

金属结构交流电磁场检测技术规程

Technical code of alternating current field measurement (ACFM) technique for metal structures

2023-04-16 发布

2023-05-16 实施

目 次

前言 II

引言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 总体要求 3

 4.1 基本要求 3

 4.2 规程的验证 4

5 设备 4

 5.1 总则 4

 5.2 试块 4

6 其他要求 5

 6.1 表面处理 5

 6.2 表面剩余磁场要求 5

 6.3 焊缝检测区域的标识 5

7 系统校准 6

 7.1 基本要求 6

 7.2 操作要求 6

8 检测 6

 8.1 基本要求 6

 8.2 扫查方式及区域 6

 8.3 缺陷判定 7

9 文件 7

 9.1 记录显示 7

 9.2 检测记录 7

 9.3 检测报告 7

附录 A（规范性） 非标准温度下交流电磁场检测规范 8

 A.1 基本要求 8

 A.2 检测 8

附录 B（规范性） 交流电磁场检测操作摘要 9

 B.1 通则 9

 B.2 扫查方向 9

 B.3 缺陷判定 9

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。

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。

本文件由山东省市场监督管理局提出并组织实施。

本文件由山东省特种设备标准化技术委员会归口。

引 言

交流电磁场检测技术是检测金属材料表面缺陷的一种手段,检测结果为评估结构物状态提供重要依据,编写《金属结构交流电磁场检测技术规程》的目的是对交流电磁场检测基本要素、系统设备、校准方法、操作规程等进行统一的要求,保证对金属结构作出正确的检验和评定,保证金属结构的安全服役。

金属结构交流电磁场检测技术规程

1 范围

本文件规定了金属结构交流电磁场检测（ACFM）的校验，检测及核查方法。
本文件适用于表面温度在-40℃～350℃的金属结构原材料或焊缝表面及近表面缺陷的检测。
本文件不适用于表面非导电涂层大于5 mm的金属结构检测。

