

# 中华人民共和国国家标准

GB/T 44046—2024/ISO 24497-2:2020

## 无损检测 金属磁记忆 焊接接头检测

Non-destructive testing—Metalmagnetic memory—Inspection of welded joints

(ISO 24497-2:2020, Non-destructive testing—Metal magnetic memory—  
Part 2: Inspection of welded joints, IDT)

2024-05-28 发布

2024-05-28 实施

国家市场监督管理总局 发布  
国家标准化管理委员会



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 基本原则 ..... 1

5 检测对象 ..... 2

6 检测设备 ..... 2

7 检测准备 ..... 2

8 检测 ..... 2

9 检测结果 ..... 4

附录 A（资料性） 检测报告 ..... 6

附录 B（资料性） 表面磁场手动检测的示例 ..... 7

附录 C（资料性） 使用扫查器进行表面磁场检测的示例 ..... 10

参考文献 ..... 12



## 前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件等同采用 ISO 24497-2:2020《无损检测 金属磁记忆 第 2 部分：焊接接头检测》。

本文件做了下列最小限度的编辑性改动：

——更改标准名称为《无损检测 金属磁记忆 焊接接头检测》。

——增加了注(见 4.1、4.2)。

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。

本文件由中国机械工业联合会提出。

本文件由全国焊接标准化技术委员会(SAC/TC 55)归口。

本文件起草单位：国家能源集团科学技术研究院有限公司、上海材料研究有限公司、国能锅炉压力容器检验有限公司、宝鸡石油钢管有限责任公司、爱德森(厦门)电子有限公司、华北电力科学研究院有限责任公司、上海明华电力科技有限公司、江苏方天电力技术有限公司、国网浙江省电力有限公司电力科学研究院、郑州国电机械设计研究所有限公司、大唐锅炉压力容器检验中心有限公司、北京国电电科院检测科技有限公司、云南电力试验研究院(集团)有限公司、中国机械总院集团哈尔滨焊接研究所有限公司、抚顺市特种设备监督检验所、清华大学、河北亿海管道集团有限公司、成都市特种设备检验检测研究院、北京亚力特科技开发有限公司。

本文件主要起草人：胡先龙、孙丹、纳日苏、季昌国、丁杰、毕宗岳、林俊明、段鹏、马君鹏、赵洲峰、毛浓召、黄志强、倪满生、佟鑫、吴章勤、黄松岭、翟莲娜、苏金花、孙祥广、王春晓、彭丽莎、罗雄、马伟力。



# 无损检测 金属磁记忆 焊接接头检测

## 1 范围

本文件规定了为保证焊接接头质量采用无损检测(NDT)磁性检测方法的金属磁记忆(MMM)技术的通用要求。

本文件适用于经各方同意的各种类型铁磁性管道、容器、设备和金属结构产品的焊接接头检测。

## 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 26641—2021 无损检测 磁记忆检测 总体要求(ISO 24497-1:2020, IDT)

ISO 17635 焊缝无损检测 金属材料应用通则(Non-destructive testing of welds—General rules for metallic materials)

注: GB/T 34628—2017 焊缝无损检测 金属材料应用通则(ISO 17635:2016, IDT)

## 3 术语和定义

GB/T 26641—2021 界定的术语和定义适用于本文件。

## 4 基本原则

4.1 MMM 检测是基于测量和分析焊接接头表面磁场(SF)分布来反映焊接接头工艺特性的技术。例如,焊接过程中产生的剩余磁场强度是 SF 检测的主要信号源。

注: 表面磁场(SF)表示表面杂散磁场。

4.2 MMM 检测通过对表面磁场指示(SFI)检测,为容器、管道、设备和构件焊接接头的关键区域进行其他无损检测提供建议。

注: 表面磁场指示(SFI)表示表面杂散磁场指示。

4.3 MMM 检测适用于各种类型的铁磁性和亚稳态奥氏体的钢及其合金,以及铸铁上的任何尺寸和结构的焊接接头(对接、T 型、角接、搭接、端接、断续焊接等)。

注: 亚稳态奥氏体钢 SFI 的评价仅限于铁磁相。

4.4 MMM 检测能在建造后、在役中或修复后的焊接接头上进行。

4.5 MMM 检测能发现以下显示:

- 可能出现各种类型微观缺陷和宏观缺陷(气孔、夹渣、不连续、裂缝、断裂)的区域;
- 由焊接工艺引起的 SFI 和沿焊接接头的 SFI。

4.6 MMM 检测能用于以下焊接性能的检验:

- 因缺陷和缺陷的扩展导致的焊接质量下降;
- 焊接接头质量,用于焊接工艺的选择、评定及优化。

4.7 受检测人员和探头工作范围的条件限制,进行 MMM 检测的温度范围应在 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

4.8 在 MMM 检测后,应在 SFI 区域和可能存在微观缺陷和宏观缺陷的位置进行常规无损检测。无损检测方法的选择应符合 ISO 17635 的规定。

4.9 焊接接头局部 SF 的变化来源于焊接接头几何形状、焊接工艺和热影响区(HAZ)、焊缝金属(WM)和母材(PM)磁性能的改变。相关信息见参考文献[1]、[2]、[3]和 GB/T 26641—2021 的参考文献。

