



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 36232—2018

## 焊缝无损检测 电子束焊接接头 工业计算机层析成像(CT)检测方法

Non-destructive testing of welds—Test method on electron-beam welded  
joints by industrial computed tomography(CT)

2018-05-14 发布

2018-12-01 实施

国家市场监督管理总局 发布  
中国国家标准化管理委员会

## 目 次

前言 .....	Ⅲ
引言 .....	Ⅳ
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 .....	1
5 环境条件 .....	2
6 检测系统 .....	2
7 对比试样 .....	2
8 检测准备 .....	2
9 检测程序 .....	4
10 结果说明.....	4
11 检测报告.....	5
附录 A (资料性附录) 气孔类对比试样的制作 .....	6
附录 B (资料性附录) 裂纹类对比试样的制作 .....	7
附录 C (资料性附录) 端接焊缝间隙对比试样的制作 .....	8
附录 D (资料性附录) 电子束焊缝内部缺欠的 CT 图片示例 .....	9

## 前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由全国焊接标准化技术委员会(SAC/TC 55)提出并归口。

本标准起草单位:中国兵器科学研究院宁波分院、北京控制工程研究所、洛阳 LYC 轴承有限公司、宁波出入境检验检疫局、中国兵器工业标准化研究所、上海材料研究所。

本标准主要起草人:倪培君、张维国、曹玉玲、郭智敏、徐向群、乔日东、陈翠丽、齐子诚、李红伟、王晓艳、郑颖、左欣、曹国洲、王琳、翟莲娜。

## 引 言

电子束焊接为一种利用电子束作为热源的焊接工艺,在航空、航天、兵器、汽车、机械等各个行业取得了广泛应用。工业 CT 用于电子束焊缝质量的无损检测已有二十多年历史,在保证电子束焊接件质量及可靠性方面发挥了重要作用。本标准是在总结多年电子束焊缝工业 CT 检测实践经验的基础上制定的。

# 焊缝无损检测 电子束焊接接头 工业计算机层析成像(CT)检测方法

## 1 范围

本标准规定了用工业计算机层析成像(CT)检测电子束焊接接头的术语和定义、人员、环境条件、检测系统、对比试样、检测准备、检测程序、结果说明、检测报告等要求。

本标准适用于电子束焊接接头内部缺欠的定性、定量及定位检测。

## 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 3375 焊接术语

GB/T 9445 无损检测 人员资格鉴定与认证

GB 18871 电离辐射防护与辐射源安全基本标准

GB/T 22085.1 电子束及激光焊接接头 缺欠质量分级指南 第1部分:钢

GB/T 22085.2 电子束及激光焊接接头 缺欠质量分级指南 第2部分:铝及铝合金

GB/T 29034 无损检测 工业计算机层析成像(CT)指南

GB/T 29070 无损检测 工业计算机层析成像(CT)检测 通用要求

GB/T 34365 无损检测 术语 工业计算机层析成像(CT)检测

GBZ 98 放射工作人员健康要求

GBZ 117 工业X射线探伤放射防护要求

## 3 术语和定义

GB/T 3375、GB/T 34365、GB/T 22085.1、GB/T 22085.2、GB/T 29034 界定的术语和定义适用于本文件。

## 4 检测人员

4.1 从事电子束焊接件焊缝工业CT检测的人员应按照GB/T 9445有关规定接受培训、考核,并取得相应的技术资格证书,各级检测人员应从事与自己资格等级相对应的技术工作。

4.2 从事电子束焊接件焊缝工业CT检测的人员健康应符合GBZ 98标准,并应经过电离辐射防护知识培训,取得资格证书。

4.3 从事工业CT检测的人员在工作时应佩戴个人剂量计,个人剂量计应定期送当地有关部门进行检测,检测人员的吸收剂量值应符合GB 18871的有关规定。

4.4 从事电子束焊接件焊缝工业CT检测的人员应熟悉电子束焊接工艺、接头形式、缺欠类型等相关知识。

## 5 环境条件

- 5.1 检测室防护条件应符合 GBZ 117、GB 18871 的相关规定。
- 5.2 检测室温湿度应满足检测设备和检测产品相应要求,并配备温湿度监测装置。
- 5.3 其他环境条件应符合 GB/T 29070 相关规定。

## 6 检测系统

### 6.1 系统组成

工业 CT 检测系统由射线源、探测器、机械扫描装置、计算机等子系统组成。射线源为 X 射线源(含电子加速器),射线源的能量(穿透能力)应满足试样的材料和尺寸要求。探测器系统可以使用面阵探测器,也可以使用线阵探测器;使用线阵探测器时,应装有前、后准直器,且后准直器宽度可以调节。

### 6.2 系统性能要求

6.2.1 检测电子束焊接接头质量的工业 CT 系统,空间分辨率在 10%调制度时的要求如下:

- a) 直径小于 50 mm 钢件,空间分辨率应不低于 2lp/mm;
- b) 直径为 50 mm~100 mm 钢件,空间分辨率应不低于 1.5lp/mm;
- c) 直径大于 100 mm 钢件,空间分辨率应不低于 1lp/mm。

6.2.2 对比度分辨率优于 0.5%。

6.2.3 系统应配备相关的尺寸测量软件,系统的尺寸测量精度应满足实际产品的检测要求。

### 6.3 系统性能核查

系统的性能应按照 GB/T 29070 的要求进行定期核查,并记录核查结果。

## 7 对比试样

- 7.1 对比试样的材料、尺寸及射线衰减特性应与试样相同或相近。
- 7.2 对比试样的具体制作可在实际产品上加工,也可参考附录 A、附录 B、附录 C 制作。
- 7.3 对比试样上的人工缺欠尺寸需进行标定。

