ICS 25.160.40
J 33

中华人民共和国国家标准

GB/T 26954—2011

焊缝无损检测
基于复平面分析的焊缝涡流检测

Non-destructive testing of welds—
Eddy current testing of welds by complex-plane analysis

(ISO 17643:2005,MOD)

2011-09-29 发布　　2012-03-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会　发布

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　人员资格 …… 1
5　工艺规程制定 …… 1
6　常规应用 …… 2
6.1　基本信息 …… 2
6.2　附加信息 …… 2
6.3　表面条件 …… 2
6.4　检测设备 …… 2
6.4.1　检测仪器(不包括探头) …… 2
6.4.2　检测探头 …… 3
6.4.3　附件 …… 4
6.4.4　检测设备的维护 …… 5
6.5　检测工艺规程 …… 5
6.5.1　涂层厚度估计及被检材料与校准试块材料符合性的评价 …… 5
6.5.2　铁磁性材料焊缝检测工艺规程 …… 5
6.6　缺陷的可检测性 …… 11
6.6.1　影响因素 …… 11
6.6.2　不可接受信号的评价 …… 12
6.7　其他材料焊缝的检测步骤 …… 15
7　检测报告 …… 16

前　言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准采用重新起草法修改采用 ISO 17643:2005《焊缝无损检测　基于复平面分析的焊缝涡流检测》。

本标准与 ISO 17643:2005 的技术性差异及其原因如下：

——关于规范性引用文件，本标准做了具有技术性差异的调整，以适应我国的技术条件，调整的情况集中反映在第 2 章“规范性引用文件”中，具体调整如下：

- 用我国标准 GB/T 12604.6 代替了 EN 1330-5(见第 3 章)；
- 用我国标准 GB/T 5616 代替了 EN 12084(见第 5 章)；
- 增加引用了 GB/T 15822.1、GB/T 18851.1、GB/T 26951、GB/T 26952、GB/T 26953(见 6.6.2)。

——增加了图 8“推荐的涡流检测方法流程图”，以方便使用。

——增加了 6.6.2“不可接受信号的评价”，以明确本方法的局限性并指导应用。

——增加了 6.6.1 标题“影响因素”，将原 6.6 的内容置于 6.6.1，以方便 6.6.2 的增加。

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：中国特种设备检测研究院、爱德森(厦门)电子有限公司、厦门涡流检测技术研究所、上海材料研究所、华北电力科学研究院。

本标准主要起草人：沈功田、胡斌、吴彦、景为科、林俊明、刘凯、金宇飞、胡先龙。

焊缝无损检测
基于复平面分析的焊缝涡流检测

1 范围

本标准规定了主要用于检测铁磁性材料(焊缝、热影响区、母材)表面开口和近表面面型缺陷的涡流检测技术。

如设计规范有要求,本标准也可用于非铁磁性材料的检测。

本标准适用于陆上、海上制造、安装、在用过程中的裸露或带涂层焊缝的检测。

检测可以在所有可接近的、各种形式的焊缝表面上进行。

涡流检测通常在焊态下进行,表面粗加工可能会影响其检测精度。

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 5616 无损检测 应用导则

GB/T 12604.6 无损检测 术语 涡流检测

GB/T 15822.1 无损检测 磁粉检测 第1部分:总则(GB/T 15822.1—2005,ISO 9934-1:2001,IDT)

GB/T 18851.1 无损检测 渗透检测 第1部分:总则(GB/T 18851.1—2005,ISO 3452:1984,IDT)

GB/T 26951 焊缝无损检测 磁粉检测(GB/T 26951—2011,ISO 17638:2003,MOD)

GB/T 26952 焊缝无损检测 焊缝磁粉检测 验收等级(GB/T 26952—2011,ISO 23278:2006,MOD)

GB/T 26953 焊缝无损检测 焊缝渗透检测 验收等级(GB/T 26953—2011,ISO 23277:2006,MOD)