5 检测对象

检测对象(IO)的要求符合 GB/T 26641—2021 的规定。

6 检测设备

检测设备的要求符合 GB/T 26641—2021 的规定。

7 检测准备

检测准备的要求符合 GB/T 26641—2021 的规定。

8 检测

8.1 总则

MMM 技术的数学基础符合 GB/T 26641—2021 的规定。

8.2 手动检测

使用探头手动扫查典型焊接接头的顺序见图 1。

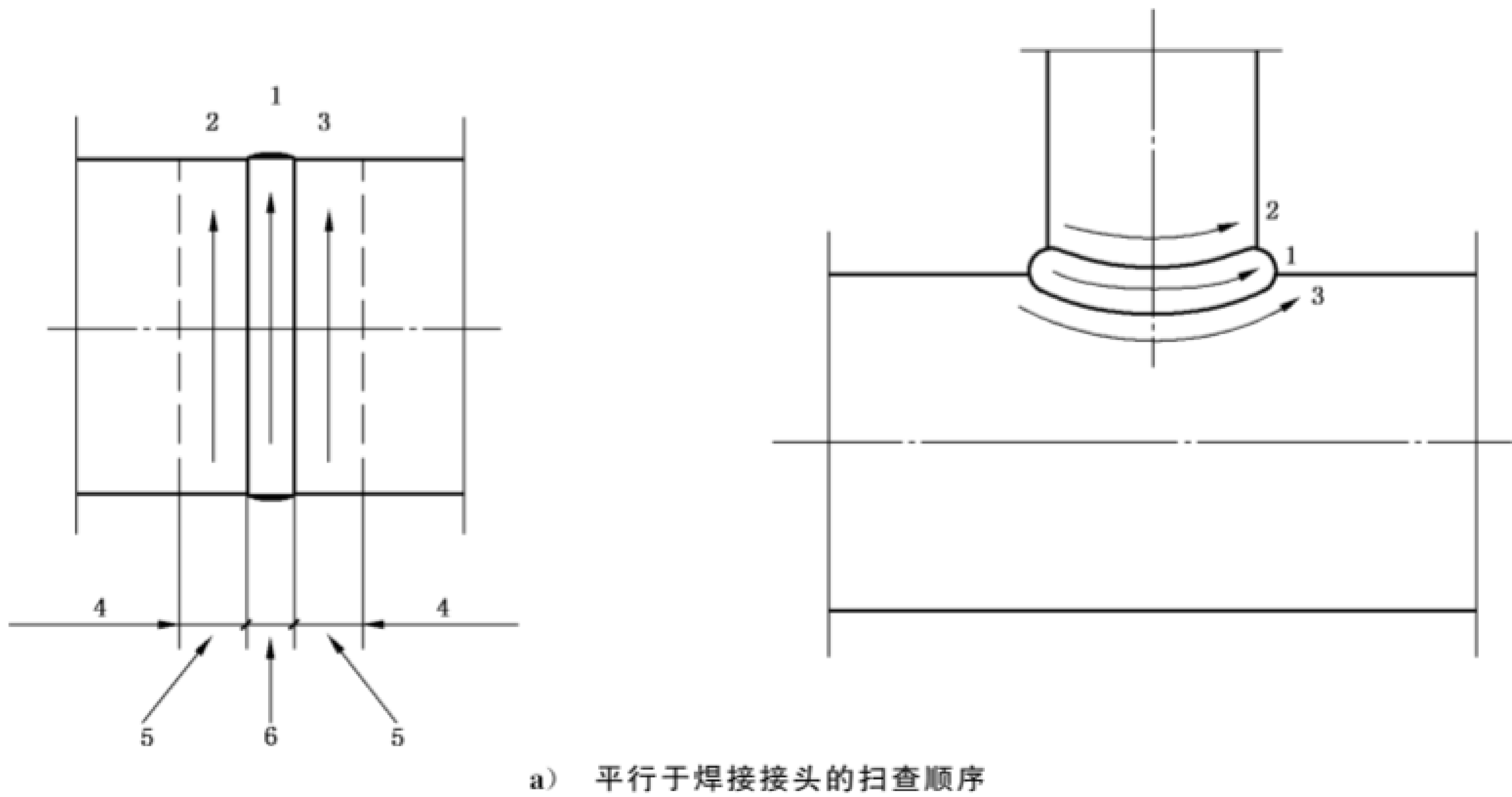
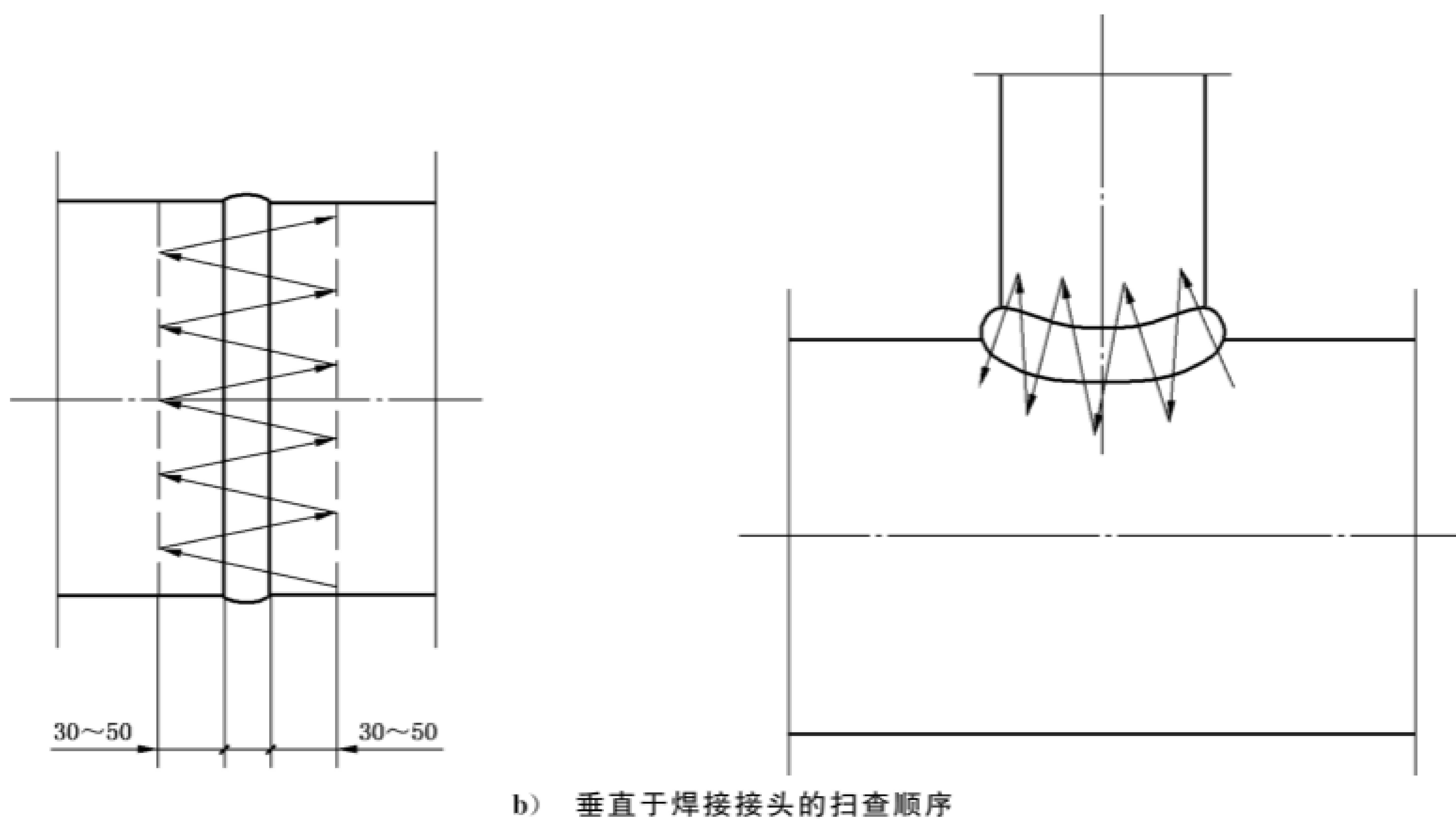


图 1 使用探头手动扫查焊接接头的顺序





标引序号说明：

1、2、3 —— 检测区；

4 —— 母材；

5 —— 焊接接头热影响区；

6 —— 焊缝；

30~50 —— 被检热影响区宽度数值，单位为毫米(mm)。

图 1 使用探头手动扫查焊接接头的顺序(续)

