相关显示和非相关显示

#### 7.2.1 相关显示

7.2.1.1 相关显示分为表面开口型缺陷显示和埋藏型缺陷显示。

#### 7.2.1.2 表面开口型缺陷显示

7.2.1.2.1 表面开口型缺陷显示可细分为如下三类：

- a) 扫查面开口型：该类型通常显示为直通波的减弱、消失或变形，仅可观察到一个端点（缺陷下端点）产生的衍射信号，且与直通波同相位；
- b) 底面开口型：该类型通常显示为底面反射波的减弱、消失、延迟或变形，仅可观察到一个端点（缺陷上端点）产生的衍射信号，且与直通波反相位；
- c) 穿透型：该类型显示为直通波和底面反射波同时减弱或消失，可沿壁厚方向产生多处衍射信号。

7.2.1.2.2 数据分析时，应注意与直通波和底面反射波最近的缺陷信号的相位，初步判断缺陷的上、下端点是否隐藏于表面盲区或在工件表面。

#### 7.2.1.3 埋藏型缺陷显示

7.2.1.3.1 埋藏型缺陷显示可细分为如下三类：

- a) 点状显示：该类型显示为双曲线弧状，且与拟合弧形光标重合，无可测量长度和高度；
- b) 线状显示：该类型显示为细长状，无可测量高度；
- c) 条状显示：该类型显示为长条状，可见上、下端产生的衍射信号。

7.2.1.3.2 埋藏型缺陷显示一般不影响直通波或底面反射波的信号。



### 7.2.2 非相关显示

由于工件的外形结构或材料冶金等非缺陷引起的显示。

### 7.2.3 相关显示和非相关显示的记录和测定

- a) 对于表面开口型缺陷显示、线状和条状埋藏型缺陷显示，至少应测定缺陷的位置、缺陷长度、缺陷深度以及缺陷自身高度，必要时还应测定缺陷偏离焊缝中心线的位置；
- b) 对于埋藏型点状显示，当某区域内数量较多时，应予以记录；
- c) 对于非相关显示，应记录其位置。

7.2.4 必要时，对已发现的相关显示，为获得更多信息，可增加平行扫查。

### 7.2.5 典型的 TOFD 图像

典型的 TOFD 图像见附录 E。

## 7.3 缺陷的位置及缺陷长度测定

### 7.3.1 缺陷的位置

7.3.1.1 根据非平行扫查或偏置非平行扫查得到的 TOFD 图像确定缺陷在 X 轴的位置。

7.3.1.2 一般使用拟合弧形光标法确定缺陷沿 X 轴方向的前、后端点位置：

- a) 对于点状显示，可采用拟合弧形光标与相关显示重合时所代表的焊缝方向上位置数值；
- b) 对于其他显示，应分别测定其前、后端点位置。可采用拟合弧形光标与相关显示端点重合时所显示的焊缝方向上位置数值。

7.3.1.3 可采用聚焦探头改善缺陷位置的测定精度。

7.3.2 缺陷长度根据缺陷前、后端点在 X 轴的位置计算而得，见图 8、图 16 中  $l$ 。

### 7.4 缺陷深度测定

7.4.1 表面开口型缺陷显示：

- a) 扫查面开口型和穿透型：缺陷深度为 0；
- b) 底面开口型：缺陷上端点与扫查面间的距离为缺陷深度。

7.4.2 埋藏型缺陷显示：

- a) 点状显示：采用拟合弧形光标与点状显示重合时所显示的深度值；
- b) 线状显示和条状显示：其上端点与扫查面间的距离为缺陷深度。

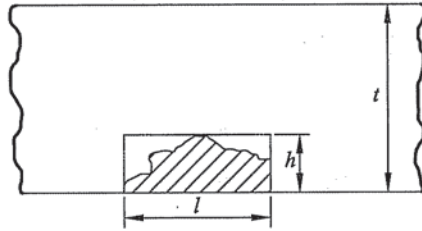
7.4.3 在平行扫查的 TOFD 显示中，缺陷距扫查面最近处的上端点所反映的深度为缺陷深度的精确值。

### 7.5 缺陷自身高度测定

7.5.1 对于表面开口型缺陷显示：缺陷自身高度为表面与缺陷上（或下）端点间最大距离，见图 16 中  $h$ ；若为穿透型，缺陷自身高度为工件厚度。

7.5.2 对于埋藏型条状缺陷显示，缺陷自身高度见图 8 中  $h$ 。





说明：

$h$ ——表面缺陷自身高度；

$l$ ——表面缺陷长度；

$t$ ——工件厚度。

图 16 表面开口型缺陷尺寸

### 7.6 缺陷偏离焊缝中心线位置的测定

7.6.1 在非平行扫查和偏置非平行扫查得到的 TOFD 图像中，无法确定缺陷偏离焊缝中心线的距离，应采用脉冲反射法超声检测或其他有效方法进行测定。

7.6.2 在平行扫查得到的 TOFD 图像中，缺陷上端点距扫查面最近处所反映的 Y 轴位置为缺陷偏离焊缝中心线的位置。

## 8 缺陷评定与质量分级

8.1 不允许危害性表面开口缺陷的存在。

8.2 如检测人员可判断缺陷类型为裂纹、坡口未熔合等危害性缺陷时，评为 III 级。

8.3 相邻两个或多个缺陷显示（非点状），其在 X 轴方向间距小于其中较小的缺陷长度且在 Z 轴方向间距小于其中较小的缺陷自身高度时，应作为一条缺陷处理，该缺陷深度、缺陷长度及缺陷自身高度按如下原则确定：

- a) 缺陷深度：以两缺陷深度较小值作为单个缺陷深度；
- b) 缺陷长度：两缺陷在 X 轴投影上的前、后端点间距离；
- c) 缺陷自身高度：若两缺陷在 X 轴投影无重叠，以其中较大的缺陷自身高度作为单个缺陷自身高度；若两缺陷在 X 轴投影有重叠，则以两缺陷自身高度之和作为单个缺陷自身高度（间距计入）。

8.4 点状显示的质量分级要求如下：

8.4.1 点状显示用评定区进行质量分级评定，评定区为一个与焊缝平行的矩形截面，其沿 X 轴方向的长度为 100mm，沿 Z 轴方向的高度为工件厚度。

8.4.2 在评定区内或与评定区边界线相切的缺陷均应划入评定区内，按表 6 的规定评定焊接接头的质量级别。

表6 各级别允许的点状显示的个数

等级	工件厚度 $t/\text{mm}$	个数
I	12 ~ 400	$t \times 0.5$ , 最大为 130
II	12 ~ 400	$t \times 0.8$ , 最大为 200
III	12 ~ 400	超过 II 级者

8.4.3 对于密集型点状显示,按条状显示处理。

8.5 非点状缺陷显示的质量分级要求如下:

非点状缺陷显示的质量分级按表7的规定进行。

表7 焊接接头质量分级

单位为 mm

等级	工件厚度 $t^a$	单个缺陷						单个或多个缺陷累积长度
		表面开口型缺陷			埋藏型缺陷			
		长度 $l_{\max}$	高度 $h_3$	若 $l > l_{\max}$ , 缺陷高度 $h_1$	长度 $l_{\max}$	高度 $h_2$	若 $l > l_{\max}$ , 缺陷高度 $h_1$	
I	$12 \leq t \leq 15$	$\leq \frac{t}{2}$	$\leq 2$	$\leq 1$	$\leq \frac{t}{2}$	$\leq 3$	$\leq 1$	1、对于单个或多个 $h \leq h_1$ 的线状缺陷,在任意 $12t$ 范围内累计长度不得超过 $3t$ 且最大值为 $150\text{mm}$ ; 2、若多个缺陷其各自长度 $l \leq \frac{t}{2}$ 、高度 $h$ 均为: $h_1 < h \leq h_2$ 或 $h_3$ ,则在任意 $12t$ 范围内累计长度不得超过 $3t$ 且最大值为 $150\text{mm}$ ; 3、所有表面开口缺陷累计长度不得大于整条焊缝长度的 $5\%$ 且最长不得超过 $300\text{mm}$
	$15 < t \leq 40$	$\leq \frac{t}{2}$	$\leq 2$	$\leq 1$	$\leq \frac{t}{2}$	$\leq 4$	$\leq 1$	
	$40 < t \leq 60$	$\leq 20$	$\leq 3$	$\leq 2$	$\leq 20$	$\leq 5$	$\leq 2$	
	$60 < t \leq 100$	$\leq 25$	$\leq 3$	$\leq 2$	$\leq 25$	$\leq 5$	$\leq 2$	
	$t > 100$	$\leq 30$	$\leq 4$	$\leq 3$	$\leq 30$	$\leq 6$	$\leq 3$	
II	$12 \leq t \leq 15$	$\leq t$	$\leq 2$	$\leq 1$	$\leq t$	$\leq 3$	$\leq 1$	1、对于单个或多个 $h \leq h_1$ 的线状缺陷,在任意 $12t$ 范围内累计长度不得超过 $5t$ 且最大值为 $300\text{mm}$ ; 2、若多个缺陷其各自长度 $l \leq t$ 、高度 $h$ 均为: $h_1 < h \leq h_2$ 或 $h_3$ ,则在任意 $12t$ 范围内累计长度不得超过 $4t$ 且最大值为 $200\text{mm}$ ; 3、所有表面开口缺陷累计长度不得大于整条焊缝长度的 $10\%$ 且最长不得超过 $500\text{mm}$
	$15 < t \leq 40$	$\leq t$	$\leq 2$	$\leq 1$	$\leq t$	$\leq 4$	$\leq 1$	
	$40 < t \leq 60$	$\leq 40$	$\leq 3$	$\leq 2$	$\leq 40$	$\leq 5$	$\leq 2$	
	$60 < t \leq 100$	$\leq 50$	$\leq 3$	$\leq 2$	$\leq 50$	$\leq 5$	$\leq 2$	
	$t > 100$	$\leq 60$	$\leq 4$	$\leq 3$	$\leq 60$	$\leq 6$	$\leq 3$	
III	12 ~ 400	超过 II 级者						