2 规范性引用文件

本文件没有规范性引用文件。

3 术语和定义

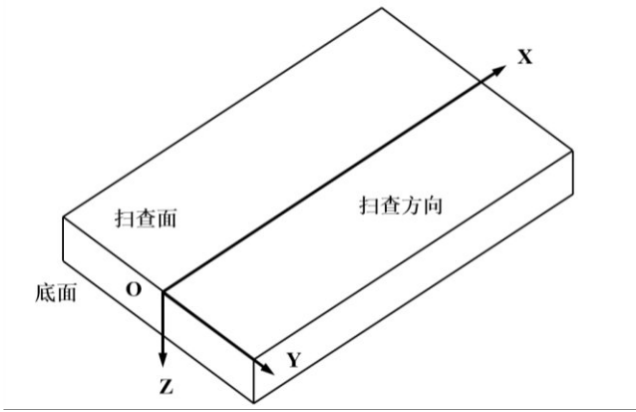
下列术语和定义适用于本文件。

3.1

坐标系 coordinate system

检测实施时，探头扫查方向，扫查面以及工件形成的坐标系。

示例：见图 1。



X：沿扫查方向；Y：沿扫查方向的垂直方向，位于扫查面内；Z：沿扫查面垂直方向。

图1 坐标定义

3.2

Bx 信号 Bx signal

坐标系（3.1）中磁场X方向分量，平行于探头扫查方向，与工件表面Y方向电流密度成正比。

示例：见图 2 中的 Bx。

3.3

Bz 信号 Bz signal

坐标系（3.1）中垂直于工件表面的磁场分量，与X-Y平面的电流偏转曲率成正比。

示例：见图 2 中的 Bz。

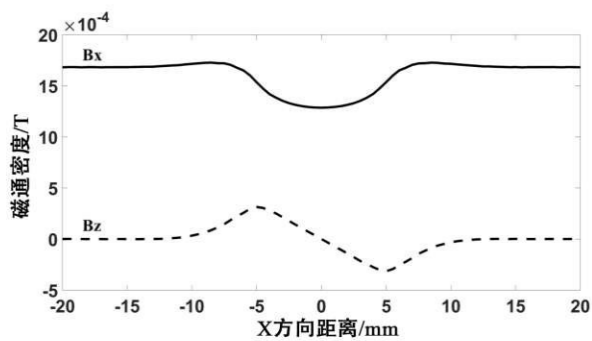


图2 Bx、Bz 信号

3.4

平面图 base plot

Bx信号 (3.2) 或Bz信号 (3.3) 与时间/距离关系形成的平面图谱。

3.5

蝶形图 butterfly plot

工件表面存在缺陷时，Bx信号 (3.2) 和Bz信号 (3.3) 的对应关系形成的平面图谱。

示例：x 轴为 Bz 信号，y 轴为 Bx 信号，见图 3。

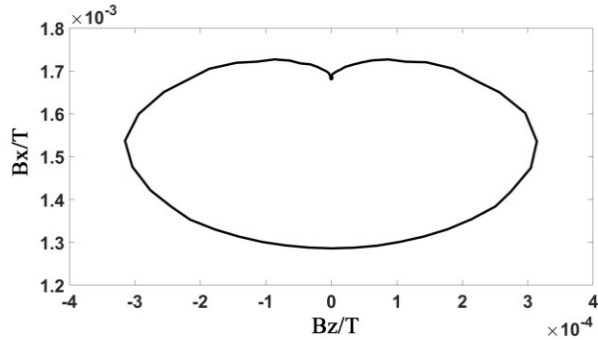


图3 蝶形图

3.6

梯度信号 gradient signal

Bz信号 (3.3) 经过求梯度、滤波降噪以后得到的缺陷辅助判定信号。

示例：见图 4。

梯度信号

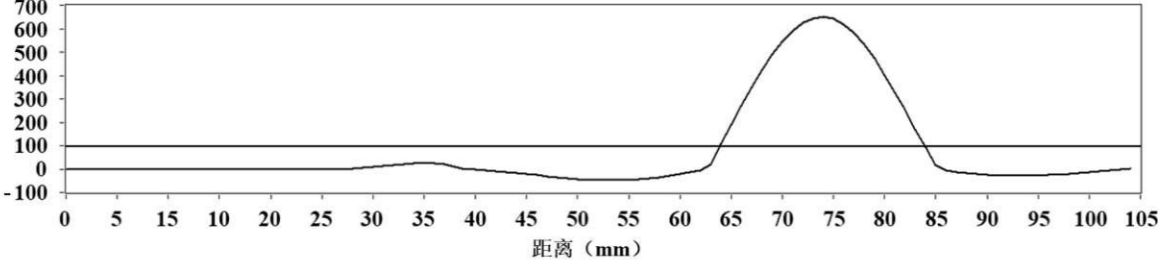


图4 梯度图

3.7

阈值 threshold value

由操作人员设定的梯度值，用于判定缺陷当量。

3.8

缺陷长度 defect length

缺陷在扫查面的投影间的距离。

示例：见图 5 中的 l 。

3.9

缺陷深度 defect depth

缺陷下端点与扫查面间的距离。

示例：见图 5 中的 d 。

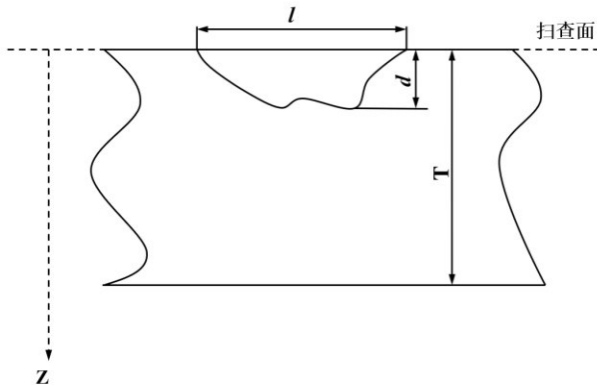


图5 缺陷长度和深度