磁性探头(例如,磁通门探头)垂直放置在检测表面。检测人员按以下顺序手动扫查：

——首先,沿焊缝的长度方向(分别沿焊缝和焊缝两侧的热影响区)；

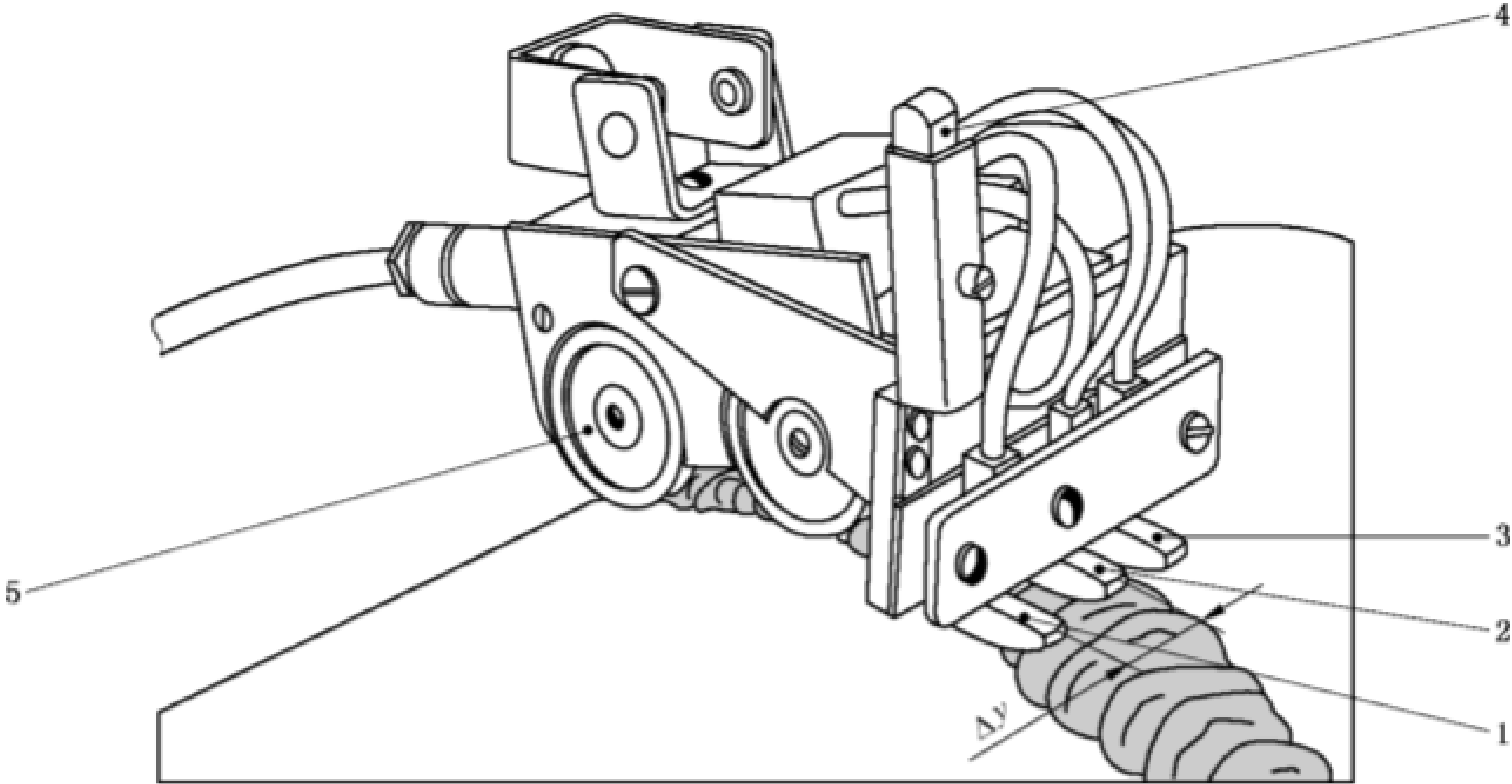
——然后,垂直于焊缝和距离焊缝边缘 30 mm~50 mm 的两侧母材区域,见图 1。

检测人员在原始记录中记录表面磁场指示的 SF 正负幅度[ $H_{SF,i}$ ,单位为安每米(A/m)]。 $H_{SF,i}$  方向和数值的不连续变化表示焊接接头特定区域沿  $H_{SF,i} = 0$  线的 SF 突变。应标记特定区域(如用粉笔或油漆)。

8.3 使用扫查器检测

对接焊接接头扫查器示例见图 2。检测使用 4 个磁通门探头 1~探头 4(或其他具有足够灵敏度的探头)和位置编码器组成的扫查器,探头安装在扫查器内。用于测量 SF 分量( $H_{SF,i}$ )和检测区的长度。在检测过程中,探头 1 和探头 3 从焊缝两侧对热影响区进行检测,探头 2 位于它们之间的中心,见图 2。探头 4 用于补偿外部磁场( $H_e$ )(配置梯度计时)。

在开始检测之前,应根据第 5 章设置  $H_{SF,i}$  测量的采样间距。沿测量线的采样间距不应大于焊缝厚度或相邻探头的间距。



标引序号说明：  
1、2、3——扫查器中检测焊接接头表面  $H_{SF}$  的磁通门探头；  
4 ——补偿外部磁场  $H_e$  的磁通门探头(可选)；  
5 ——位置编码器；  
 $\Delta y$  ——探头 1、探头 2 和探头 3 的间距。

图 2 检测对接焊接接头磁场梯度变化的四通道扫查器

应根据焊接接头的尺寸设置和记录相邻探头 1、探头 2 和探头 3 的间距  $\Delta y$ 。如果选择配置磁场梯度计进行测量(见图 2),应在检测报告中明确基线距离(探头 4 和探头 1 的间距)。

注：焊接接头具有较高的固有 SF 梯度。相邻探头之间的距离  $\Delta y$  和/或平行于焊接接头扫查时探头在  $y$  方向上位置的微小偏离都能导致  $K_{SF}$  发生较大改变。

9 检测结果

9.1 根据 MMM 检测结果,确定以下参数。

a) 每个测量通道的表面磁场梯度 ( $K_{SF,i}^x$ ) 按公式(1)计算：

$$K_{SF,i}^x = \frac{|\Delta H_{SF,i}|}{\Delta x} \dots\dots\dots (1)$$

式中：  
 $\Delta x$  ——相邻测量点的间距(采样间距)[按照 GB/T 26641—2021 中公式(3)计算]。

b) 测量线间的表面磁场梯度 ( $K_{SF,i}^y$ ) 按公式(2)计算。

$$K_{SF,i}^y = \frac{|\Delta H_{SF,i}|}{\Delta y} \dots\dots\dots (2)$$

式中：  
 $\Delta y$  ——扫查线间距。

- c) 按照 GB/T 26641—2021 中公式(4)计算中值  $K_{med,i}^j$  ,即每个测量线的中值和测量线之间基础距离的中值。
- d) 磁指数 ( $m_i^j$ ) [按照 GB/T 26641—2021 中公式(6)计算],描述了表面磁场(SF)分布的不均匀程度,取决于焊接接头质量：

$$m_i^j = \frac{K_{SF,i}^j}{K_{med,i}^j} \dots\dots\dots (3)$$

注：下标  $i$  表示磁场相对于检测对象(IO)的笛卡儿分量( $i = x, y, z$ )，其中  $z$  是表面法线，指数  $j$  表示在同一笛卡儿空间中梯度计算的方向( $j = x, y, z$ )。

9.2 磁指数( $m_i$ )高于阈值( $m_{\text{lim}}$ )的为 SFI 区域(见 GB/T 26641—2021)。SFI 区域可能存在焊接缺陷。

注：对于具有相同几何形状、材质和制造工艺生产的部件，根据其他无损检测方法或破坏性方法确定缺欠或工作极限  $m_{\text{lim}}$ 。除此以外， $m_{\text{lim}} = 1$  且  $K_{\text{SF},i} > K_{\text{med},i}$ 。

9.3 根据 MMM 检测结果，应采用其他无损检测方法或破坏性方法对 SFI 区域进行附加检测。

9.4 记录并总结测量结果。应保存原始记录。检测报告的示例见附录 A。

9.5 表面磁场手动检测的示例见附录 B。

9.6 使用扫查器的检测结果示例见附录 C。 $K_{\text{med},i}^j$ 、 $K_{\text{SF},i}$  和  $m_i$  按 GB/T 26641—2021 的第 8 章计算。