<sup>a</sup> 公称厚度;当焊缝两侧母材公称厚度不同时,取薄侧。

8.6 当各类缺陷评定的质量级别不同时,以质量级别最低的作为焊接接头的质量级别。

## 9 检测记录和报告

9.1 应按照现场操作的实际情况详细记录检测过程的有关信息和数据。检测记录除符合 NB/T 47013.1 的规定外，还至少应包括下列内容：

- a) 与被检工件有关的内容：名称、编号、规格、材质、坡口型式、焊接方法、热处理状况、检测部位及检测前的表面状态等；
- b) 检测设备器材：仪器型号及编号、探头型号和编号、扫查装置、试块、耦合剂等；
- c) 检测工艺参数：检测标准、技术等级、检测操作指导书编号、检测面、检测区域、探头布置图、检测系统设置和核查的数值、扫查方式、温度；
- d) 检测示意图；
- e) 检测数据和分析：每一数据文件的名称及分析结果（包括其中需记录和测定的缺陷位置与尺寸、质量级别）；
- f) 检测系统总体设置确认的数据；技术等级为 C 级时，还应包括模拟试块验证的数据与结果。

9.2 应依据检测记录出具检测报告。检测报告除符合 NB/T 47013.1 的规定外，还至少应包括下列内容：

- a) 委托单位；
- b) 与被检工件有关的内容：承压设备类别，检测对象的名称、编号、规格尺寸、材质、坡口型式、焊接方法、热处理状况、检测部位和检测比例、检测时的表面状态、检测时机、温度等；
- c) 检测设备器材：仪器和探头规格型号、扫查装置、耦合剂、试块（必要时）等；
- d) 检测工艺参数：检测操作指导书编号、检测面、探头设置、扫查方式；
- e) 检测结果和结论：数据文件名称，可记录缺陷的位置与尺寸、质量级别、数据文件名，检测结论。



附 录 A  
(资料性附录)  
不等厚工件的检测

#### A.1 总则

本附录为两侧母材不等厚工件对接接头的 TOFD 检测提供指导性资料。

#### A.2 扫查面选择

在允许的情况下应优先选择平齐的表面作为扫查面。

#### A.3 扫查面平齐的对接接头

A.3.1 非平行扫查时的检测工艺按照本标准正文的要求进行。

A.3.2 考虑到母材较厚侧的初始底面盲区较大,应在较厚工件侧增加偏置非平行扫查。可通过计算设定偏置量和偏置次数,以保证底面盲区的高度符合相应检测技术等级的要求。

#### A.4 底面平齐的对接接头

##### A.4.1 焊接接头结构

分为削边处理和不削边处理两种结构,一般当厚度差大于厚板的 30%或厚度差大于 5mm 时需要做削边处理,不削边处理和单面削边处理的对接接头分别见图 A.1 和图 A.2。

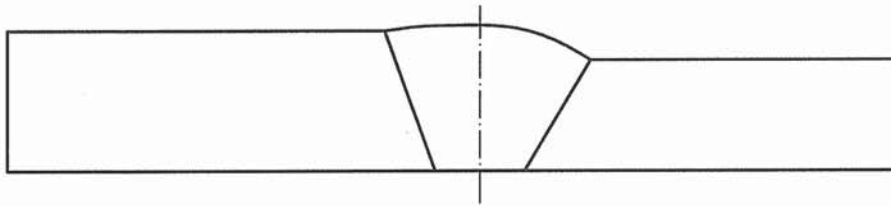


图 A.1 不削边处理的对接接头结构示意图

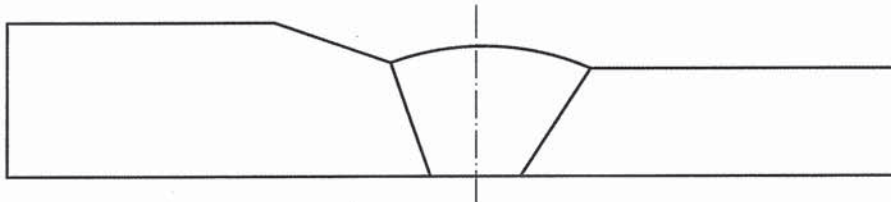


图 A.2 削边处理的对接接头结构示意图

##### A.4.2 对比试块

对于图 A.2 所示的焊接接头,当厚度差大于 5mm 时应制作相同厚度和结构形式的对比试块。

分别在两侧检测区域边界线和焊缝中心线设置直径 2mm、长度 60mm 的侧孔，侧孔深度均位于表面下 4mm；其他孔的设置应满足附录 D 的要求。对比试块近表面孔的设置见图 A.3。

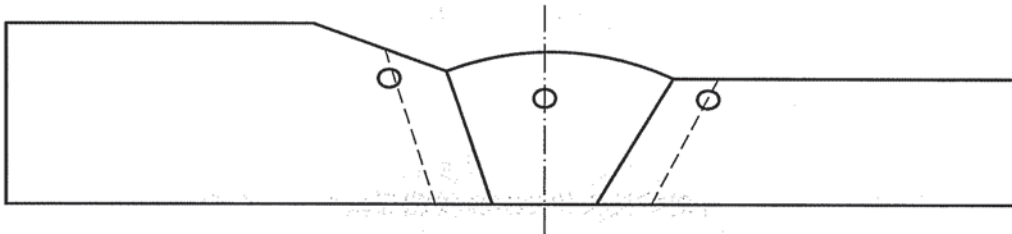


图 A.3 不等厚对接接头对比试块近表面孔的设置

#### A.4.3 检测方法

A.4.3.1 图 A.1 所示焊接接头按照标准正文的要求进行检测配置和实施检测。但应考虑缺陷的显示深度和实际深度差值的修正，以及表面盲区的补充检测方法。

A.4.3.2 图 A.2 所示焊接接头应采用 A.4.2 要求的对比试块进行检测工艺的设置。应至少进行两次非平行扫查（见图 A.4、图 A.5）和一次偏置非平行扫查（见图 A.6），以及表面盲区的补充检测方法。