3.10

提离效应 lift-off effect

由于探头操作或金属结构不平整原因致使探头与金属结构相对距离发生变化,导致磁场信号的畸变。

3.11

相关显示 relevant indication

由于材料缺陷产生的磁场变化而形成的典型特征信号。

3.12

非相关显示 non-relevant indication

由于工件形状突变、工件上的机械创伤、材料磁导率差异等产生的磁场变化形成的典型特征信号。

3.13

伪显示 false indication

由于人工操作失误,外部磁场干扰等并非由材料本身磁场变化形成的典型特征信号。

4 总体要求

4.1 基本要求

ACFM检测应按照规定的工艺规程实施,工艺规程应不少于表1规定内容,并明确相关因素的具体范围和要求。

表1 ACFM 检测规程要求

项目	相关因素	非相关因素
探头（型号和编号）	√	—
仪器（型号和编号）	√	—
扫描方向和范围	√	—
激励频率	√	—
涂层厚度（仅当增大时）	√	—
被检结构表面状态	√	—
人员操作资格鉴定要求	√	—
扫查速度范围	√	—
表面准备所用技术	—	√

4.2 规程的验证

按照工艺规程规定要求进行验证，当表1中的相关因素的变化超出规定时，应对工艺规程重新修订后进行验证。非相关因素发生变化时，可以不对工艺规程重新验证。

5 设备

5.1 总则

5.1.1 ACFM 系统包括仪器，探头，装有检测软件的显示终端，电缆及附件。

5.1.2 ACFM 系统的组成部分应符合下列要求：

- a) 仪器应满足实施检测作业的要求，具有数据自动采集、记录功能，具有指示和分析功能；
- b) 探头应能产生适用于所检测构件材质的一个或多个频率激发信号，并能同时测量磁场的 Bx 和 Bz 信号，名义频率应为 1 kHz，除非材料、表面状态或涂层变化而要求采用其他频率；
- c) 显示终端装有检测软件，软件显示应包括 Bx 和 Bz 信号的平面图、蝶形图及梯度图。

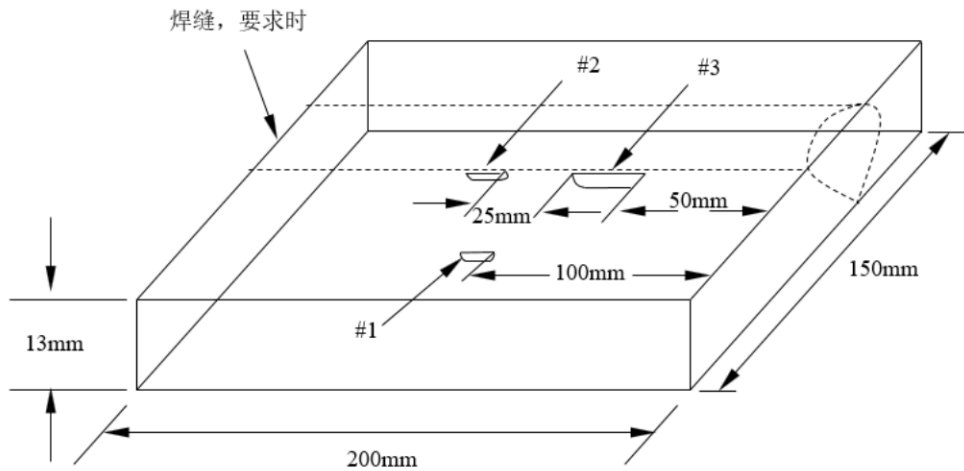
5.2 试块

5.2.1 用于制作试块的材料应与被检材料具有相同或相近规格、牌号、热处理状态、表面状态和电磁性能。试块的焊缝应与被检焊缝具有相同的焊接工艺，保持试块与待测结构状态相近或相同。