附 录 A  
(资料性)  
检 测 报 告

| 委托单位：           |                           |                                 |                    |               |               |         |      |                                 |    |
|-----------------|---------------------------|---------------------------------|--------------------|---------------|---------------|---------|------|---------------------------------|----|
| 设备名称、型号、序列号：    |                           |                                 |                    |               |               |         |      |                                 |    |
| 原始记录、图、方案的编号：   |                           |                                 |                    |               |               |         |      |                                 |    |
| 委托编号：           |                           |                                 |                    |               |               |         |      |                                 |    |
| 检测对象名称及数量：      |                           |                                 |                    |               |               |         |      |                                 |    |
| 检测工艺规程名称和编号：    |                           |                                 |                    |               |               |         |      |                                 |    |
| 检测数据            |                           |                                 |                    |               |               |         |      |                                 |    |
| 序号              | 焊接接头中<br>SFI 的位置<br>(示意图) | $H_{SF,i}$ 的极值<br>(最小值/<br>最大值) | 检测参数               |               |               |         |      | 其他方法的<br>检测结果<br>(破坏性或<br>无损检测) | 备注 |
|                 |                           |                                 | SFI 的 $K_{SF,i}^j$ | $K_{max,i}^j$ | $K_{med,i}^j$ | $m_i^j$ | 探头提离 |                                 |    |
|                 |                           |                                 |                    |               |               |         |      |                                 |    |
|                 |                           |                                 |                    |               |               |         |      |                                 |    |
|                 |                           |                                 |                    |               |               |         |      |                                 |    |
| SFI 检测区域：       |                           |                                 |                    |               |               |         |      |                                 |    |
| 结论：             |                           |                                 |                    |               |               |         |      |                                 |    |
| 其他检测和返修：        |                           |                                 |                    |               |               |         |      |                                 |    |
| 检测人员(职位、姓名和签名)： |                           |                                 |                    |               |               |         |      |                                 |    |
| 证书编号及检测人员资格：    |                           |                                 |                    |               |               |         |      |                                 |    |
| 检测日期：           |                           |                                 |                    |               |               |         |      |                                 |    |

附录 B  
(资料性)

表面磁场手动检测的示例

本示例描述了对接焊接接头的手动检测。根据图 1 a) 所示的检测顺序,沿热影响区(HAZ)[(见图 B.1 a)中的线 1]进行 MMM 检测。例如,  $H_{SF,z}$  沿对接焊接接头长度方向热影响区和表面磁场指示区域分布,如图 B.1 b) 所示[SF 线 b, 存在  $H_{SF,z} = 0$  交叉点]。在图 B.1 b) 中,标记了点 1~点 6。在这些点 1~点 6 中检测到  $H_{SF,z}$  方向多次变化并存在过零值点( $H_{SF,z} = 0$ )。图中这部分是 SFI 区域。在沿焊缝热影响区扫查过程中,  $H_{SF,z}$  方向( $H_{SF,z} = 0$  交叉)会在 SF 线(7)与  $H_{SF,z} = 0$  线(8)交叉位置发生多次变化,见图 B.1 c)。

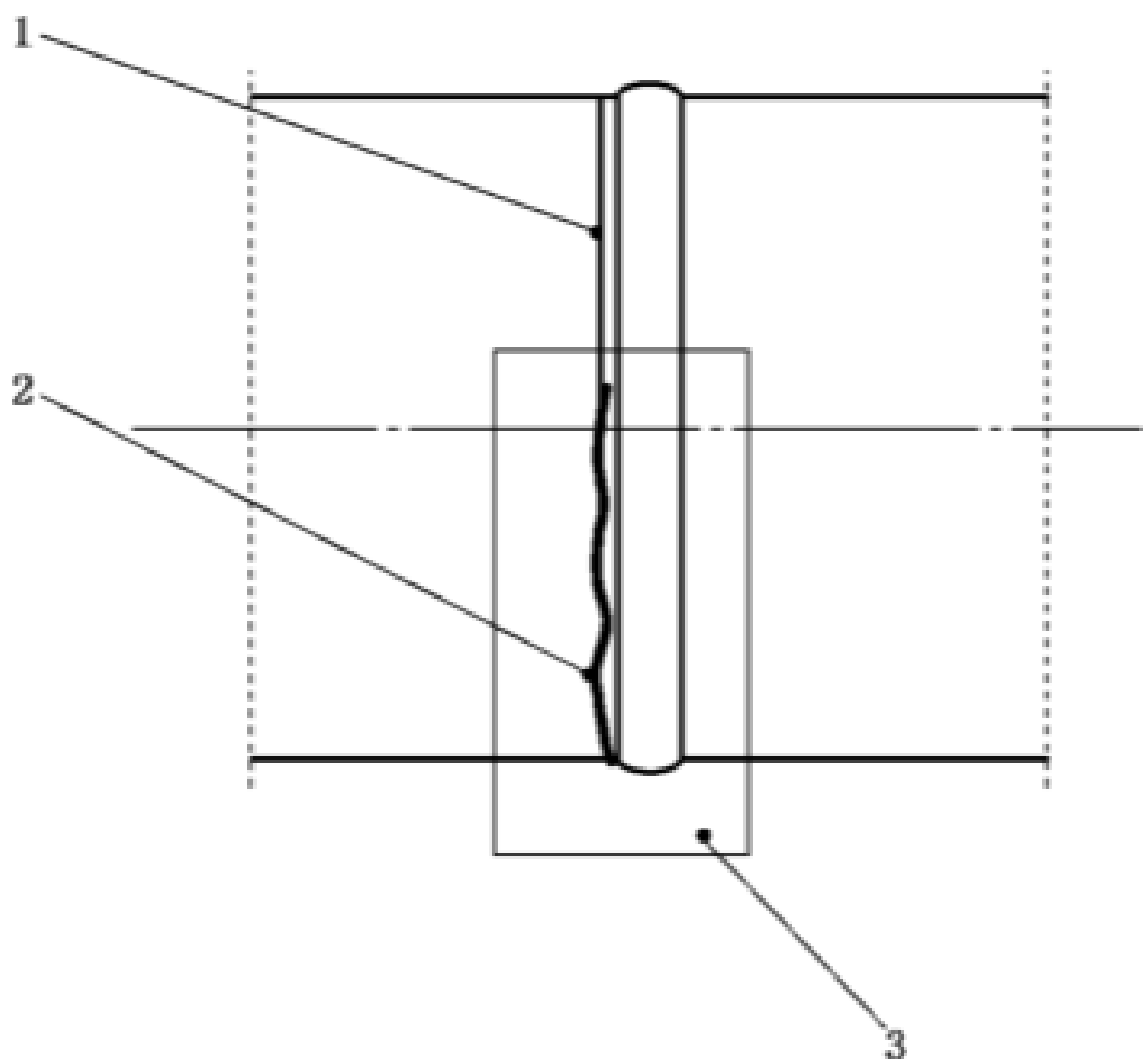
定义 SF 线附近的表面磁场指示( $H_{SF,z} = 0$  线),在线的两侧等长  $\Delta y$  上[见图 B.1 d)]测量  $H_{SF,z}$ , 并确定  $H_{SF,z}$  沿长度  $\Delta y$  的梯度值。根据 GB/T 26641—2021 中公式(3),  $|\Delta H_{SF,z}|/2\Delta y$  表征磁场梯度  $K_{SF,z}^y$ 。

例如,对于焊接接头的区域,见图 B.1 c),点 1 和点 2 的  $K_{SF,z}^y$  值[见图 B.1 d)]如下所示:

——点 1:  $K_{SF,z}^y = \frac{|15 - (-10)|}{2\Delta y} \text{ A}/(\text{m} \cdot \text{mm}) = \frac{25 \text{ A}/\text{m}}{20 \text{ mm}} = 1.25 \frac{\text{A}/\text{m}}{\text{mm}} = 1\,250 \text{ A}/\text{m}^2$

——点 2:  $K_{SF,z}^y = \frac{|15 - (-30)|}{2\Delta y} \text{ A}/(\text{m} \cdot \text{mm}) = \frac{45 \text{ A}/\text{m}}{20 \text{ mm}} = 2.25 \frac{\text{A}/\text{m}}{\text{mm}} = 2\,250 \text{ A}/\text{m}^2$