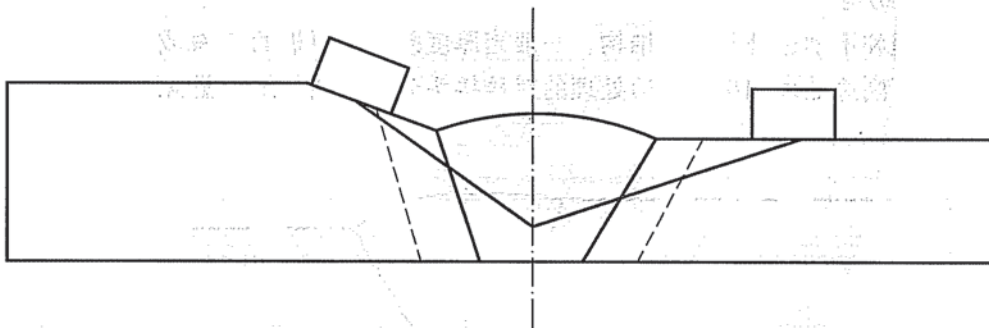


图 A.4 非平行扫查 1

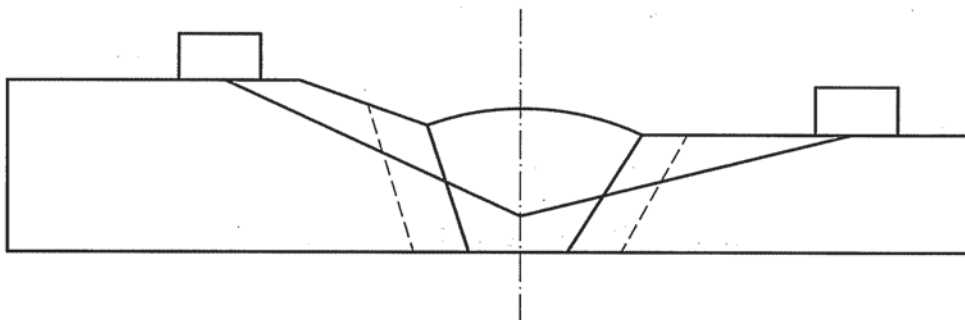


图 A.5 非平行扫查 2

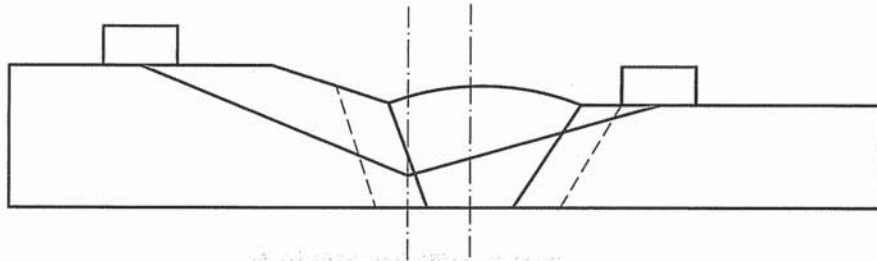


图 A.6 偏置非平行扫查

#### A.5 双面不齐平

当双面均不齐平时，应制作相同厚度和结构形式的对比试块，侧孔的设置应满足 A.4.2 和附录 D 的原则要求，检测工艺的设置应考虑检测区域覆盖和深度修正。

#### A.6 补充检测

补充检测应符合标准正文 4.3 的要求。

附录 B  
(规范性附录)

TOFD 检测仪器和探头性能指标要求

B.1 检测仪器性能指标要求 (见表 B.1)

表 B.1 TOFD 检测仪性能指标要求

序号	项目	技术要求		
1	电气性能要求	(1)发射性能参数	①激发电脉冲可以是单极性或双极性的,应为方波 ②仪器每个通道的发射脉冲上升时间(即脉冲前沿幅度从脉冲峰值的 10%~90%的上升时间)应小于 25ns ③仪器每个通道的发射脉冲电压幅值应可调,最大值应不小于 200V(特殊情况下达不到的,至少应不小于 100V 且提供仪器具有相当检测能力的证明文件),发射脉冲电压的实测值与设定值(带负载 50Ω)之间的偏差不大于设定值的 20% ④仪器每个通道的发射脉冲宽度范围应至少包括 50ns~500ns 且可调,步进小于或等于 10ns,发射脉冲宽度的实测值与设定值之间的偏差不大于设定值的 10% ⑤仪器每个通道的发射脉冲重复频率应可调;最大值应能达到 500Hz 及以上,发射脉冲重复频率的实测值与设定值的偏差应不大于设定值的 10%	
		(2)接收性能参数	①接收放大电路频带范围按-3dB 测量应至少包括 0.6MHz~15MHz	
			②数字采样频率至少 60MHz	
			③仪器实测净增益应不小于 75dB	
		(3)其他电气性能应满足 NB/T 47013.3《承压无损检测 第 3 部分:超声检测》附录 A 的要求		
		2	功能要求	(1)显示功能
	(2)其他功能			①仪器的数据采集应和扫查装置的移动同步,扫查步进值应可调,其最小值应不大于 0.5mm
				②仪器应能存储和分辨各 A 扫描信号之间相对位置的信息,如编码位置
③仪器应具有滤波、取波幅阈值等数字信号处理功能,但仪器应能记录未经处理之前的原始检测数据				
④仪器应能够以不可更改的方式将所有的 A 扫描信号和 TOFD 图像存储于磁、光等永久介质,并能输出其硬拷贝				
⑤仪器应能够选择合适的 A 扫描时间窗口,以检测到需要的信号;闸门起点相对于发射脉冲至少应在 0μs~200μs 间可调节,窗口宽度至少在 5μs~100μs 间可调节				
⑥仪器应提供满足本部分第 5 章所要求的各项设置功能				



## B.2 宽带窄脉冲探头性能指标要求（见表 B.2）

表 B.2 宽带窄脉冲探头性能指标要求

序号	性能	指标要求
1	中心频率	实测值与标称值的偏差 $\leq$ 标称值的 10%
2	相对脉冲回波灵敏度	实测值与标称值的偏差 $\leq$ 3dB
3	电阻抗或静电容	实测值与标称值的偏差 $\leq$ 标称值的 20%
4	直通波持续时间	直通波按峰值下降 20dB 测量的持续时间应不超过两个脉冲周期
5	频带相对宽度	不小于 80%

附录 C

(资料性附录)

仪器和探头组合的-12dB 声束扩散角测量方法

仪器和探头组合的-12dB 声束扩散角采用图 15 所示的声束角度测定试块进行测量，测量方式和步骤如下（见图 C.1）：

- a) 调节仪器到自发自收状态，将需要测量的探头放置在 1 位置，前后调节探头的位置和方向，找到最大反射波幅，此时保持探头不动；
- b) 调节仪器到一发一收状态，将另一接收探头放在 2 位置沿弧面移动，找到最大波幅，将最大波幅调至仪器满屏的 80%，此时探头 2 位置对应的角度刻度值  $\alpha_0$  即为测试探头的发射角；
- c) 保持位置 1 的测试探头不动，向下移动 2 位置探头，当波幅降低至 20% 满屏高度时，记下探头 2 的位置角度值  $\alpha_1$ ，此角为下扩散角；
- d) 保持位置 1 的测试探头不动，向上移动 2 位置探头，波幅会逐渐升高至 80%，继续向上移动，波幅会降低，当波幅降低至 20% 满屏高度时，记下探头 2 的位置角度值  $\alpha_2$ ，此角为上扩散角。

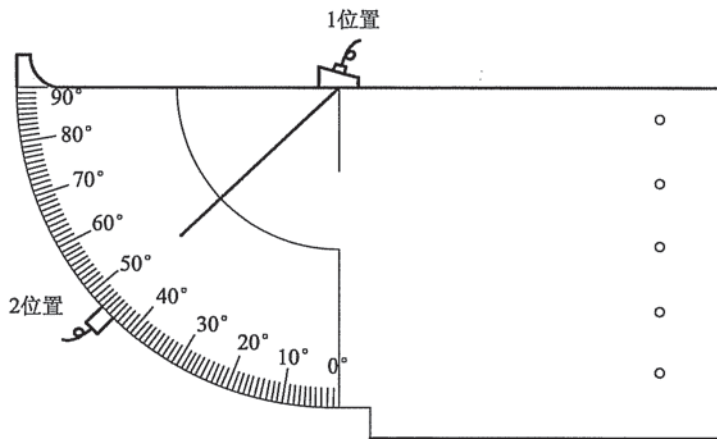


图 C.1 声束扩散角测量

**附录 D**  
(规范性附录)  
其他结构形式的对比试块

**D.1** 对于壁厚  $12\text{mm} \leq t \leq 25\text{mm}$  的试块

应至少设置 3 个反射体，这些反射体可加工于一个或多个试块中：

- a) 试块表面设置一个矩形槽，其长度为  $X$ 、高度为  $H$ （见表 D.1）、宽度小于 1mm；
- b) 扫查面下 4mm 处设置一个  $\phi 2\text{mm}$  侧孔，长度不小于 30mm；
- c) 试块  $1/2t$  处设置一个尖角槽（见图 D.1），其宽度最大值为  $W$ （见表 D.2），长度不小于 40mm；或设置一个侧孔，其直径最大值为  $D_d$ （见表 D.2），长度不小于 45mm。

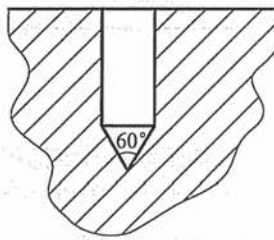


图 D.1 尖角槽（尖角为  $60^\circ$ ）

**D.2** 对于壁厚  $25\text{mm} < t \leq 50\text{mm}$  的试块

应至少设置 4 个反射体，这些反射体可加工于一个或多个试块中：

- a) 试块表面应设置一个矩形槽，其长度为  $X$ 、高度为  $H$ （见表 D.1）、宽度小于 1mm；
- b) 扫查面下 4mm 处设置一个  $\phi 2\text{mm}$  侧孔，长度不小于 30mm；
- c) 试块  $1/4t$  和  $3/4t$  处分别设置一个尖角槽（见图 D.1），其宽度最大值为  $W$ （见表 D.2），长度不小于 40mm；或设置侧孔，其直径最大值为  $D_d$ （见表 D.2），长度不小于  $L$ （见表 D.3）。