## 8 检测准备

### 8.1 试样分析

8.1.1 检测前,应对试样进行整体结构分析,包括试样的形状、组成材料、大致结构、检测部位最大穿透厚度及重量。

8.1.2 检测部位最大穿透厚度可以通过实际测量和计算得到。最大穿透厚度可以通过图 1 箭头所示进行测量或计算。

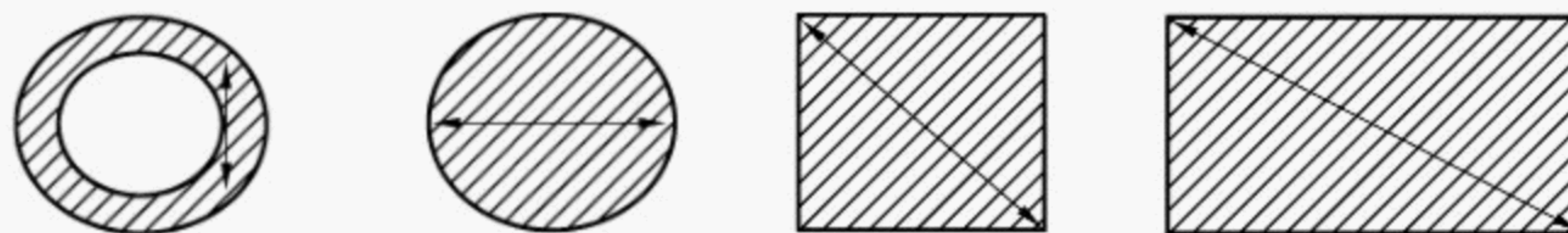


图 1 穿透厚度的确定

## 8.2 射线控制

8.2.1 射线能量应保证穿透试样的最大穿透厚度。

8.2.2 在射线能量和强度允许的条件下,选用小焦点,以提高空间分辨率。

8.2.3 对于线阵探测器,调节准直器狭缝的宽度和形状,减少散射线。

8.2.4 采用滤波片减小射束硬化伪像。

## 8.3 扫描参数的确定

### 8.3.1 焊接件摆放位置

扫描时焊接件宜放在射束宽度( $BW$ )最小的位置,即最佳放大倍数位置,最佳放大倍数  $M$  的计算见式(1):

$$M = 1 + \left( \frac{d}{a} \right)^2 \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

$d$  ——单个探测器元的尺寸的数值,单位为毫米(mm);

$a$  ——射线源焦点尺寸的数值,单位为毫米(mm)。

当机械系统无法使用最佳放大倍数时, $M$  应选择在保证机械安全及其他工艺参数允许条件下的最接近值。

### 8.3.2 采样点数和采样幅数要求

采样点数和采样幅数的设置应满足 6.2.1 的空间分辨率要求。

### 8.3.3 积分时间要求

积分时间的设置应满足 6.2.2 的对比度分辨率要求。

### 8.3.4 线阵探测器方式下切片参数的确定

8.3.4.1 切片厚度宜不大于焊缝验收允许最大缺欠尺寸。

8.3.4.2 切片数量应根据焊缝实际情况确定,相邻切片应完全连接,以保证覆盖焊缝需检测区域。对于对接焊缝根据焊缝实际宽度确定切片数量,对于端接焊缝根据焊接工艺要求或最小熔深要求确定,最少切片数量的确定如图 2 所示。

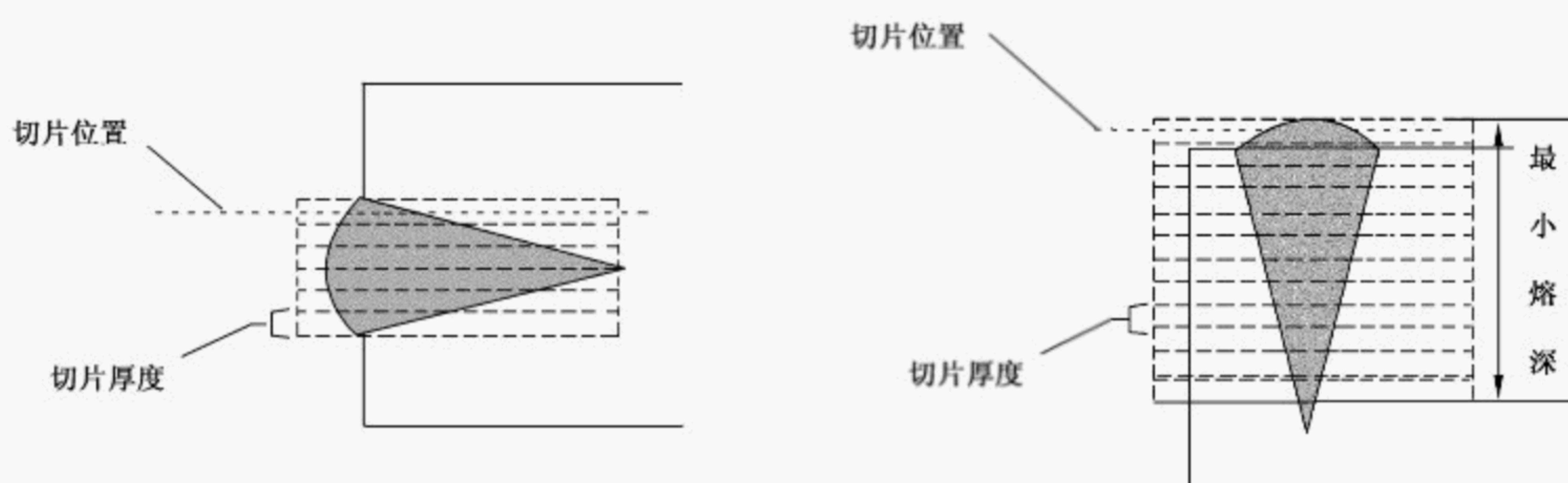


图2 最少切片数量的确定

8.3.4.3 切片位置宜采用 DR 图像上定位或直接测量确定。

#### 8.4 图像的重建、显示和处理

##### 8.4.1 图像重建

选用合适的数据滤波和图像重建方法。重建范围应大于焊缝部位最大尺寸。重建的 CT 图像应保证图像像素尺寸小于要求检出最小缺欠尺寸的二分之一。

##### 8.4.2 图像显示

根据需要,选取灰度、彩色、放大或二维、三维等图像显示方式,通过窗宽/窗位的调整,使得图像便于观察。

##### 8.4.3 图像处理

在不丢失图像缺欠信息条件下,可采用合适的图像处理方法进行图像处理,改善对比度和清晰度。

#### 8.5 其他

8.5.1 检测前,应针对焊接件编制检测工艺卡,工艺卡中一般应包括以下内容:工艺卡编号、产品名称、编号、材料牌号、检测方法、检测标准、设备型号、检测技术参数、检测部位示意图等。