因此,  $K_{SF,z}^y$  的最大值在点 2 中。

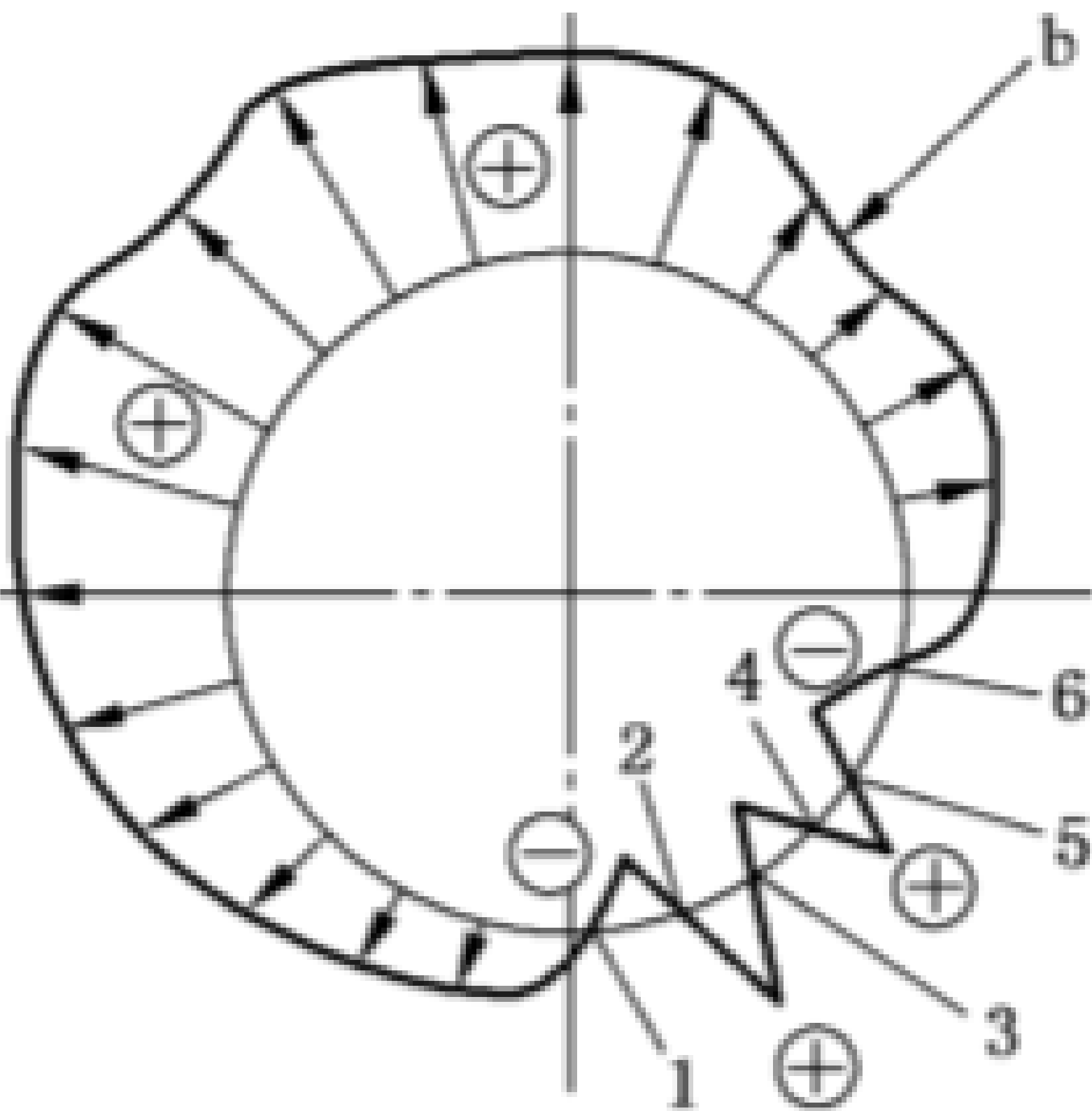


a) 检测到的 SF 线( $H_{SF,z} = 0$  线)的定位和检测方案

标引序号说明:

- 1——沿焊缝 HAZ 扫查线;
- 2——  $H_{SF,z} = 0$  线;
- 3——SFI, 见图 B.1 c)。

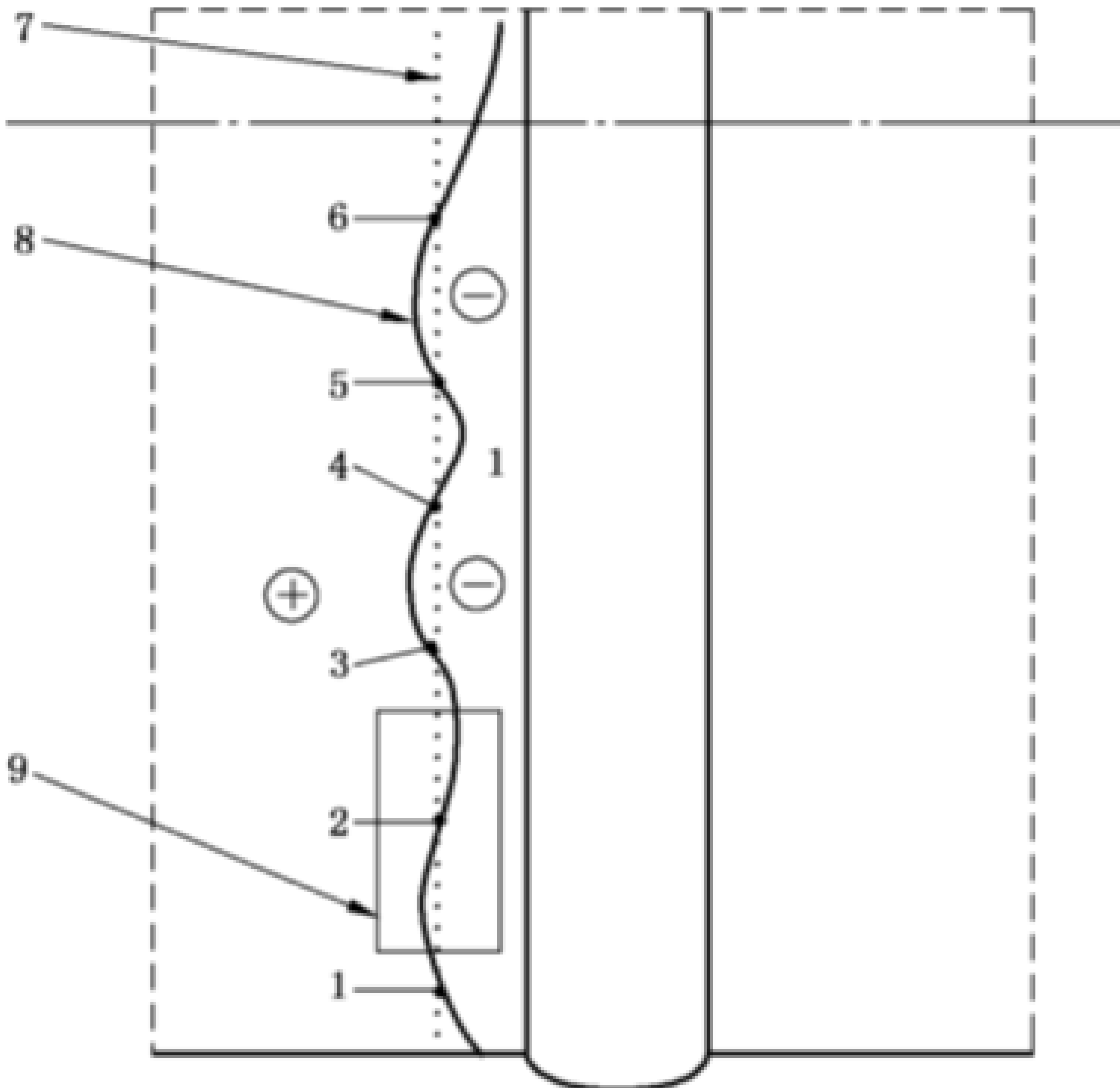
图 B.1 沿对接焊接接头周向表面磁场指示区域  $H_{SF,z}$  分布的示例