表 D.1 表面矩形槽尺寸

单位为 mm

壁 厚	$X$	$H$
$12 \leq t \leq 40$	$t \pm 8$	$1 \pm 0.2$
$40 < t \leq 60$	$40 \pm 2$	$2 \pm 0.2$
$60 < t \leq 100$	$50 \pm 2$	$2 \pm 0.2$
$t > 100$	$60 \pm 2$	$3 \pm 0.2$



表 D.2 尖角槽宽度  $W$  或侧孔直径  $D_d$  单位为 mm

壁 厚	$W/D_d$
$12 \leq t \leq 25$	$2.5 \pm 0.2$
$25 < t \leq 50$	$3.0 \pm 0.2$
$50 < t \leq 100$	$4.5 \pm 0.2$
$t > 100$	$6.0 \pm 0.2$

表 D.3 侧孔长度  $L$  单位为 mm

深 度	2 个侧孔位于 同一试块内同一侧	2 个侧孔位于 不同试块内或同一试块不同侧
	$L$	$L$
$1/4t$	45	45
$3/4t$	45+15	45

D.3 对于壁厚  $t > 50\text{mm}$  的试块

应至少包含如下反射体，这些反射体可加工于一个或多个试块中：

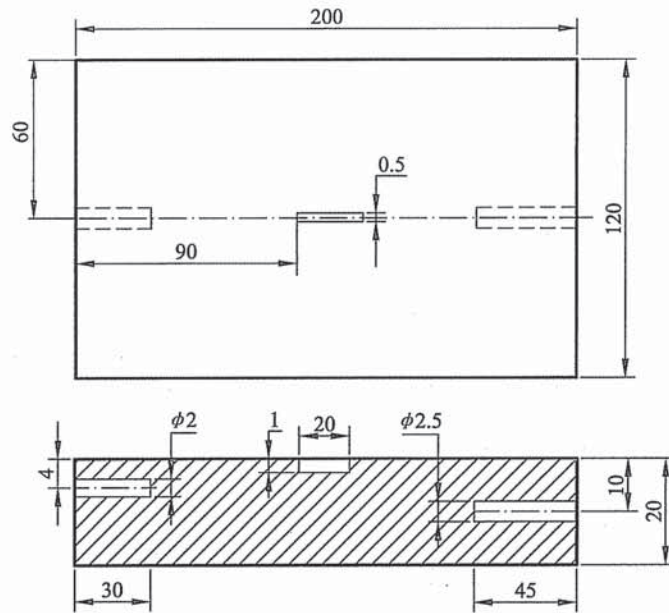
- a) 试块表面应设置一个矩形槽，其长度为  $X$ 、高度为  $H$ （见表 D.1）、宽度小于 1mm；
- b) 扫查面下 4mm 处设置一个  $\phi 2\text{mm}$  侧孔，长度不小于 30mm；
- c) 在每个厚度分区包含 2 个尖角槽，其宽度最大值为  $W$ （见表 D.2），长度不小于 40mm；或为侧孔，其直径最大值为  $D_d$ （见表 D.2），长度最小值  $L$  和深度有关，见表 D.4。

表 D.4 侧孔长度 单位为 mm

深 度	$L$
$50 \leq t \leq 100$	60
$100 < t \leq 200$	70
$200 < t \leq 300$	80
$300 < t \leq 400$	90