5.2.2 试块上应制作已知深度和长度的切槽来验证系统的功能是否正常。

5.2.3 应检查试块是否有剩磁，如有必要，应进行退磁。

5.2.4 试块的形状和切槽应如图 6 所示。试块上有焊缝时，切槽应加工在焊缝趾部。



椭圆切槽 编号	长度 mm	深度 mm	宽度 mm
1	5	3	0.5最大
2	6	2.5	
3	50	5	

注：(a)切槽深度误差为0.2mm。
(b)3#切槽长度误差为1mm。
(c)1#、2#切槽长度误差为0.2mm。
(d)切槽形状应为椭圆。

图6 ACFM 标准试块

6 其他要求

6.1 表面处理

- 6.1.1 采用焊、轧、铸、锻后的结构自然表面状态通常可获得满意的结果。如表面质量影响检测结果时可进行一定的打磨。
- 6.1.2 进行 ACFM 检测前，被检表面及邻近 25 mm 范围区域内，应没有污垢、锈皮、焊剂、磁性覆层或其他可能影响检测的外来物，使探头可平稳运动。

6.2 表面剩余磁场要求

剩磁场会影响 ACFM 的感应场并产生伪显示，因此 ACFM 宜在磁粉检测 (MT) 前进行。如果在 MT 后进行 ACFM，当表面有剩磁场存在时，进行退磁。

6.3 焊缝检测区域的标识

- 6.3.1 焊缝位置及其标识应记录在焊缝图或标识示意图上。
- 6.3.2 如在焊缝上作永久性标记，可采用低应力钢印或振动工具，相关规范要求不应打钢印的除外。

6.3.3 每条焊缝应通过参考系统定位和标识。该系统应允许标识每条焊缝并可沿焊缝长度方向上指定有规则的间隔。

7 系统校准

7.1 基本要求

7.1.1 整个 ACFM 系统应在使用前后进行校准和灵敏度核查。

7.1.2 影响系统灵敏度的任何设定，在校准、核查、检测时应一致。

7.2 操作要求

7.2.1 系统校准

通过将探头移过图 6 中的标准试块的切槽并注意其响应。探头在标准试块焊缝无缺陷区域进行扫查，设定此时梯度信号最大值的 3 倍为阈值。探头沿着 1 号切槽长度方向扫查并与检测面保持接触。探头的扫查应使得 1 号切槽的梯度信号最大值高于阈值，且 B_x 、 B_z 信号和蝶形图为图 B.1 所示典型信号，此时校准完成。

7.2.2 灵敏度调整

7.2.2.1 将探头移过标准试块上的 2, 3 号切槽并注意其响应，应使得 2, 3 号切槽的梯度信号最大值高于阈值，同时， B_x 、 B_z 信号和蝶形图信号轨迹见图 B.1，此灵敏度下应能清晰地分辨出每一个人工缺陷信号，灵敏度调整完成。

7.2.2.2 当基本变素改变时，应在标准试块上进行一次核查，按照 7.2.2.1 的要求对 2, 3 号切槽重新扫查，要求本次缺陷最大梯度信号与上次缺陷最大梯度信号的误差不超过 10 %。

7.2.2.3 至少每隔四个小时、检测结束后，以及检测过程中出现明显异常时应对系统灵敏度进行核查，如果在标准试块上切槽的信号响应变化超过 10 %，上次核查以来检测的部位应进行复检。

8 检测

8.1 基本要求

8.1.1 仪器探头扫查速率应控制在 10 mm/s~60 mm/s。

8.1.2 扫查时探头与接触面宜保持接触，不能满足时提离高度不大于 5 mm，同时应避免提离效应影响。

8.1.3 检测过程中，金属结构表面温度宜控制在 -40 °C~80 °C。金属结构表面温度 >80 °C 时，按附录 A 执行。

8.2 扫查方式及区域

8.2.1 检测本体时，探头沿着扫查区域进行扫查，检测区域的长度为探头的移动方向，检测区域的宽度取决于探头的覆盖区域。

8.2.2 检测焊缝时，探头靠近焊缝一侧的边缘与焊缝趾部平齐，探头前端垂直于焊缝长度方向。沿焊缝趾部平行地移动探头。然后在焊缝的另一侧趾部作同样的扫查。除非另有演示验证，当焊缝宽度大于 10 mm 时，在焊缝上增加一组扫查，扫查时探头中心线与焊缝中心线重合。