8.5.2 检测前,应按检测系统说明书的要求对检测系统进行标定。

8.5.3 使用对比试样对比的方法验证检测工艺是否正确、检测系统是否稳定。

### 9 检测程序

9.1 将试样放置在转台上,使被检对接焊缝与转台平面水平,端接焊缝与转台平面垂直。

9.2 通过 DR 扫描图像或技术图纸等相关技术文件,确定焊缝位置,明确切片的起始位置。

9.3 使用与对比试样相同的检测条件对试样焊缝进行全覆盖检测,获取满足质量检测要求图像。伪像不能影响缺欠的识别和尺寸测量。

### 10 结果说明

#### 10.1 缺欠定性

10.1.1 根据 CT 图像细节特征的像素灰度值、形状、尺寸等情况对图像进行分析,部分典型缺欠的 CT

参考图片参见附录 D。

10.1.2 必要时结合电子束焊接件装配结构图,对 CT 图像进行分析。

10.1.3 电子束焊缝内部缺欠分类见 GB/T 22085.1、GB/T 22085.2 的规定。

10.1.4 对于线阵探测器 CT 系统,缺欠的定性需要通过相邻多层 CT 图像综合确定。

10.1.5 对于面阵三维 CT 系统,缺欠的定性应综合缺欠在三个视图上的形态和位置判断。

## 10.2 缺欠定量

10.2.1 利用设备提供的测量软件对缺欠进行测量。

10.2.2 测量时,选择缺欠最大方向测量。

10.2.3 对于小于射束宽度( $BW$ )值的小缺欠,应采用与对比试样测量结果对比的方法确定。

## 10.3 缺欠定位

10.3.1 缺欠按所处的位置分为表面缺欠、最小熔深范围内缺欠和最小熔深范围外缺欠。

10.3.2 缺欠区域覆盖最小熔深的,该缺欠属于最小熔深范围内缺欠。

## 10.4 缺欠评判

结合缺欠的性质、尺寸、位置等情况,按产品检测要求对图像进行评判。

# 11 检测报告

检测报告至少应包括如下内容:

- a) 本标准编号;
- b) 被检工件:名称、编号、材料牌号、检测数量;
- c) 检测设备;
- d) 检测条件;
- e) 检测日期;
- f) 检测结果;
- g) 检测人员。

附录 A  
(资料性附录)  
气孔类对比试样的制作

气孔类对比试样的制作如下：

- a) 对比试样材料应采用与被检产品射线吸收特性相同或相近的均匀材料制作。基本结构见图 A.1。
- b) 对比试样直径  $D$  应与被检产品尺寸一致。
- c) 对比试样厚度  $H > 1$  mm。
- d) 人工通孔的直径  $d$  一般应包含 0.20 mm、0.30 mm、0.40 mm、0.50 mm 几类尺寸,尺寸加工完成后需标定。