3 术语和定义

GB/T 12604.6 界定的术语和定义适用于本文件。

4 人员资格

按本标准进行检测的人员应按规定取得有关无损检测人员资格鉴定机构颁发或认可的涡流检测等级资格证书,从事相应资格等级规定的检测工作。

5 工艺规程制定

如果要求制定工艺规程,应满足 GB/T 5616 或本标准中对检测工艺规程的规定。

6 常规应用

6.1 基本信息

在进行检测前，需要通过资料审查和现场实地考察获取一些基本信息，至少应包括如下的要素：

——检测人员的资格；

——检测计划；

——检测设备；

——仪器校准状态；

——校准试块；

——验收准则；

——信号记录；

——报告格式；

——不可接受信号的处理。

6.2 附加信息

在进行检测前，以下信息需明确。同时，其他有助于缺陷判断和母材的成分或等级的信息也是必要的：

——填充金属的种类；

——待检测焊缝的位置和范围；

——焊缝表面几何形状；

——表面状态；

——涂层类型和厚度。

6.3 表面条件

根据灵敏度的要求，涡流方法一般能够穿透 2 mm 厚的非金属涂层探测出表面裂纹。如果相应的灵敏度能得到保证，也可超过 2 mm 厚度的涂层。

涡流检测与探头和被测表面的接近程度有关，被检焊缝表面几何形状及表面状态应能保证探头与检测面的良好接触。对焊缝进行涡流检测时，应考虑焊缝表面的不规则形状、焊接飞溅、焊瘤、腐蚀物和涂漆的剥落等都会使探头与被检测表面的距离发生变化并引起噪声，从而影响检测的灵敏度。

对于表面有热喷涂铝和铅等某些种类的导电性材料涂层工件，因为这些导电金属材料可沉积在表面开口的裂纹内，用涡流方法进行检测时，由于这些沉积材料导电从而大大影响了检测效果，导致不能有效检测出可能存在的裂纹缺陷。

6.4 检测设备

6.4.1 检测仪器(不包括探头)

6.4.1.1 概述

检测仪器应具有复平面相位和幅度显示与分析的功能，且至少满足以下要求。

6.4.1.2 频率

涡流仪器应能在从 1 kHz～1 MHz 的范围内的某个选定的频率点上工作。

6.4.1.3 灵敏度校准

对于选定的检测探头，在平衡和提离效应补偿后，(带涂层厚度试片)校准试块上 1 mm 深人工缺陷的信号幅度应达到全屏，0.5 mm 深人工缺陷的信号幅度至少为 1 mm 人工缺陷的 50%。

6.4.1.4 信号显示

应能够显示缺陷信号的阻抗平面(复平面)图，并具有信号示踪冻结功能，信号示踪在检测场地日光、灯光照明或无照明条件下应清晰可见。

6.4.1.5 相位控制

相位控制应能使信号以不大于 10°的步距进行全角(360°)旋转。

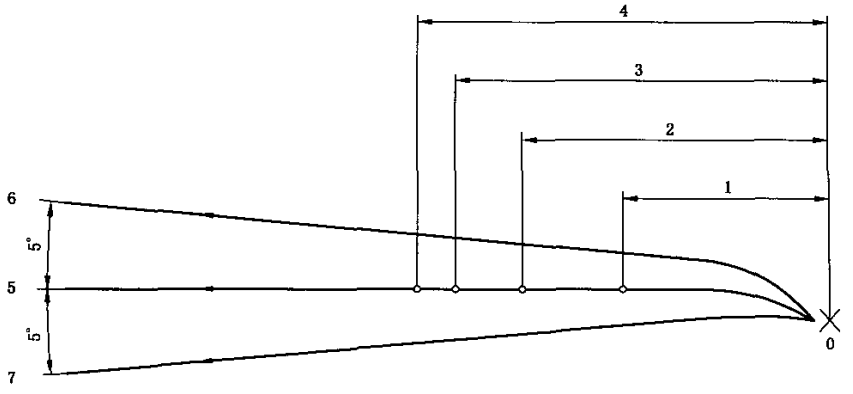
6.4.1.6 信号分析

能对信号阻抗平面图上的任一矢量进行相位和幅度分析，并可将当前信号与先前存储的参考信号进行对比分析。

6.4.2 检测探头

6.4.2.1 以校准试块进行涂层厚度测量和材料评价的探头

在绝对模式、1 kHz～1 MHz 频率下工作，在被检工件或校准试块上提离时应能在仪器上产生满屏提离信号。所有的探头都应清晰地标示出其操作的频率范围(见图 1)。