b) 沿对接焊接接头 HAZ 的 $H_{SF,z}$ 周向分布横截面显示

标引符号说明：

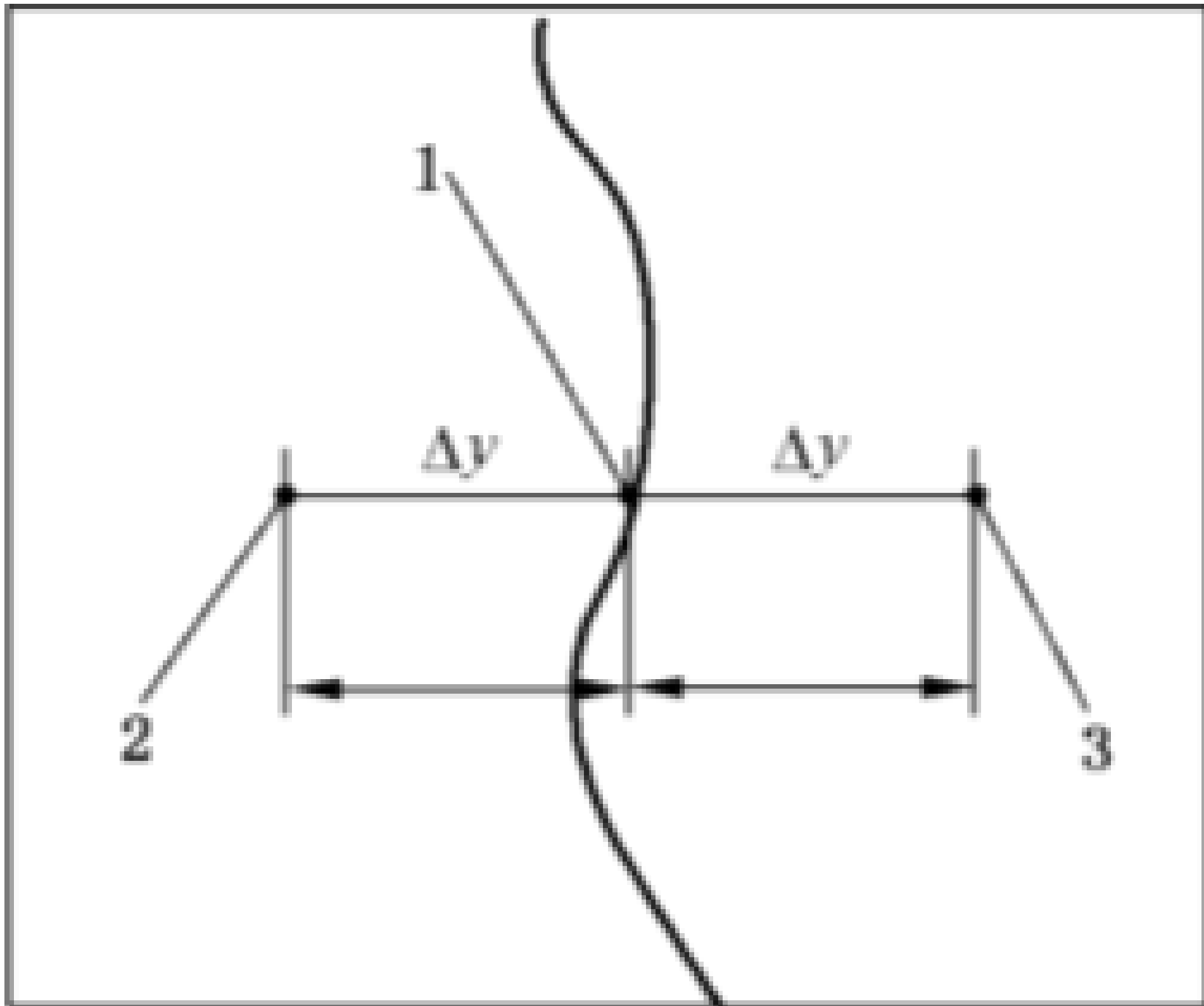
- b ——  $H_{SF,z}$  的周向分布；
- 1~6 —— 沿焊缝 HAZ 扫查时， $H_{SF,z} = 0$  线的交点。



c) 图 B.1 a) 中 SFI 的详细视图——沿焊缝 HAZ 扫查时，SF 线( $H_{SF,z} = 0$  线)的交点 1~交点 6 的位置

- 标引序号说明：
- 1~6 —— 沿焊缝热影响区扫查时， $H_{SF,z} = 0$  线的交点；
  - 7 —— 沿焊缝 HAZ 的扫查线；
  - 8 ——  $H_{SF,z} = 0$  线；
  - 9 —— 见图 B.1 d)。

图 B.1 沿对接焊接接头周向表面磁场指示区域 $H_{SF,z}$ 分布的示例（续）



d) 图 B.1 c) 中区域 9 的详细视图——梯度 $K_{SF,z}^I$  计算的现场 $H_{SF,z}$  检测方案

标引符号说明：

- 1 ——图 B.1 b)和图 B.1 c)中 $H_{SF,z} = 0$  线的交点 2；
- 2 ——现场测量点 $H_{SF,z} = 30\text{ A/m}$ ；
- 3 ——现场测量点 $H_{SF,z} = 15\text{ A/m}$ ；
- $\Delta y$  ——现场 $H_{SF,z}$  测量点与 $H_{SF,z} = 0$  线的间距( $\Delta y = 10\text{ mm}$ )。

图 B.1 沿对接焊接接头周向表面磁场指示区域 $H_{SF,z}$  分布的示例（续）

## 附录 C

(资料性)

## 使用扫查器进行表面磁场检测的示例

本示例为发电厂厚壁锅炉汽包(外径为 1 800 mm、壁厚为 87 mm,低合金高温耐热钢)的环向焊接接头检测。

按图 2 进行 MMM 检测的结果见图 C.1。

沿焊缝两侧热影响区(HAZ)的 $H_{SF,z}$ (IO 的法向分量)的周向( $x$ -)分布如图 C.1 a)所示。SFI 用(3)表示,在这个区域 $H_{SF,z}$ 存在最大幅度的变化极性。图 C.1 b)底部显示了计算得出的绝对值 $K_{SF,z}^x = |dH_{SF,z}/dx|$ 的分布。两个图中 $K_{SF,z}^x$ 的最大值如下:

$$\max(K_{1,SF,z}^x) = 3\,500 \text{ A/m}^2$$

$$\max(K_{2,SF,z}^x) = 6\,200 \text{ A/m}^2$$

$$\max(K_{b,SF,z}^y) = 3\,500 \text{ A/m}^2$$

$\max(K_{b,SF,z}^y) = 3\,500 \text{ A/m}^2$ 是通过计算测量线 1 和测量线 2(图 C.1 中未显示)之间的梯度 $dH_{SF,z}/dy$ 后所得的 SFI。表面磁场平均梯度 $K_{1,med,z}^x$ 、 $K_{2,med,z}^x$ 和 $K_{b,med,z}^y$ 为:

$$K_{1,med,z}^x = \text{median}(K_{1,SF,z}^x) = \text{median}\left\{\frac{|\Delta H_{1,SF,z}|}{\Delta x}\right\} = 2\,350 \text{ A/m}^2$$

$$K_{2,med,z}^x = \text{median}(K_{2,SF,z}^x) = \text{median}\left\{\frac{|\Delta H_{2,SF,z}|}{\Delta x}\right\} = 3\,400 \text{ A/m}^2$$