注：本附录规定的各对比试块中所设置的侧孔垂直度偏差不应大于  $\pm 0.1^\circ$ 。

## D.4 典型对比试块举例（见图 D.2）

图 D.2  $t=20\text{mm}$  厚对比试块

附录 E  
(资料性附录)  
典型 TOFD 图像

E.1 合格 TOFD 图像

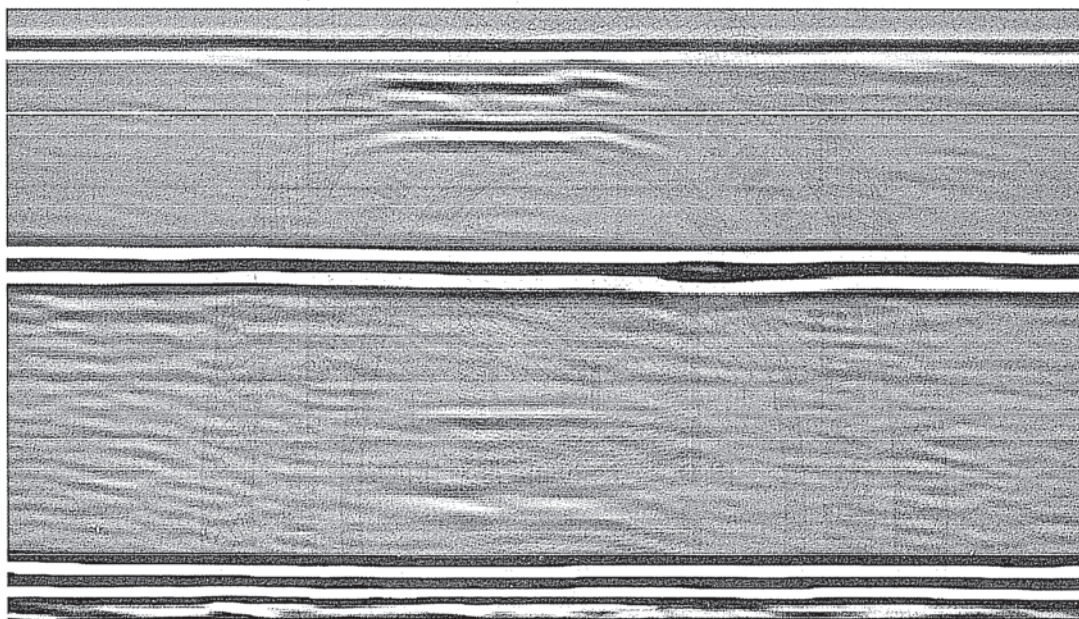


图 E.1 单通道 TOFD 图像

E.2 不合格 TOFD 图像

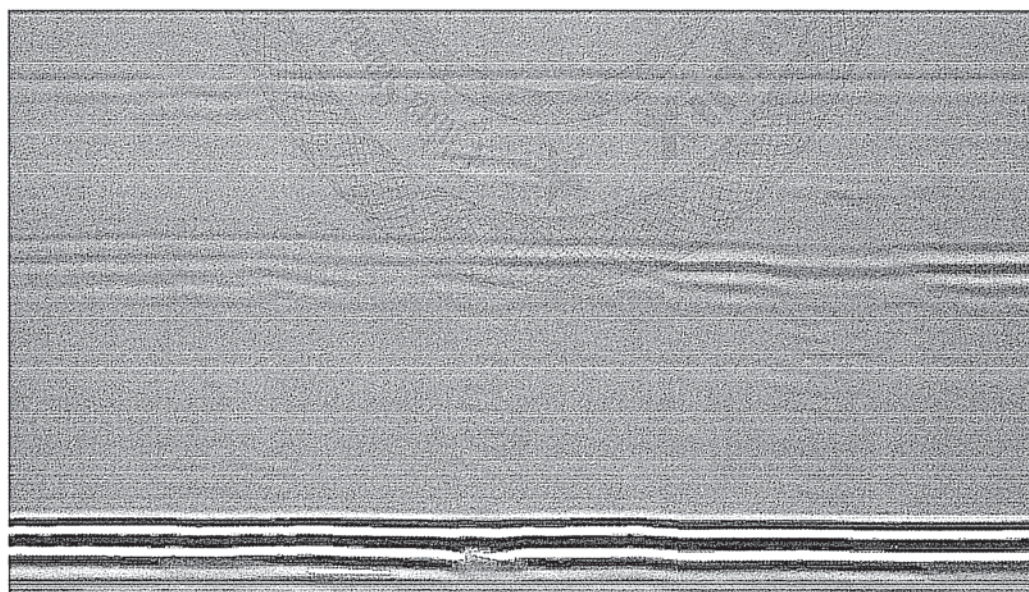


图 E.2 灵敏度偏低