8.2.3 距工件边缘 20 mm 内受到边缘效应影响，为检测盲区。

8.2.4 两次相邻检测的扫查区域在长度和宽度方向应有 20 % 的覆盖。

8.3 缺陷判定

8.3.1 缺陷的判定按照附录 B 执行。

8.3.2 应区分一个特征信号是相关显示、非相关显示或伪显示，非相关显示和伪显示应加以证实，解释时应明确不连续的位置。

9 文件

9.1 记录显示

当 B_x 、 B_z 信号图以及蝶形图满足图 B.1 时，应记录此时该显示范围和位置。梯度信号信噪比不大于 3 或者蝶形图无闭合趋势的显示、至少应记录其位置。

9.2 检测记录

对每次检测，应至少记录以下内容：

- a) 工艺规程编号和版本；
- b) ACFM 仪器型号和编号；
- c) 软件编号和版本；
- d) 探头型号和编号；
- e) 标准试块；
- f) 被检焊缝或表面编号和位置；
- g) 检测时机；
- h) 检测到的特征信号的示意图或记录表；
- i) 限制接近区域或不能接近的区域；
- j) 检测人员资质（有要求时）。

9.3 检测报告

应根据检测记录，出具检测报告，至少包括以下内容：

- a) 工艺规程编号和版本；
- b) ACFM 仪器型号和编号；
- c) 探头型号和编号；
- d) 标准试块；
- e) 被检焊缝或表面编号和位置；
- f) 检测时机；
- g) 相关显示及其位置、范围；
- h) 限制接近区域或不能接近的区域；
- i) 检测人员资质（有要求时）。

附 录 A
(规范性)
非标准温度下交流电磁场检测规范

A.1 基本要求

- A.1.1 非标准温度检测时，应采用专用非标准温度探头进行。
- A.1.2 探头表面应使用隔热材料进行防护，探头与检测表面不应直接接触。
- A.1.3 检测过程中应根据检测对象和检测要求，选择大小、形状、频率合适的探头。

A.2 检测

A.2.1 检测准备

按照第6章规定对检测表面进行相关处理和校准。

A.2.2 校准

按照第7.2.1规定对系统进行校准，标准试块温度应与待测部位表面温度保持一致。

A.2.3 灵敏度调整

按照第7.2.2规定对系统进行灵敏度调整。至少每隔30 min，检测结束后，以及检测过程中出现明显异常时应对应系统灵敏度进行核查，如果在标准试块上切槽的信号响应变化超过10%，上次核查以来检测的部位应进行复检。

附 录 B
(规范性)
交流电磁场检测操作摘要

B.1 通则

在基本的交流电磁场检测系统中,ACFM探头沿着X方向扫查,探头内的激励线圈在金属结构表面产生平行于Y方向的局部均匀感应电流。感应电流的渗透深度与激励频率和材料电磁特性相关。位于探头正下方X方向两侧近距离内的任何表面开口不连续,将中断或干扰均匀感应电流的流动。

B.1.1 扫查宽度

在规定的发现概率下,探头正下方覆盖Y方向最大扫查宽度由探头激励线圈和接收磁场传感器组件设计决定,单探头典型值为左右各5 mm。

B.1.2 缺陷波形

B.1.2.1 通过接受磁场传感器测量金属结构表面磁场的两个主要分量 B_x 和 B_z 信号的大小来判定缺陷的存在并确定缺陷尺寸,见图 B.1。

B.1.2.2 根据每个探头的标准化数据和仪器设定,通过选择表面磁场分量 B_x 和 B_z 轨迹上的关键点,能够估算不连续的尺寸,通常采用 B_z 峰谷间距评估缺陷长度,采用 B_x 波谷深度评估缺陷深度。

B.2 扫查方向**B.2.1 扫查方向与缺陷平行**

探头沿着X方向扫查,当缺陷沿着X方向时,金属结构表面感应电流垂直绕过缺陷,感应电流引起的畸变磁场达到最大数值,交流电磁场检测灵敏度最高,特征信号 B_z 峰谷间距对应评估缺陷长度,特征信号 B_x 波谷反映缺陷深度。