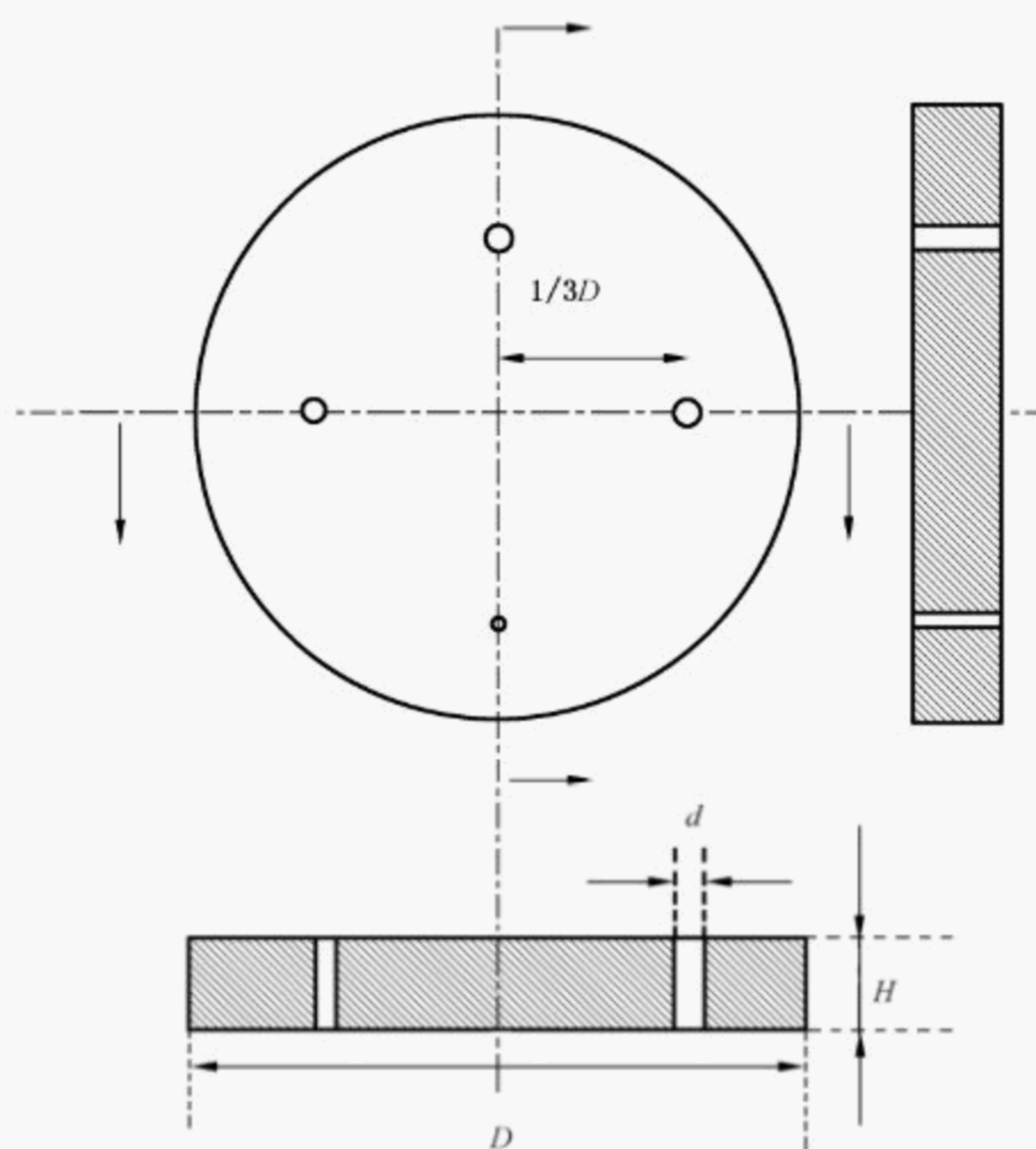


图 A.1 气孔类对比试样结构图

**附录 B**  
(资料性附录)  
**裂纹类对比试样的制作**

裂纹类对比试样的制作如下：

- a) 对比试样其基本结构见图 B.1。
- b) 基体部分应采用与被检产品射线吸收特性相同或相近的均匀材料制作，一般为圆柱形，采用机械手段沿中轴线将其分割成相同的两部分，一端加工出圆形槽用于放置阻隔块，在分割处以一端为 0 点标注刻度。阻隔块(钢)可以为圆形，尺寸依实际情况确定，一般直径比圆形槽大 0.5 mm~1.0 mm。调整支架(通常为聚丙烯或其他透明塑料)及两端紧固螺丝对基体和阻隔块进行固定。
- c) 人工裂纹的宽度可以通过测量或计算得到，按照刻度记录不同位置处的裂纹宽度，一般应包含 0.05 mm~0.20 mm 范围。
- d) 试块各部件的实际尺寸根据实际需要进行设计。

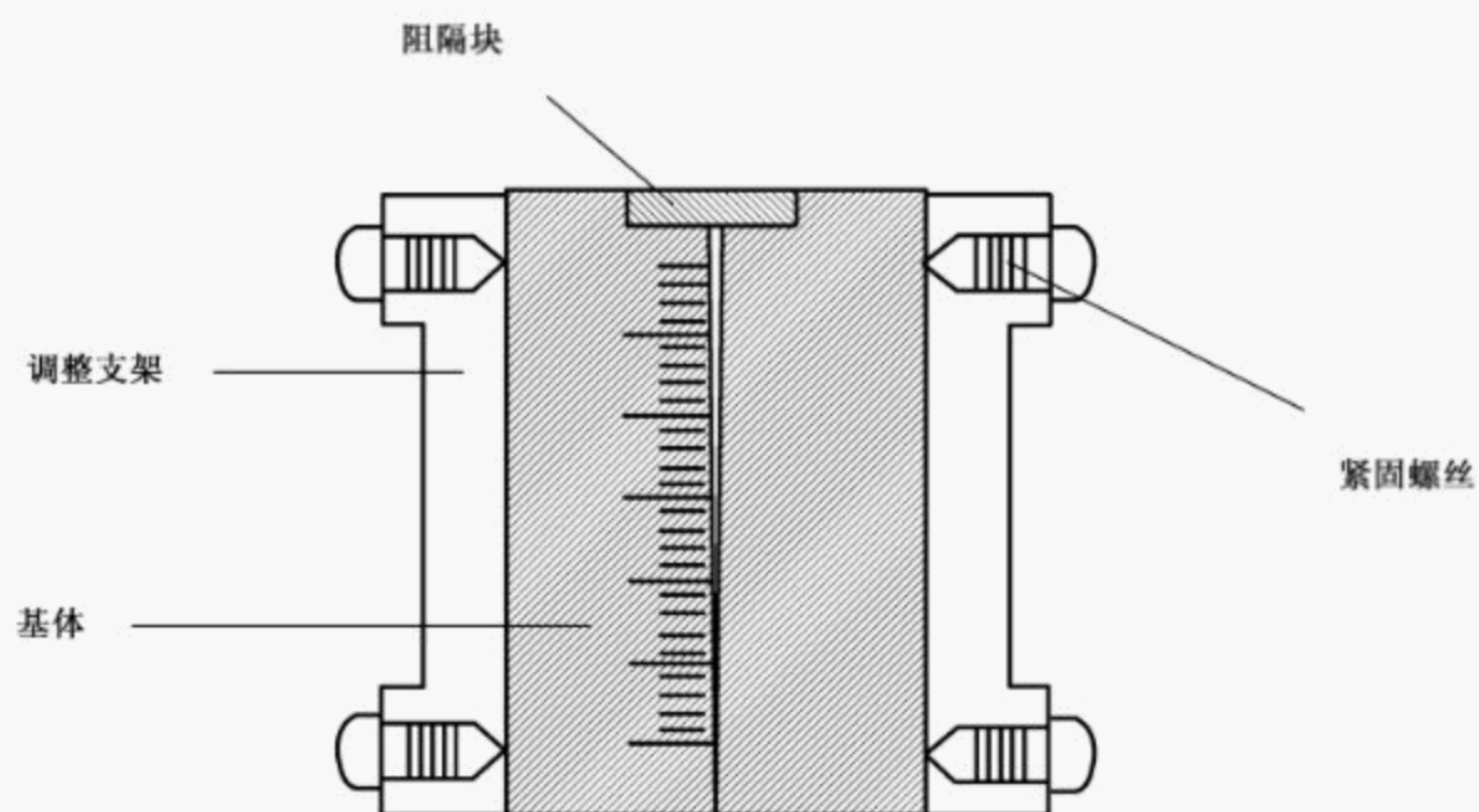


图 B.1 裂纹类对比试样结构图

附录 C  
(资料性附录)  
端接焊缝间隙对比试样的制作

端接焊缝间隙对比试样的制作如下：

- a) 对比试样其基本结构见图 C.1。
- b) 对比试样材料采用与被检产品射线吸收特性相同或相近的均匀材料制作。
- c) 对比试样直径  $D$  依据试样直径选择。