0——平衡点；

1,2,3,4——在校准试块上不同厚度模拟涂层下的偏转信号；

5——校准试块材料的提离信号；

6,7——相对于校准试块被检材料的信号偏转显示的范围。

图 1 采用绝对式探头进行涂层厚度测量和材质分选

6.4.2.2 用于焊缝检测的探头

为了检测铁磁性材料的焊缝，应使用特殊设计的焊缝检测探头。探头的组装可以是差动式、正交式、正切式或与之等效的方式，采用这些方式的目的是使探头在焊缝和热影响区受材料电导率、磁导率和提离效应等变化的影响最小。

探头的直径应根据被测工件的几何形状来选择。探头在接触面上覆盖了非金属耐磨薄层材料后仍应能正常工作。如果探头采用封装结构，在校准过程中封装外壳与校准试块表面应始终处于接触的状态。探头应能在 1 kHz～1 MHz 范围内的任意选定的频率下正常工作。

6.4.3 附件

6.4.3.1 校准试块

校准试块应采用与被检工件相同的材料制作。除合同有关各方另有约定之外，应在校准试块上用电火花(EDM)加工出 0.5 mm、1.0 mm 和 2.0 mm 深的人工刻槽。刻槽深度的公差应为±0.1 mm。刻槽的推荐宽度应≤0.2 mm(见图 2)。

单位为毫米

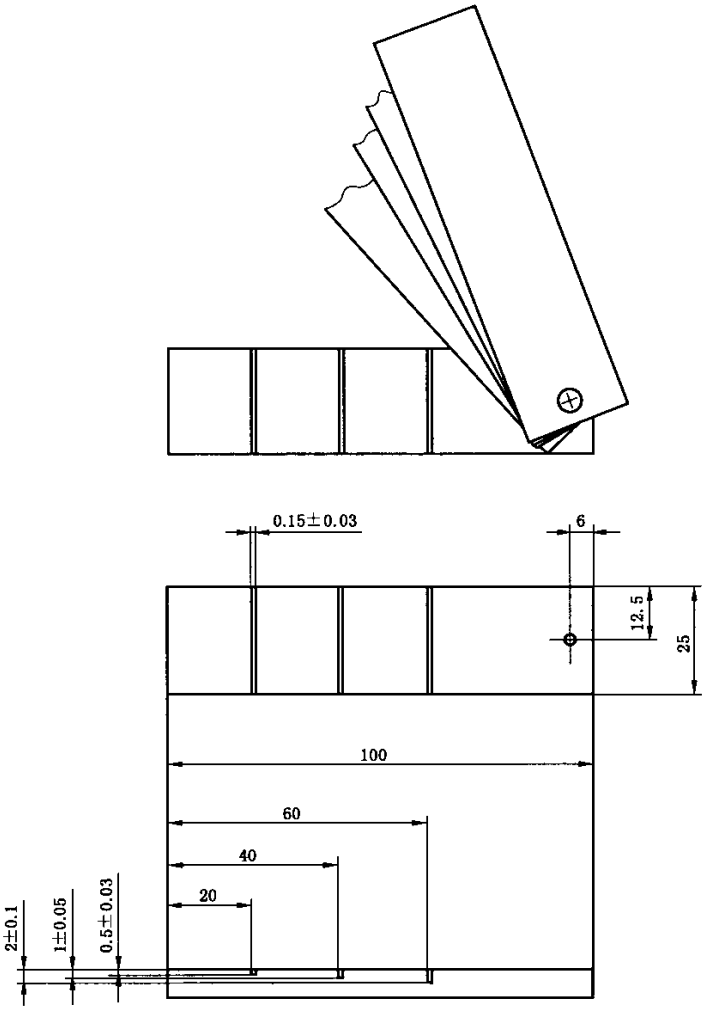


图 2 校准试块

6.4.3.2 非导体软垫片

可采用已知厚度的非导体弹性垫片来模拟涂层，也可直接在校准试块上喷涂实际涂层。推荐垫片厚度为 0.5 mm 的倍数。

6.4.3.3 探头延长电缆

在保证整个系统功能、灵敏度和分辨率的情况下，可用延长电缆连接探头和仪器。

6.4.3.4 远程显示和控制

使用较长的延长电缆操作时，仪器应具有使操作者进行远程信号显示的装置。

6.4.4 检测设备的维护

6.4.4.1 校准证书

设备应由有资格的实验室出具的校准证书。该校准工作应至少每年度进行一次。

6.4.4.2 功能检查

应对检测设备进行周期性的检查和调节来校正仪器的功能。在现场进行检测时，如发现检测设备产生错误或部分变化，也应对仪器进行功能的检查和调节。维护工作应按照制定的书面检测工艺规程进行，并应对每次维护检查的结果进行记录。