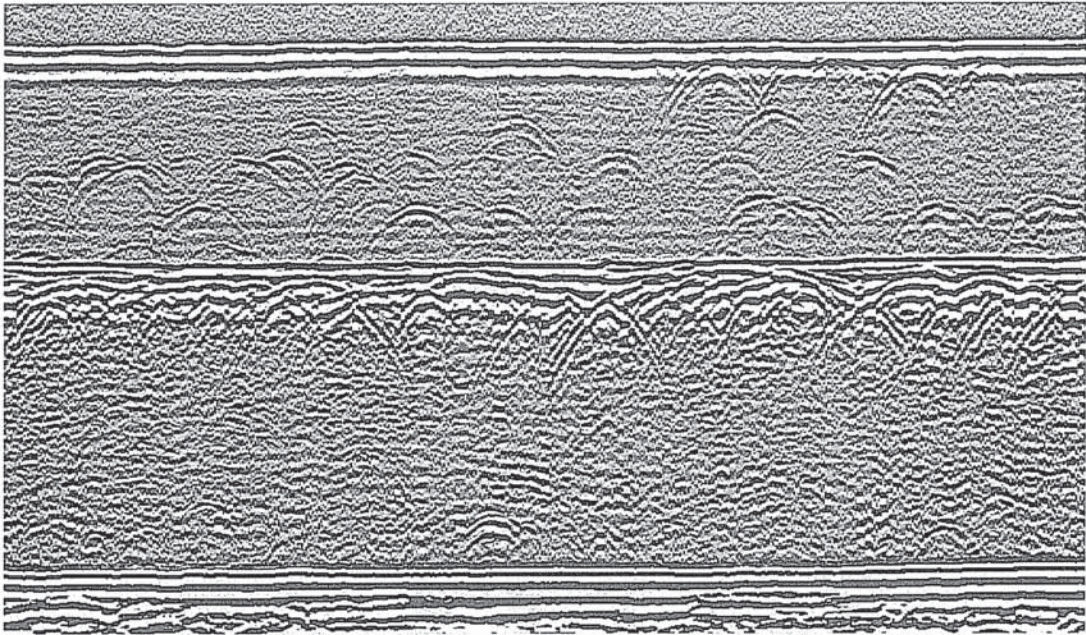


图 E.3 灵敏度偏高

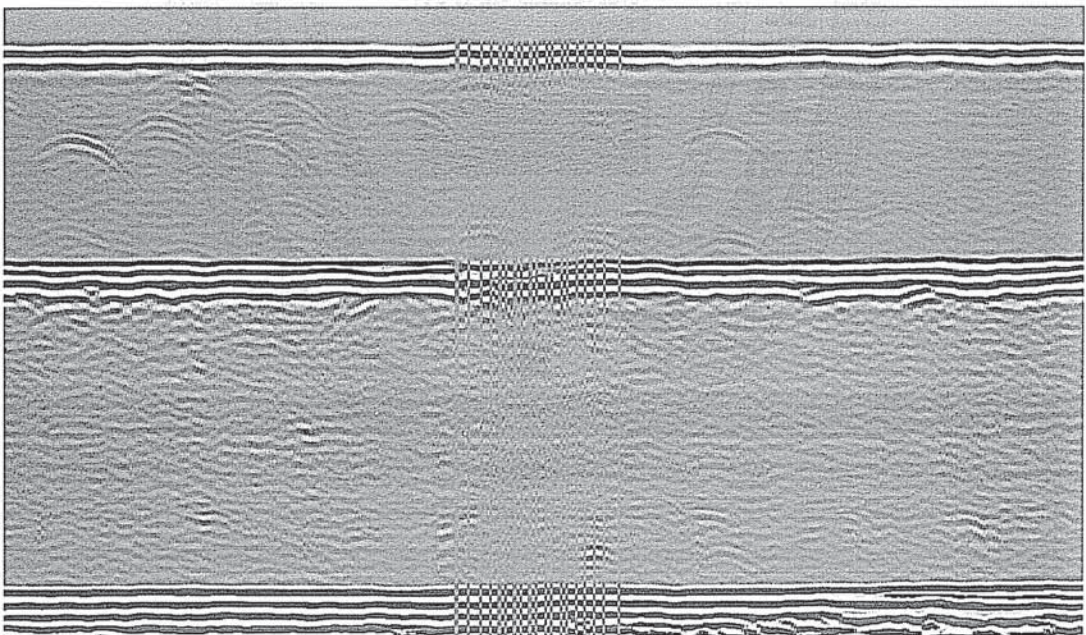


图 E.4 扫查速度过快，A 扫描信号连续丢失



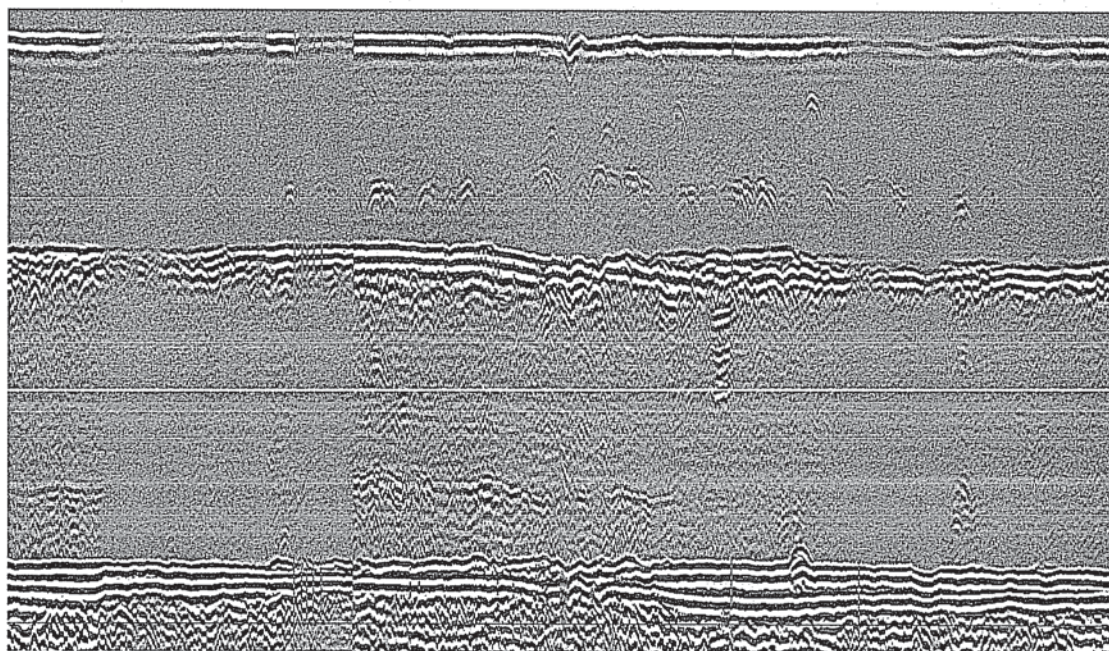


图 E.5 耦合剂不足，数据丢失

E.3 典型缺陷 TOFD 图像

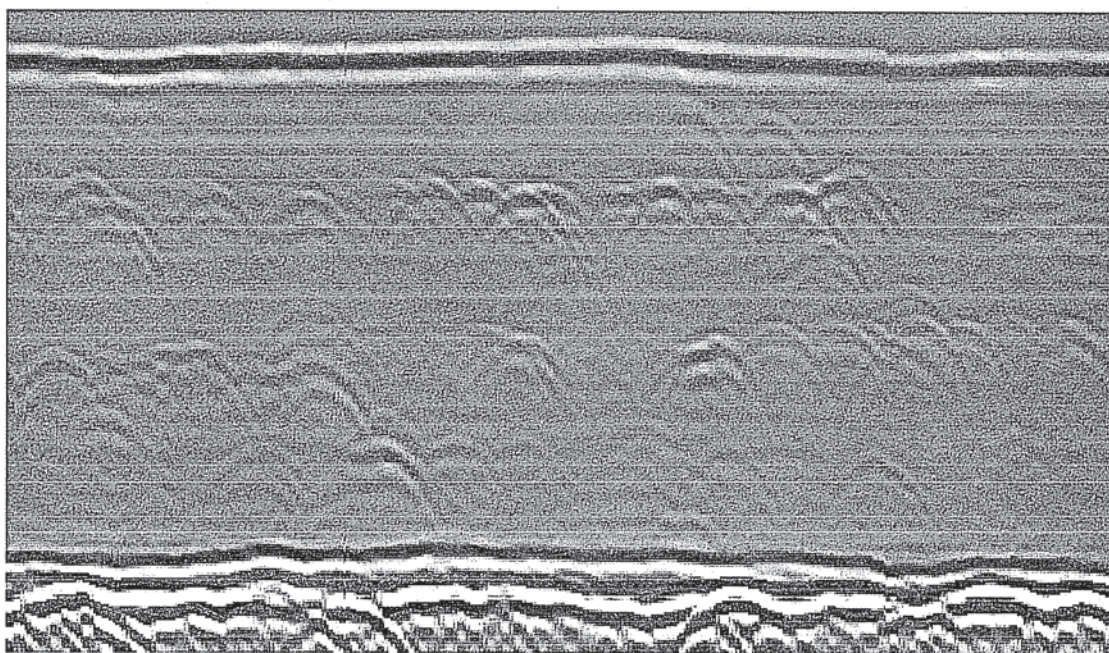


图 E.6 气孔



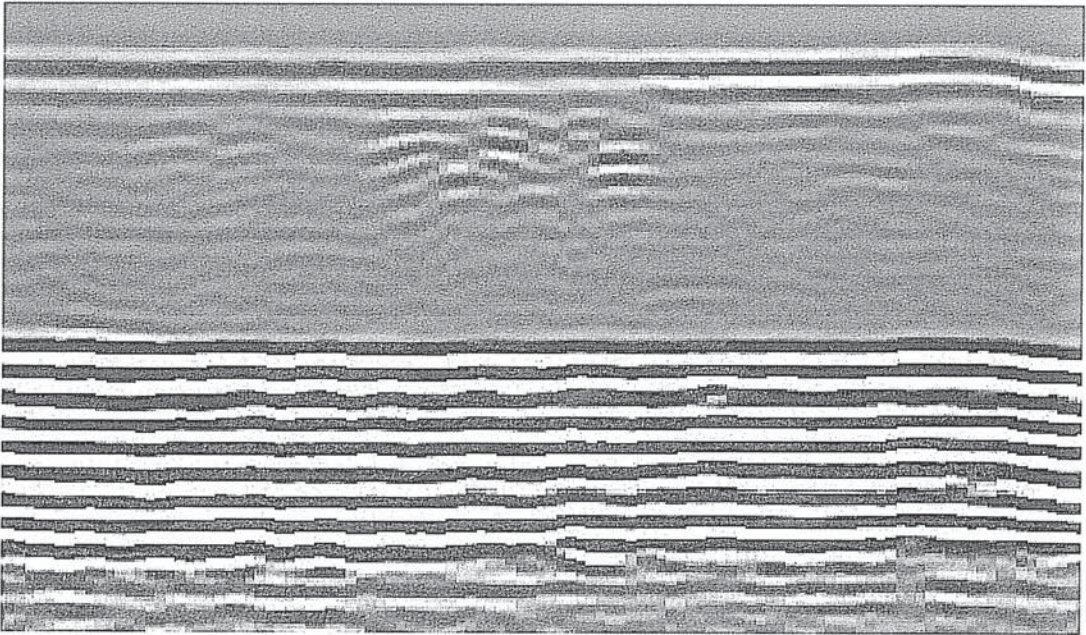


图 E.7 夹渣