单位为毫米

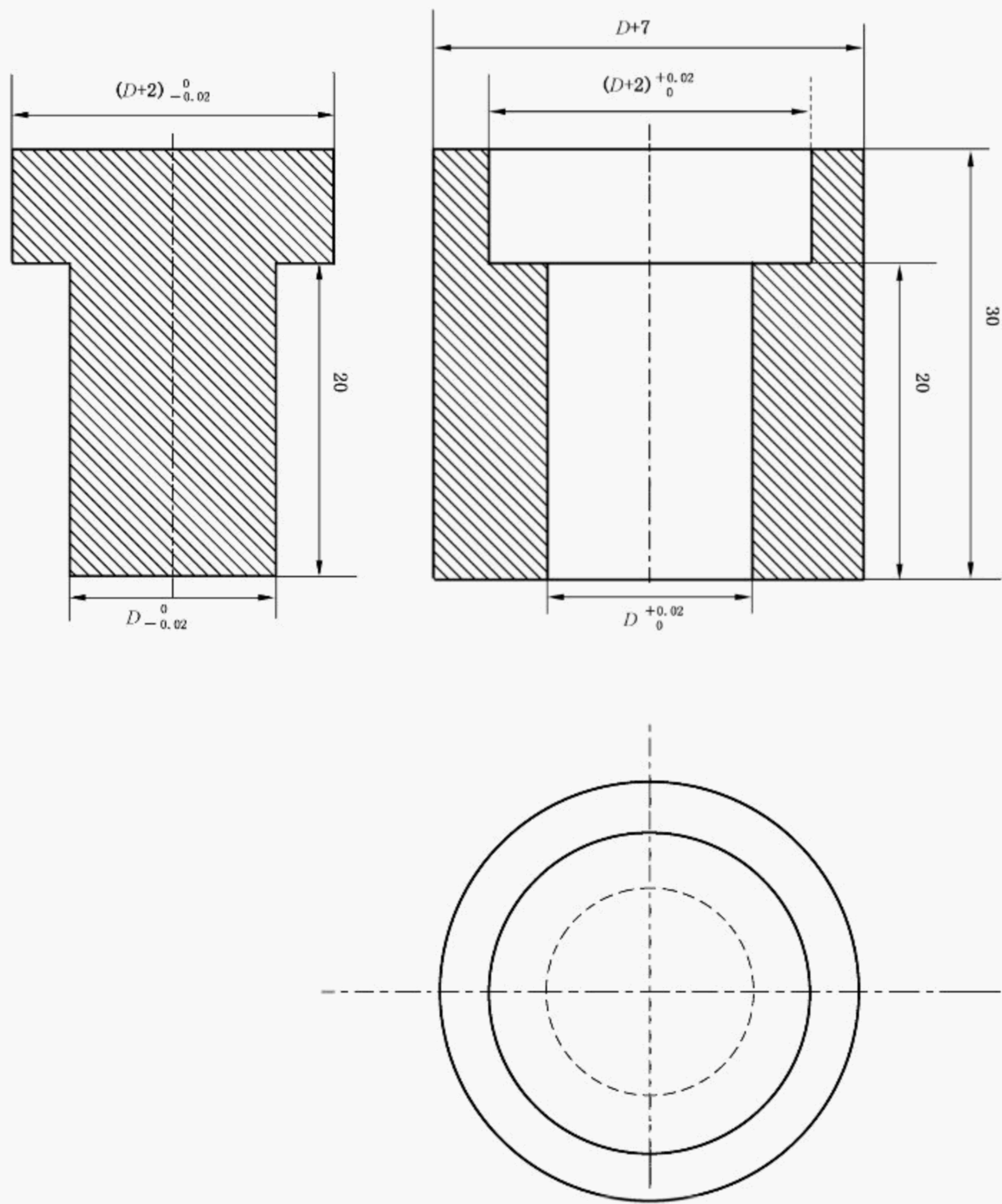
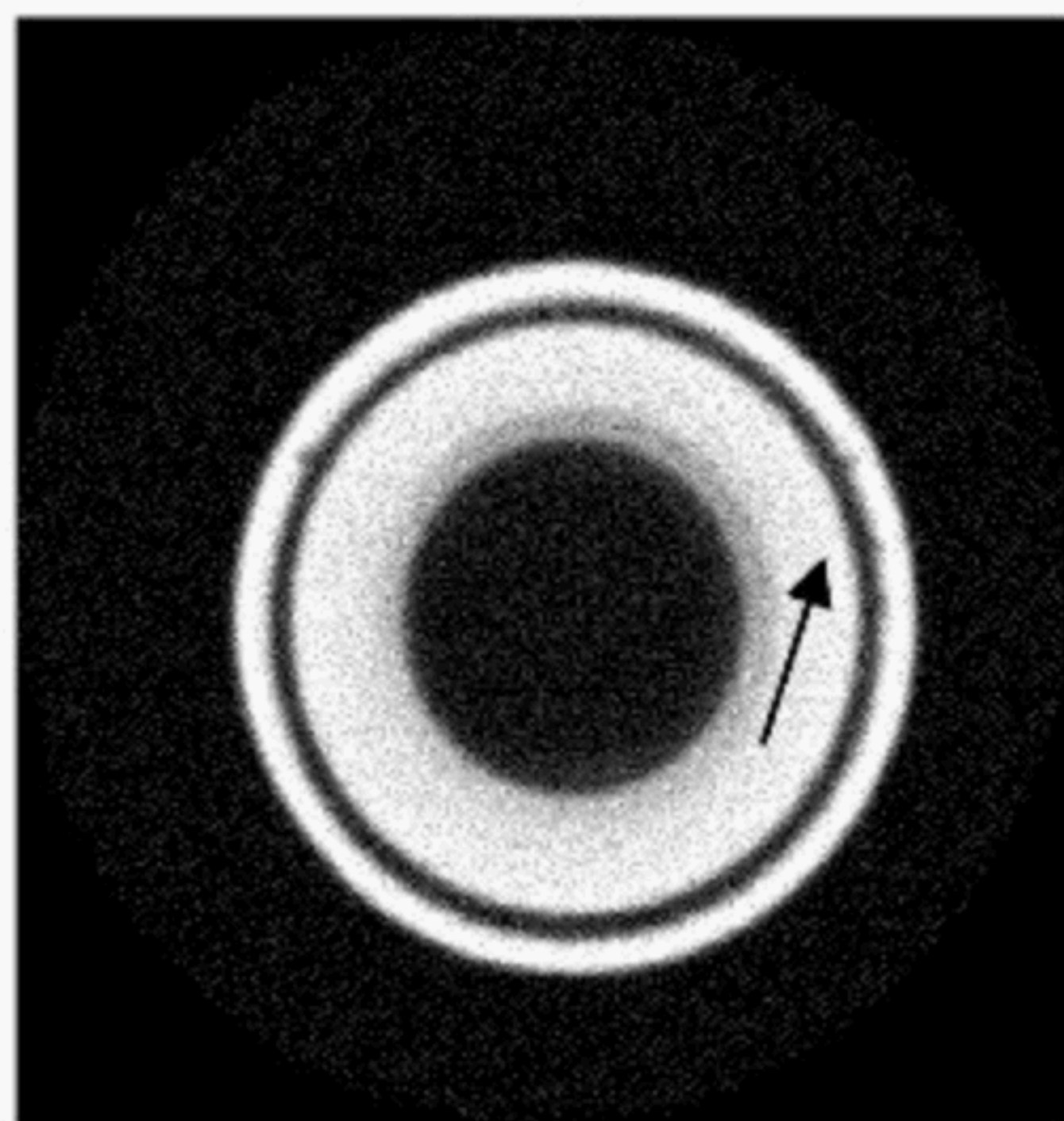