6.5 检测工艺规程

6.5.1 涂层厚度估计及被检材料与校准试块材料符合性的评价

焊缝表面的涂层厚度一般是不均匀的，但由于其对检测灵敏度产生影响，因此在焊缝检测之前有必要对热影响区处的最大涂层厚度进行估计。

采用 6.4.2 的探头，分别得出校准试块和被检试件的提离信号，通过比较可估计被检试件上的涂层厚度，参考图 1 和图 2。

被检试件的提离信号对校准试块提离信号的偏离应在±5°范围内，否则应采用更接近被检试件的材料重新加工制作校准试块。

6.5.2 铁磁性材料焊缝检测工艺规程

6.5.2.1 频率

应根据提离和其他不希望出现的信号将频率调到最佳灵敏度。通常情况下，推荐采用约 100 kHz 的频率。

6.5.2.2 校准

校准是将探头在校准试块上扫查过人工刻槽来进行的。刻槽表面应先覆盖上一层非导体弹性垫片，其厚度等于或大于被测工件的涂层厚度。

将 1 mm 深刻槽的信号幅度调到满屏高度的约 80%。然后调节灵敏度的水平来补偿工件几何形状带来的影响。

校准检查应周期性地进行，且至少在检测开始和结束及工况每次改变时进行。每次校准均应记录。

当校准完成后，将平衡点调至显示屏中央。

6.5.2.3 扫查

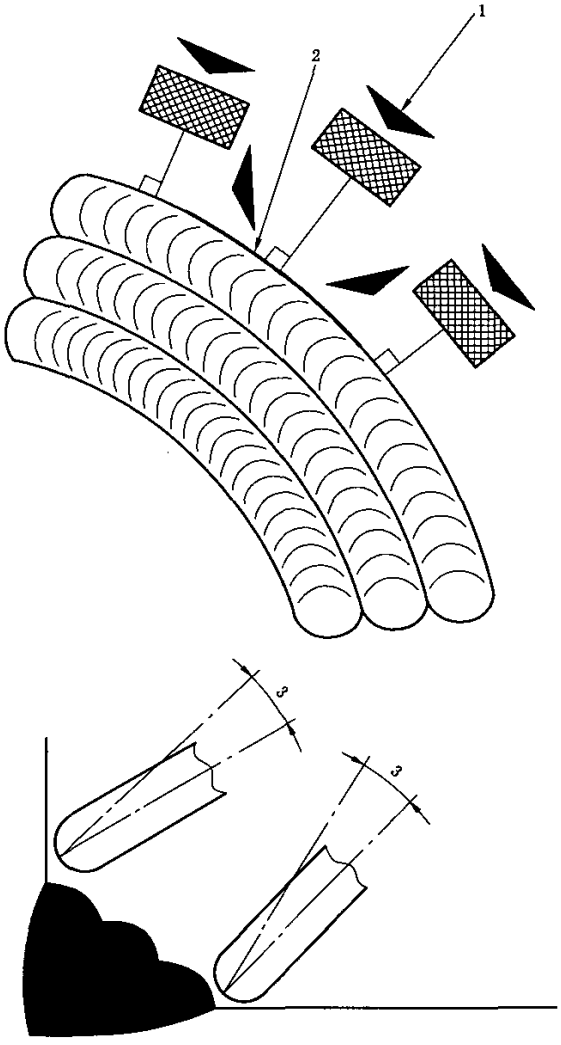
对焊缝表面和热影响区采用所选探头进行扫查。只要被检测工件几何形状允许，探头应沿与可能出现缺陷主要走向垂直的方向移动。如果其走向未知或估计缺陷有不同的走向，则至少应在相互垂直的两个方向分别进行扫查。