B.2.2 扫查方向与缺陷垂直

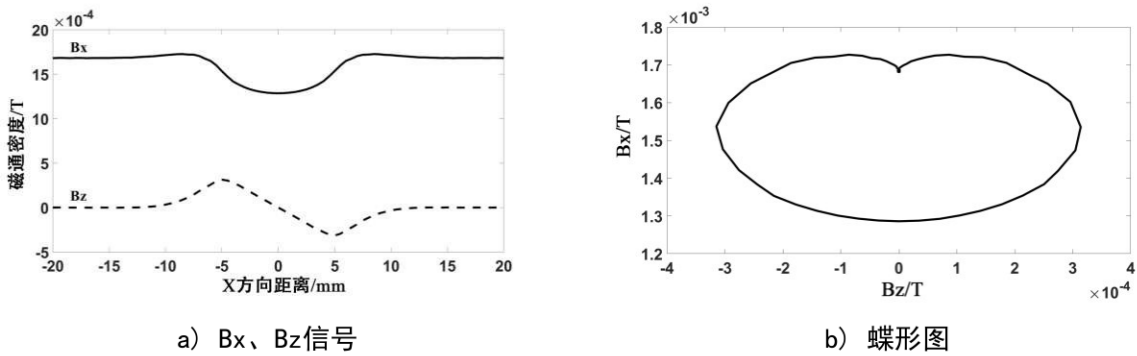
探头沿着X方向扫查,当缺陷沿着Y方向时,金属结构感应电流与缺陷平行。此时,非铁磁性金属材料感应电流引起的畸变磁场数值达到最小,交流电磁场检测灵敏度最低,易造成缺陷漏检。铁磁性材料感应电流引起的畸变磁场数值达到最小,但激发磁场垂直穿过缺陷并形成泄漏磁场,磁场分量 B_x 呈现波峰和极大值,特征信号 B_z 呈现较窄的峰谷变化,可通过 B_x 峰值高度评估Y方向缺陷深度。

B.3 缺陷判定**B.3.1 蝶形图判定**

蝶形图判定方法适用于缺陷长度不小于6 mm时,以特征信号 B_z 为横坐标, B_x 为纵坐标,蝶形图存在闭合趋势。

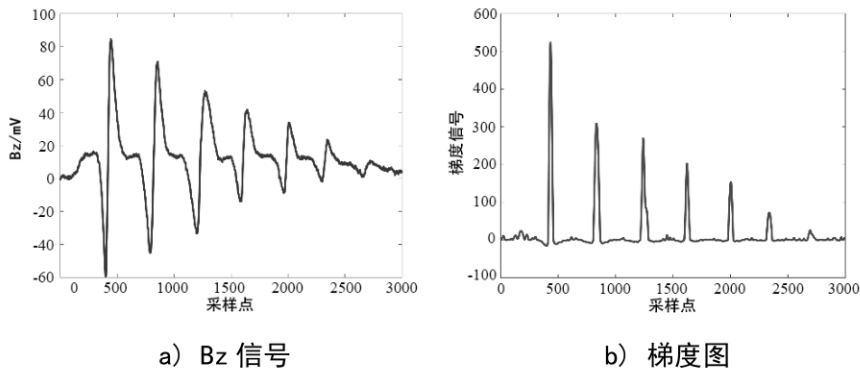
B.3.2 梯度信号判定

梯度图判定方法适用于缺陷长度小于6 mm时,缺陷引起的畸变容易被掩盖,可通过对 B_z 信号求取梯度、降噪滤波、祛除负值算法获取梯度图,辅助判定缺陷的存在,如图B.2所示。图B.2a)为 B_z 信号,图B.2b)为相应的梯度图。通过梯度图设置判定阈值可显著提升缺陷判定准确率,有利于金属结构表面焊缝、凸起等状态较差条件下微小缺陷检测。



注：轨迹的取向可能不同，这取决于仪器。

图B.1 当探头越过一条裂纹时 B_x 、 B_z 和蝶形图轨迹的示例



图B.2 缺陷判定梯度图