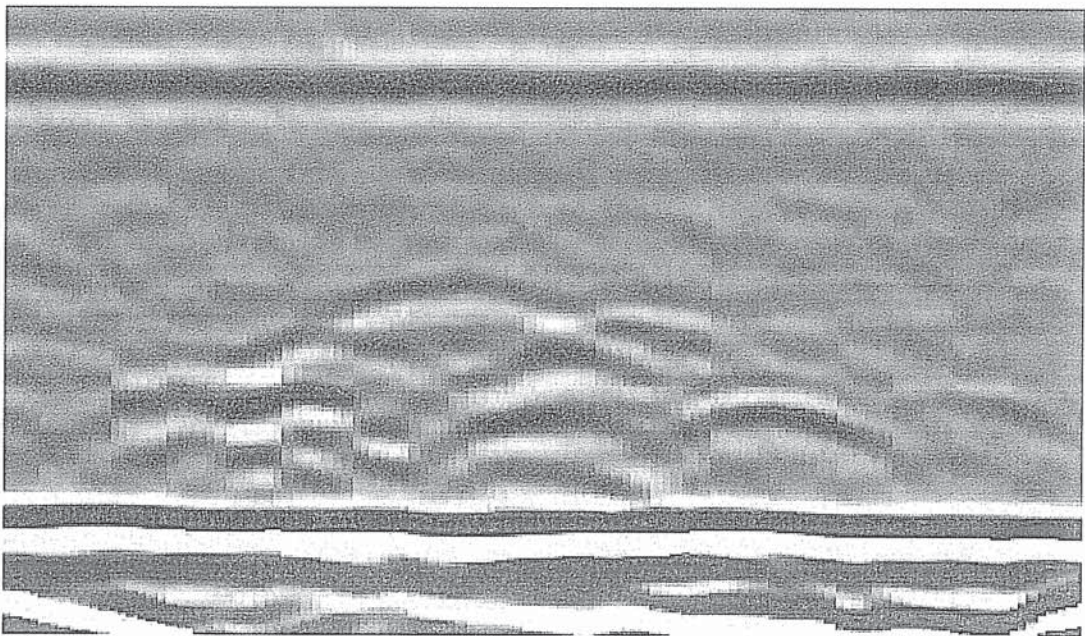


图 E.8 夹渣



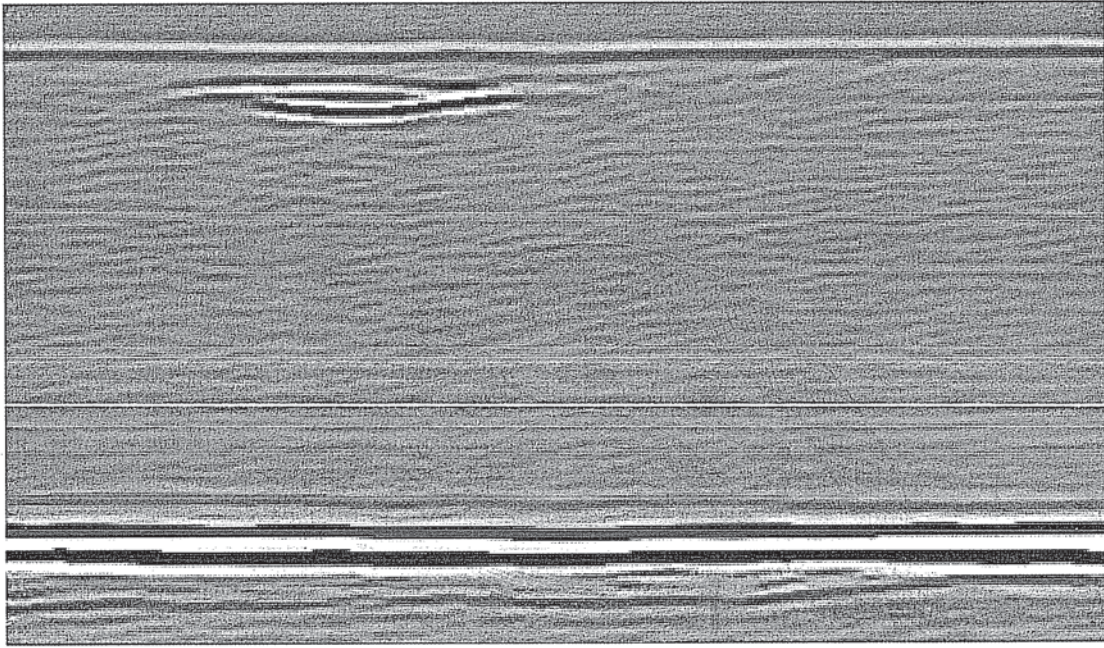


图 E.9 未熔合

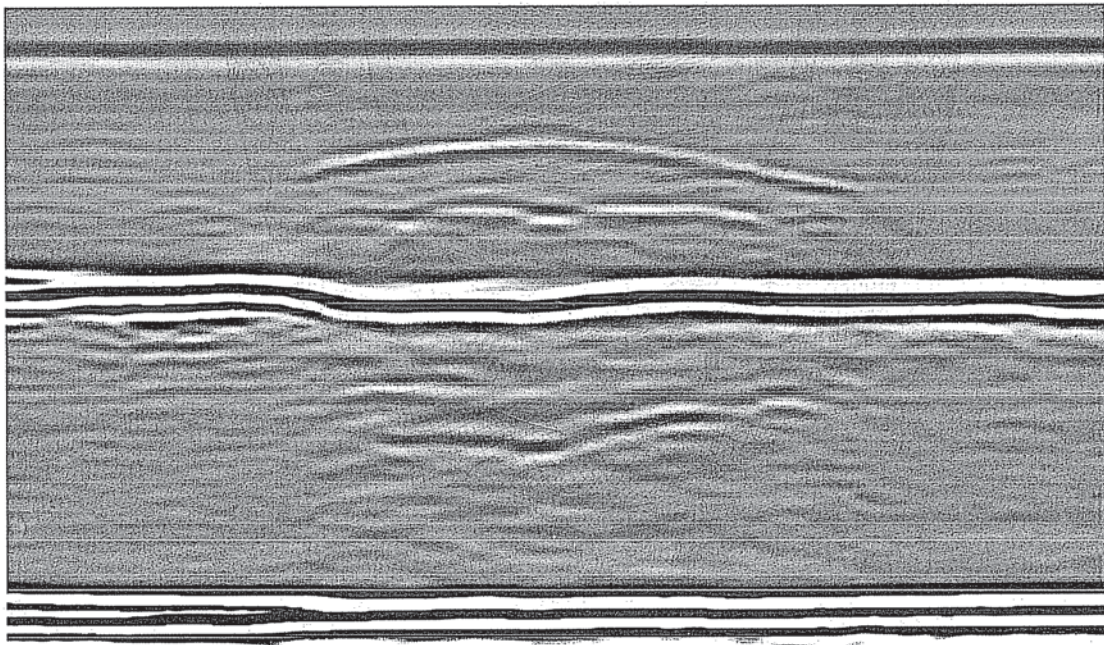


图 E.10 未熔合



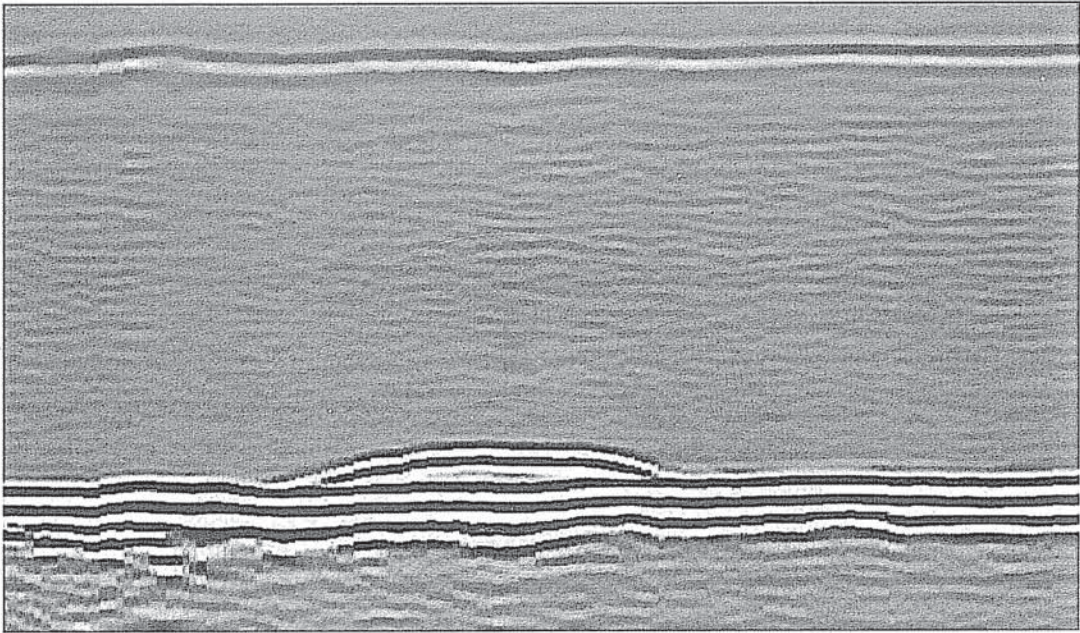


图 E.11 底部开口（底部开口较小）

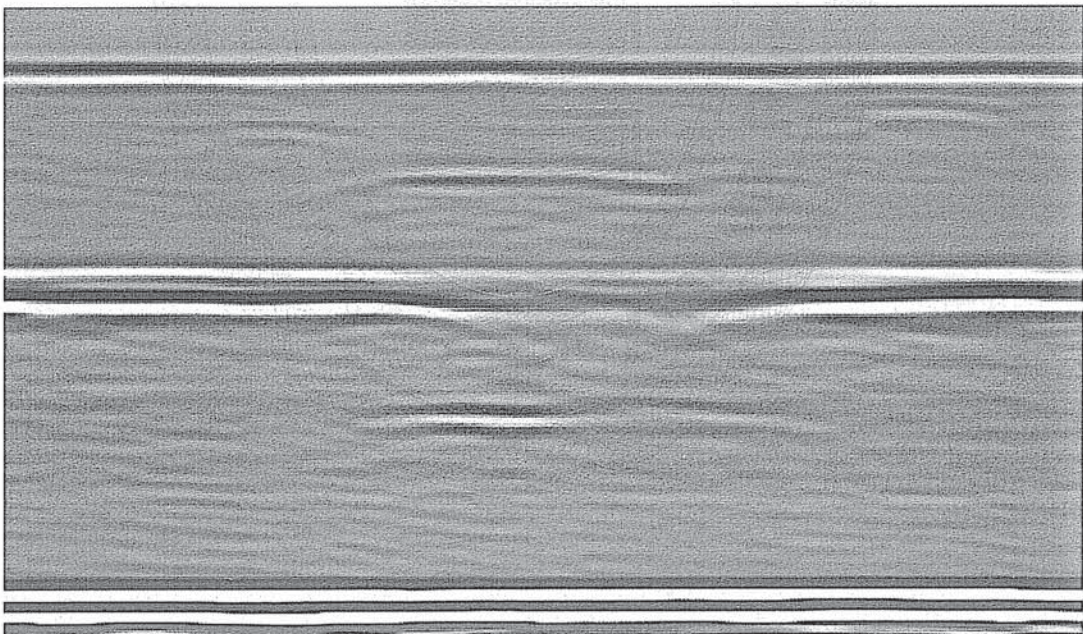


图 E.12 底部开口（底部开口较大）