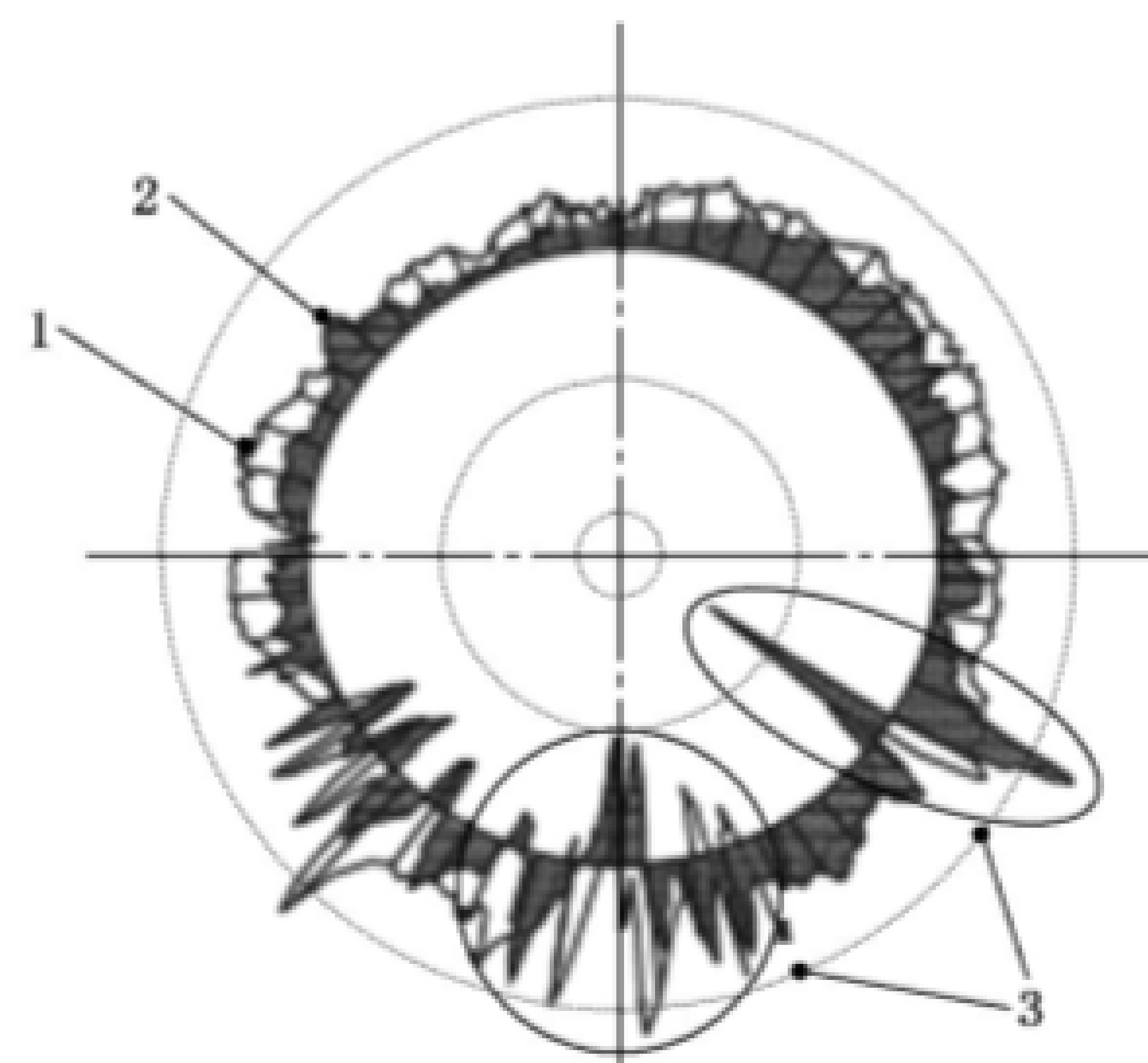
$$K_{b,med,z}^y = \text{median}(K_{b,SF,z}^y) = \text{median}\left\{\frac{|\Delta H_{b,SF,z}|}{\Delta y}\right\} = 1\,700 \text{ A/m}^2$$

$K_{1,med}$ 、 $K_{2,med}$ 用图 C.1 b)中的阈值线 8 和阈值线 9 标记。因此,3 个最大 SFI 的磁指数 $m_{K,z}^j$ 为:

$$m_{1,z}^x = \frac{\max(K_{1,SF,z}^x)}{K_{1,med,z}^x} = \frac{3\,500}{2\,350} \approx 1.5$$

$$m_{2,z}^x = \frac{\max(K_{2,SF,z}^x)}{K_{2,med,z}^x} = \frac{6\,200}{3\,400} \approx 1.85$$

$$m_{b,z}^y = \frac{\max(K_{b,SF,z}^y)}{K_{b,med,z}^y} = \frac{3\,500}{1\,700} \approx 2.1$$