图 C.1 端接焊缝间隙对比试样结构图

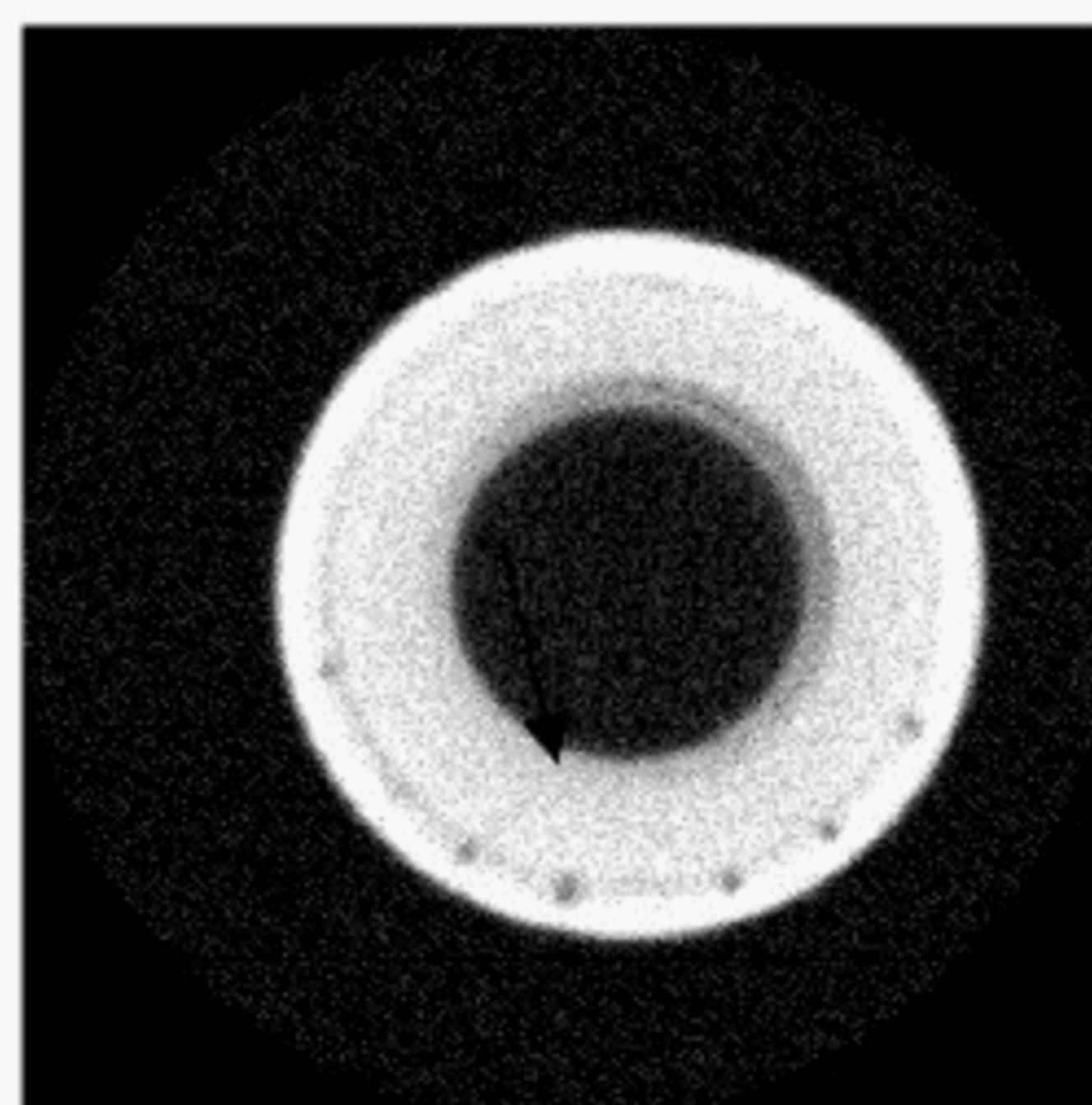
附录 D  
(资料性附录)