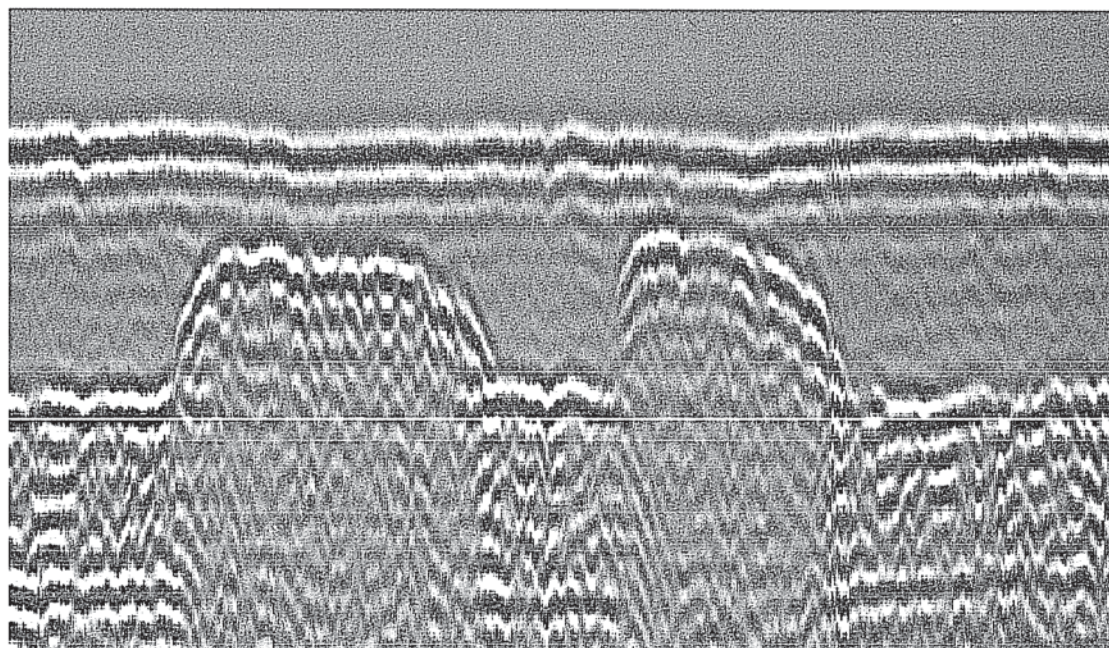


图 E.13 底部开口（底部开口至接近扫查面）

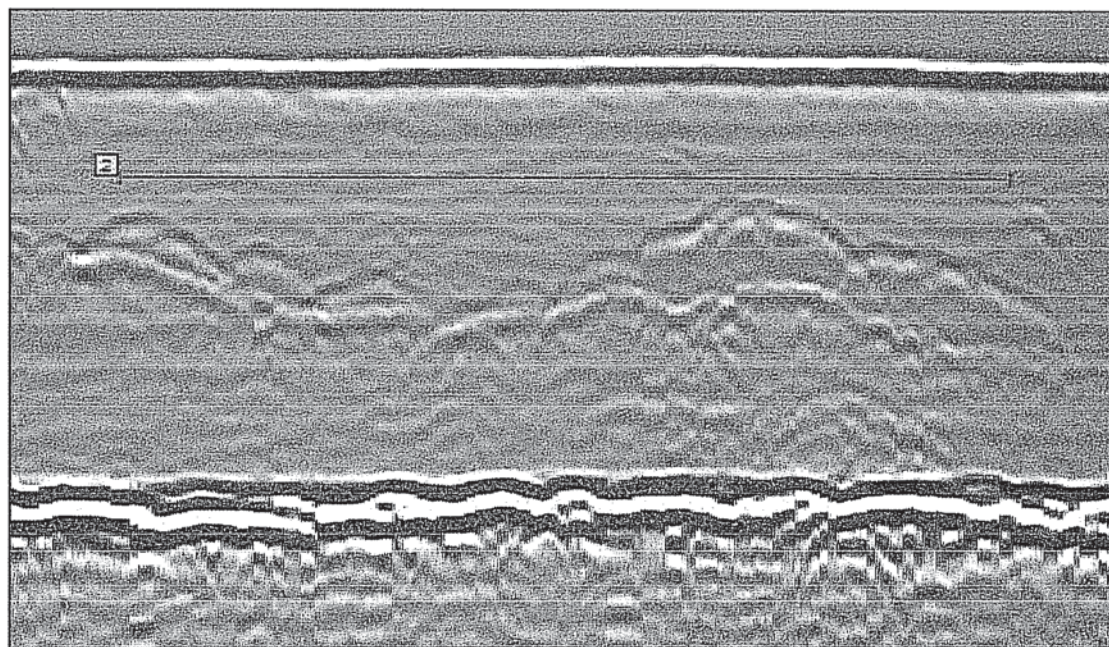


图 E.14 裂纹



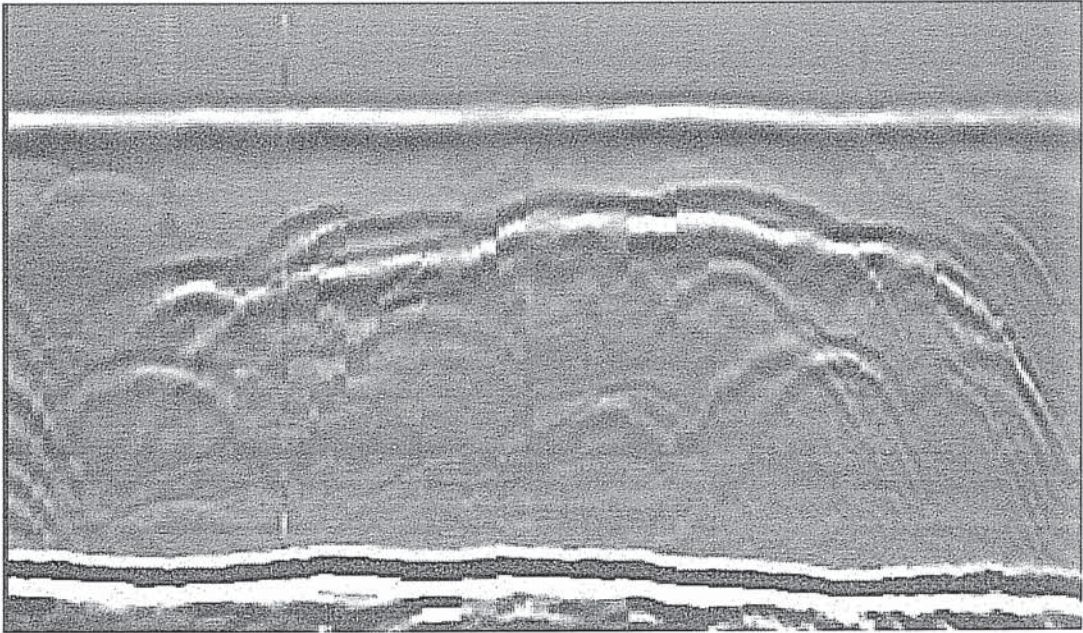


图 E.15 裂纹

E.4 工件结构特性 TOFD 图像

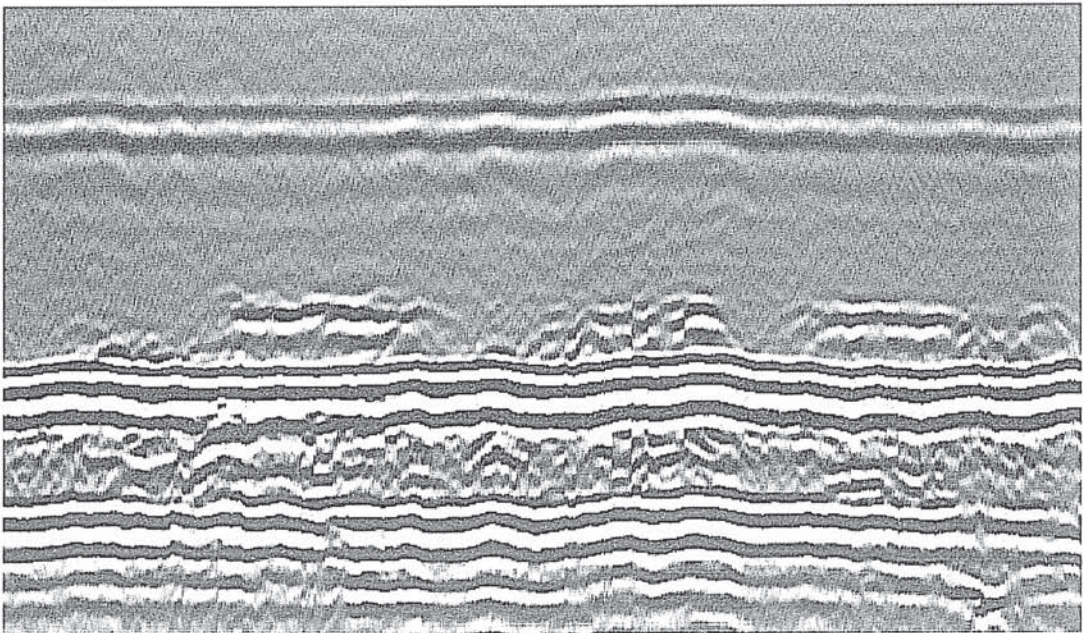


图 E.16 双底波（不同厚度工件）



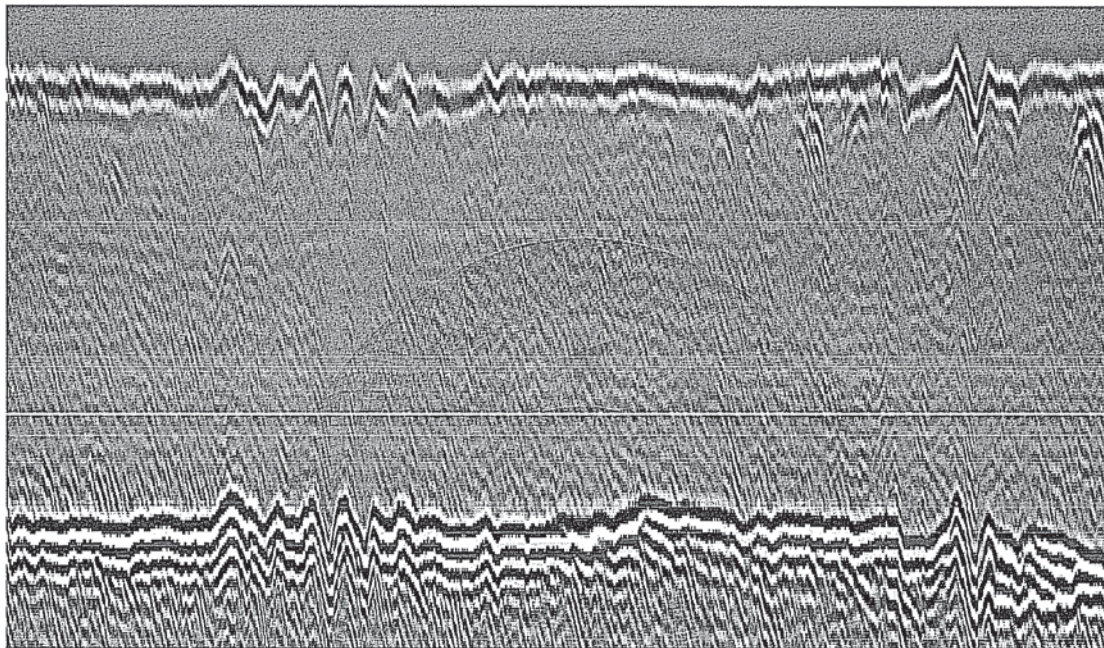


图 E.17 表面状态不良(凹凸不平)