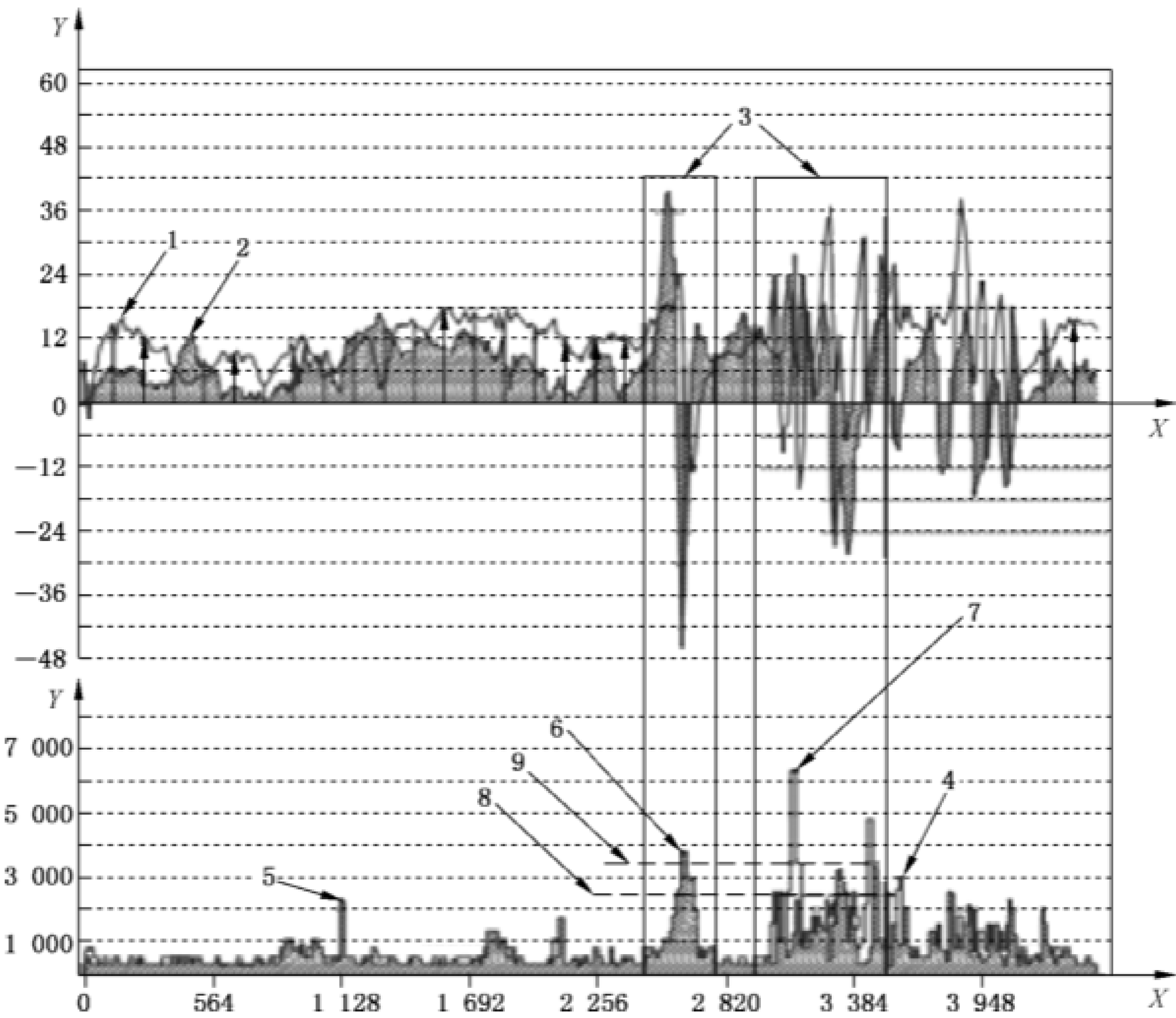
a) 沿焊缝两侧热影响区周向 $H_{SF,z}$ 分布

图 C.1 沿锅炉汽包焊接接头的 $H_{SF,z}$ 分布



标引序号说明：

- 1——1 号测量线 $H_{SF,z}$  分布(虚线),单位为安每米(A/m)；
- 2——2 号测量线 $H_{SF,z}$  分布(实线),单位为安每米(A/m)；
- 3——表面磁场指示区域。



b) 按 a) 扫描的 $H_{SF,z}$  分布

标引序号说明：

- 1——1 号测量线 $H_{SF,z}$  分布(虚线),单位为安每米(A/m)；
- 2——2 号测量线 $H_{SF,z}$  分布(实线),单位为安每米(A/m)；
- 3——表面磁场指示区域；
- 4——1 号测量线 $K_{SF,z}^x = |dH_{SF,z}/dx|$  图(虚线),单位为安每平方米(A/m<sup>2</sup>)；
- 5——2 号测量线 $K_{SF,z}^x = |dH_{SF,z}/dx|$  图(实线),单位为安每平方米(A/m<sup>2</sup>)；
- 6—— $\max(K_{b,SF,z}^y) = 3\,500\text{ A/m}^2$ ；
- 7—— $\max(K_{2,SF,z}^x) = 6\,200\text{ A/m}^2$ ；
- 8—— $K_{1,med,z}^x = \text{median}(K_{1,SF,z}^x) = \text{median}\left\{\frac{|\Delta H_{1,SF,z}|}{\Delta x}\right\} = 2\,350\text{ A/m}^2$
- 9—— $K_{2,med,z}^x = \text{median}(K_{2,SF,z}^x) = \text{median}\left\{\frac{|\Delta H_{2,SF,z}|}{\Delta x}\right\} = 3\,400\text{ A/m}^2$
- X——圆周位置,单位为毫米(mm)。

图 C.1 沿锅炉汽包焊接接头的 $H_{SF,z}$  分布 (续)

参 考 文 献

[1] DUBOV A, DUBOV Al A, Kolokolnikov S.M.: Method of metal magnetic memory (MMM) and inspection instruments. Training handbook., International Institute of Welding, IIW Document No: V-1347-06, Moscow 2006.

[2] THOMPSON S, TANNER B, The magnetic properties of specially prepared pearlitic steels of varying carbon content as a function of plastic deformation. J. Magn. Magn. Mater. 1994, 132 pp. 71-88. Available at: [http://dx.doi.org/10.1016/0304-8853\(94\)90302-6](http://dx.doi.org/10.1016/0304-8853(94)90302-6).

[3] DUBOV A. Diagnostics of boiler tubes using the metal magnetic memory. Energoatomizdat, Moscow, 1995, 112 p.

---



中 华 人 民 共 和 国  
国 家 标 准

无损检测 金属磁记忆 焊接接头检测

GB/T 44046—2024/ISO 24497-2:2020

\*

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

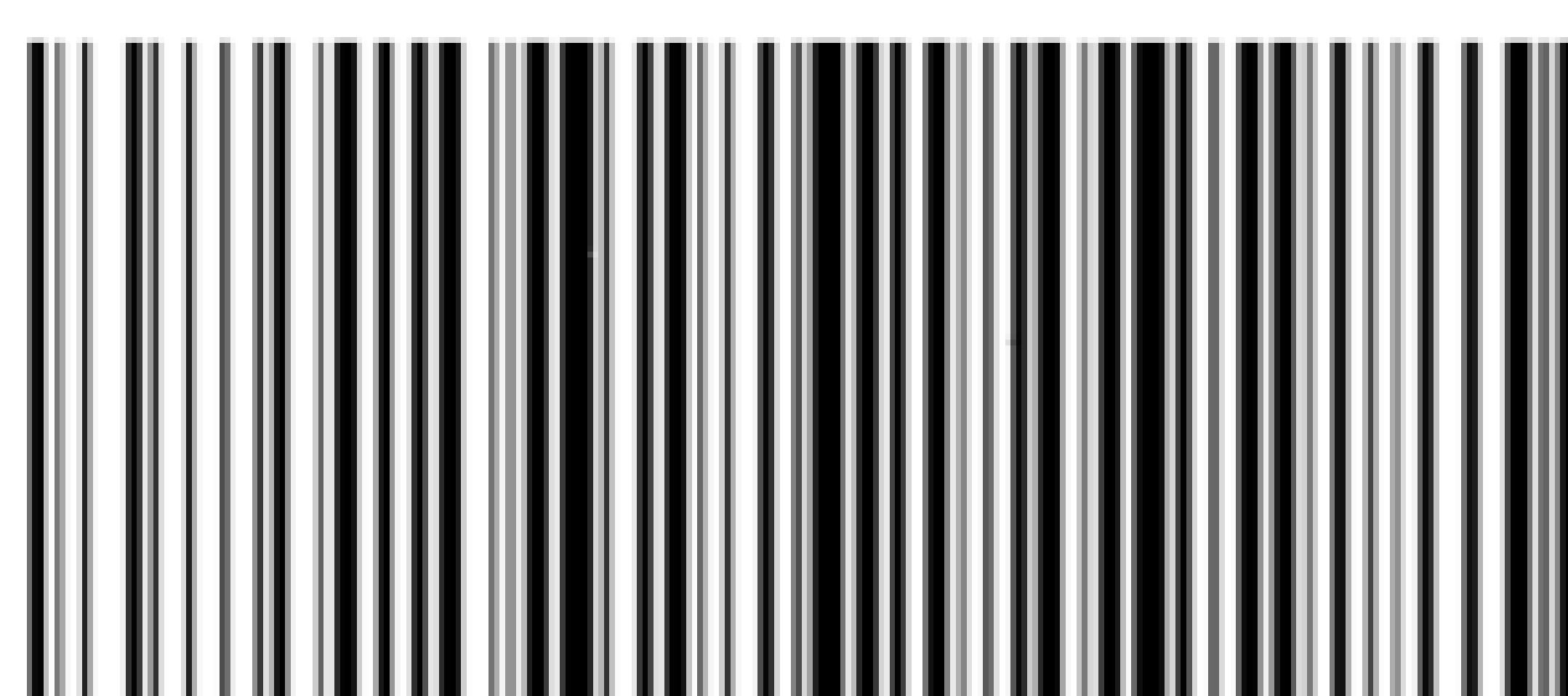
服务热线:400-168-0010

2024年5月第一版

\*

书号:155066·1-76045

版权专有 侵权必究



GB/T 44046-2024

[www.bzxz.net](http://www.bzxz.net)

免费标准下载网