电子束焊缝内部缺欠的 CT 图片示例

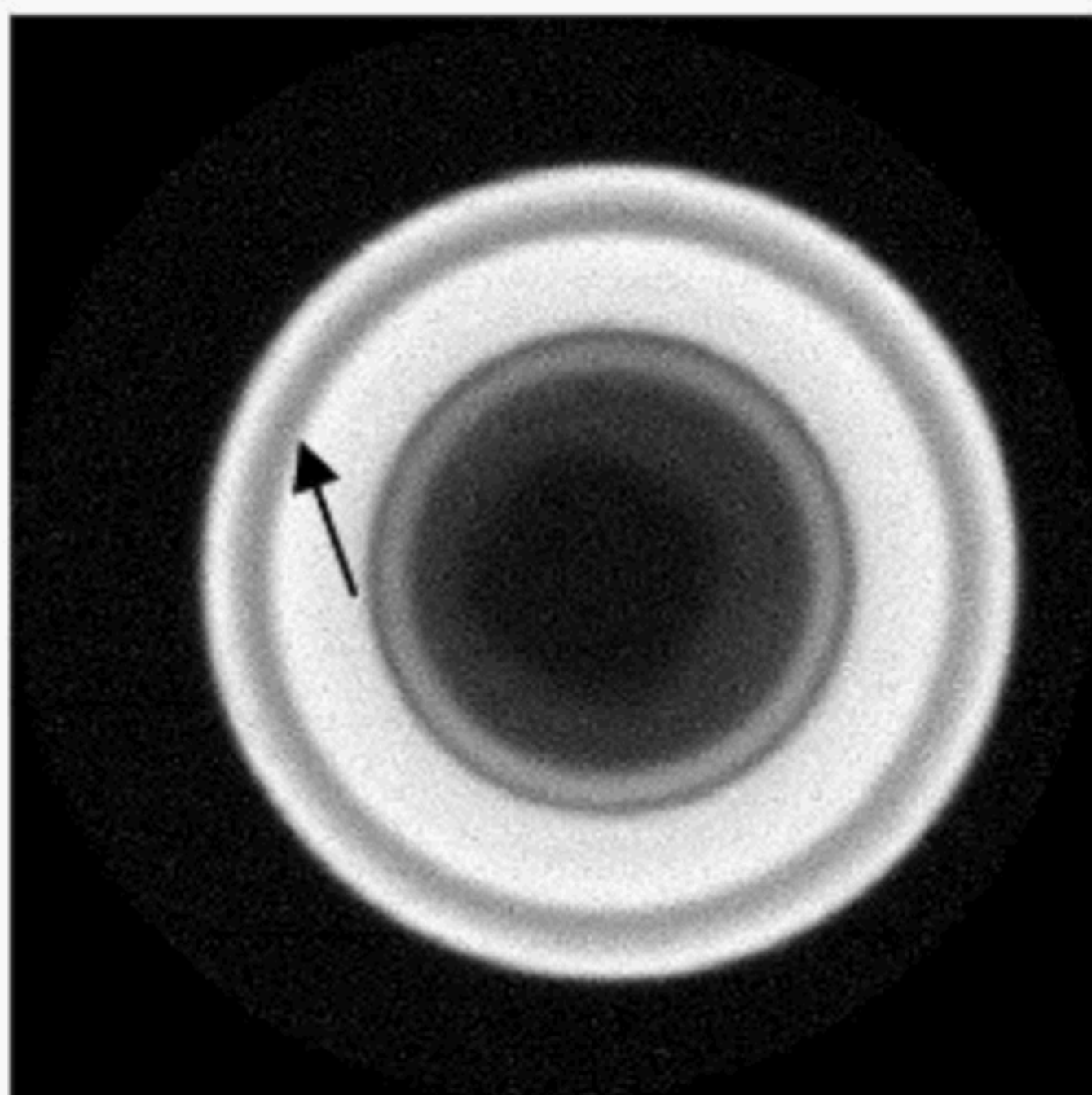
图 D.1 给出了电子束焊缝内部缺欠的 CT 图片示例。



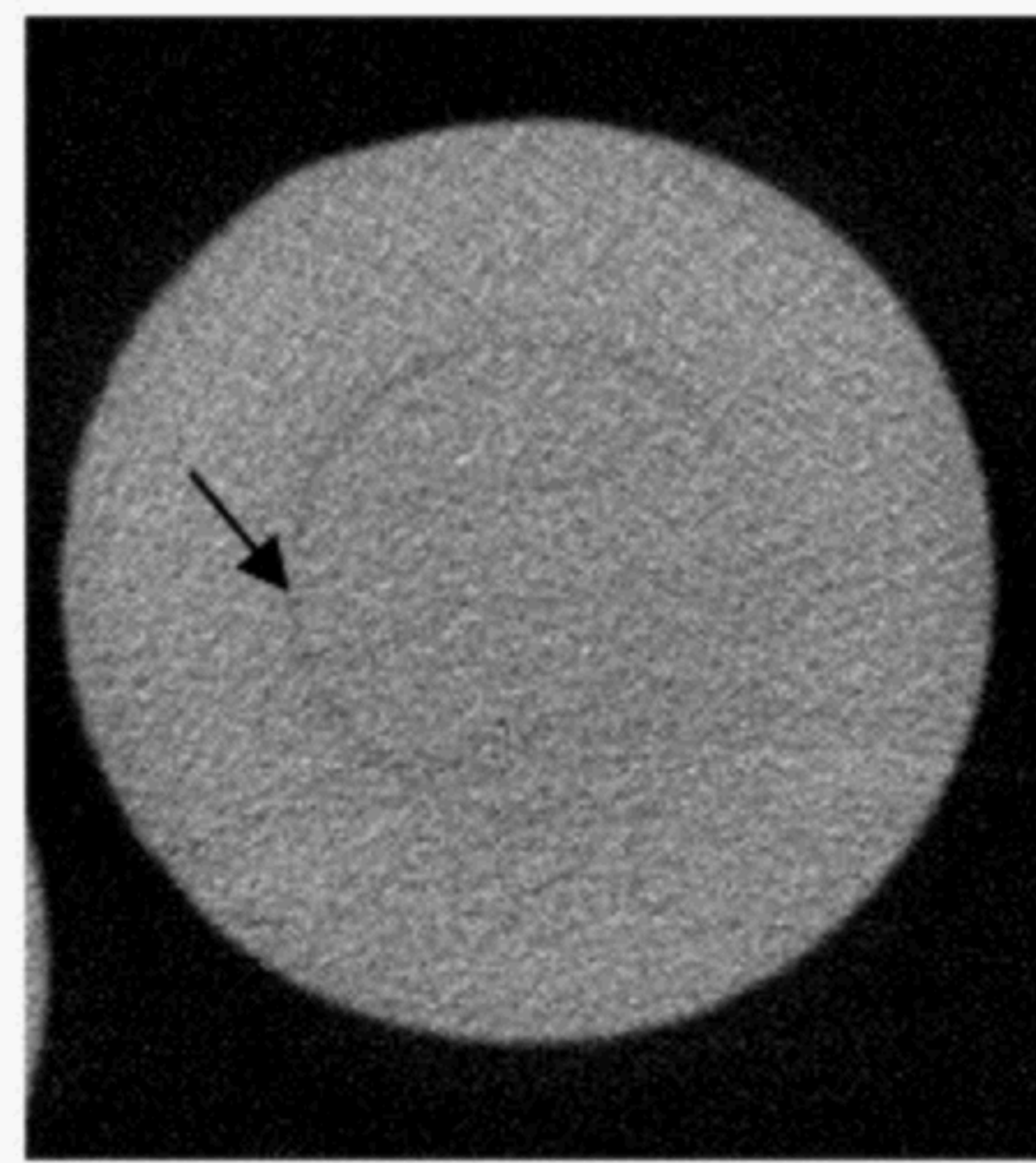
a) 30 mm 试样 4 处气孔  
400 kV X 射线源, 线阵探测器



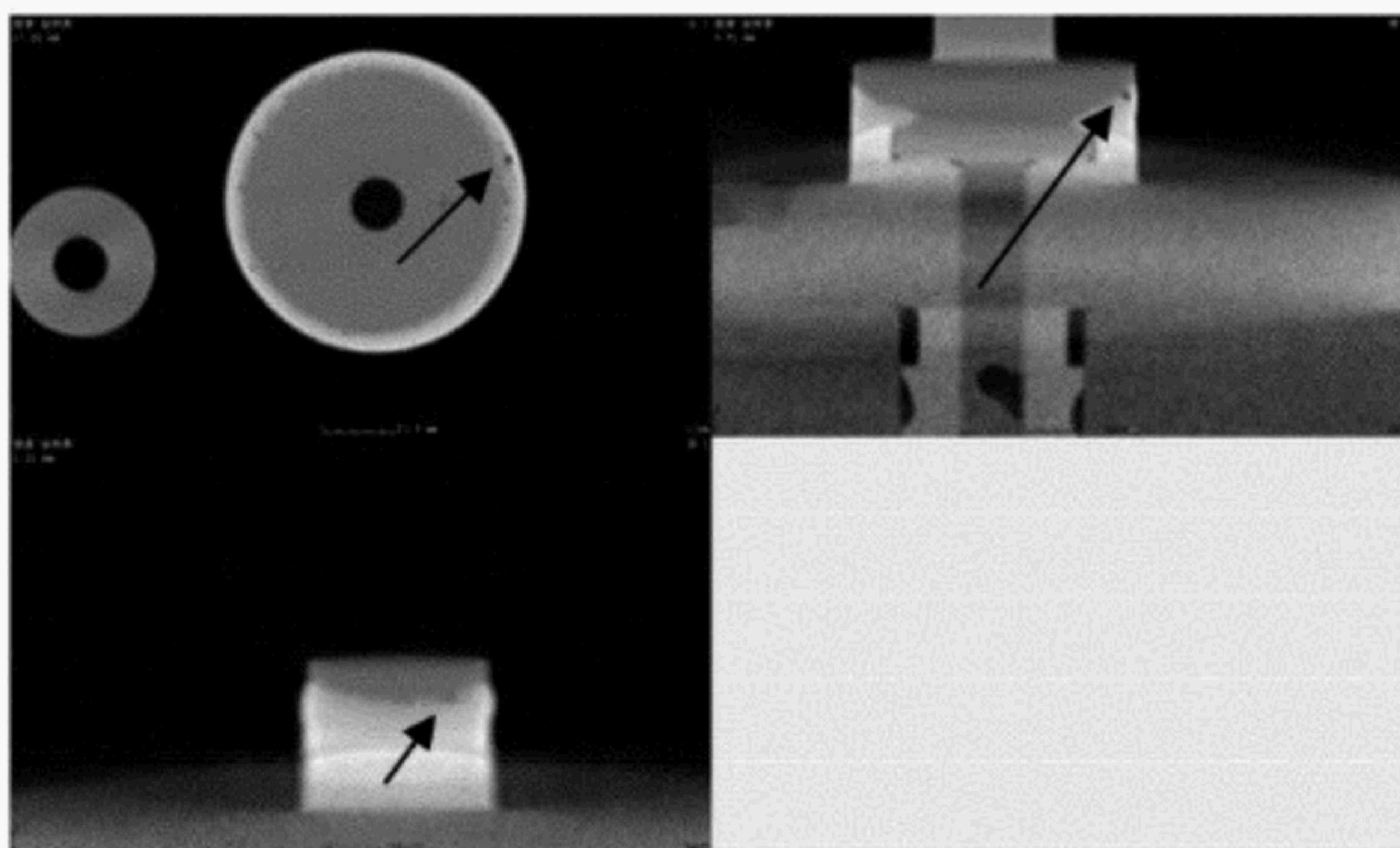
b) 30 mm 试样 7 处气孔  
400 kV X 射线源, 线阵探测器



c) 40 mm 试样 对接焊缝未焊透  
400 kV X 射线源, 线阵探测器



d) 110 mm 试样 端接焊缝裂纹  
6 MeV 加速器, 线阵探测器



e) 面阵探测器气孔 CT 图片示例

(以气孔为坐标中心, 三个方向的剖切视图)

图 D.1 电子束焊缝内部缺欠的 CT 图片示例

中 华 人 民 共 和 国  
国 家 标 准  
焊缝无损检测 电子束焊接接头  
工业计算机层析成像(CT)检测方法  
GB/T 36232—2018

\*

中国标准出版社出版发行  
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)  
北京市西城区三里河北街16号(100045)  
网址 [www.spc.net.cn](http://www.spc.net.cn)  
总编室:(010)68533533 发行中心:(010)51780238  
读者服务部:(010)68523946  
中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷  
各地新华书店经销

\*

开本 880×1230 1/16 印张 1 字数 22 千字  
2018年5月第一版 2018年5月第一次印刷

\*

书号: 155066 • 1-60242 定价 18.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换  
版权专有 侵权必究  
举报电话:(010)68510107



GB/T 36232-2018