检测可分两部分进行：热影响区(见图 3、图 4 和图 5)和焊缝表面(见图 6 和图 7)。

应注意检测的可靠性高度依赖于线圈与被测表面之间的方向。还应注意确保探头在热影响区以最佳的角度扫查通过各种状况的表面。

差动式探头灵敏度受缺陷与线圈夹角的影响。因此在检测过程中应注意控制角度。

推荐的涡流检测流程图如图 8 所示。

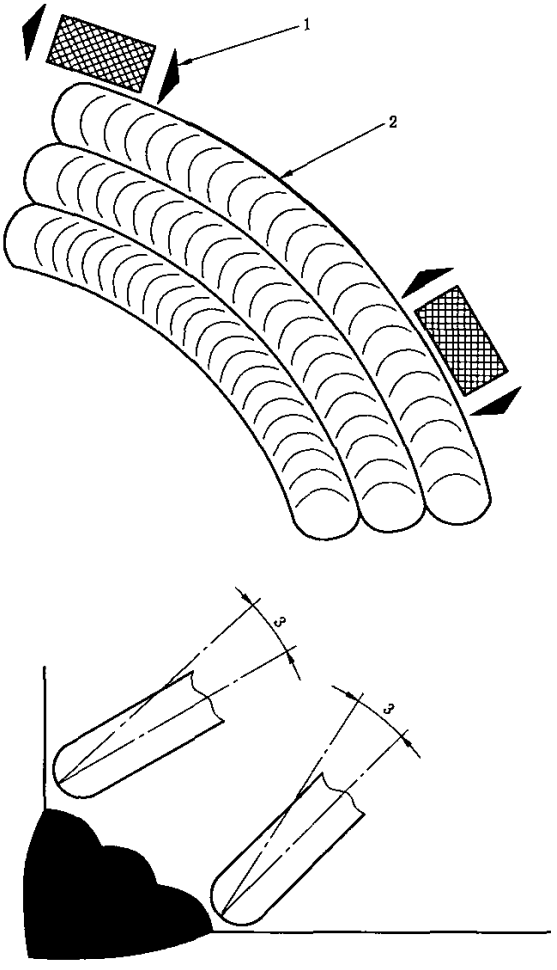


1——探头方向；

2——缺陷；

3——满足不同表面条件下的最佳角度。

图 3 母材和热影响区检测

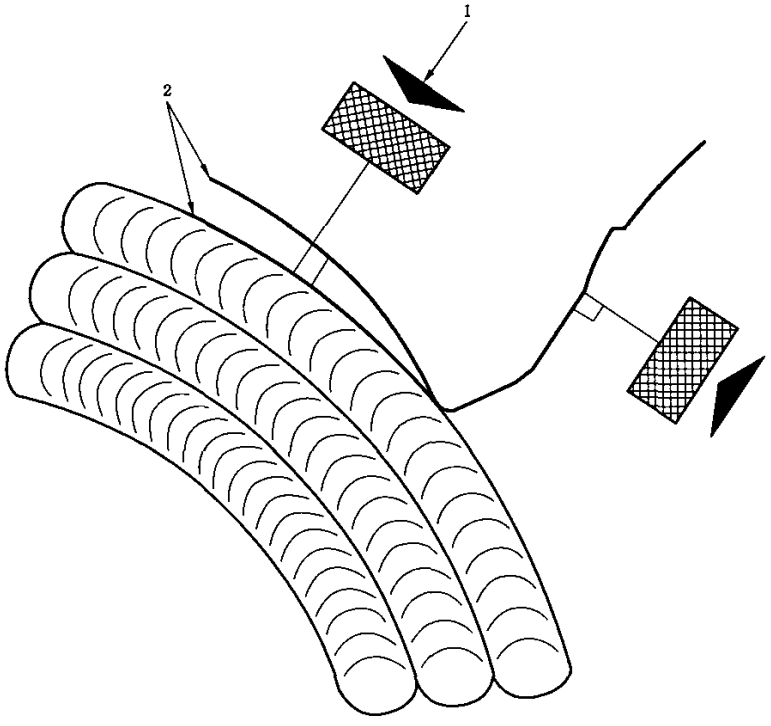


1——探头方向；

2——缺陷；

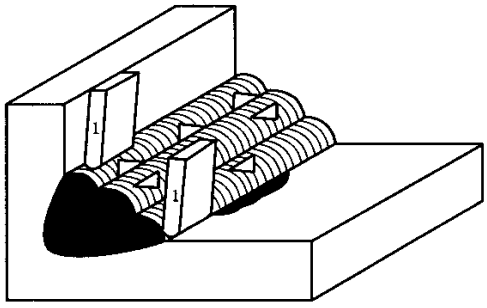
3——满足不同表面条件下的最佳角度。

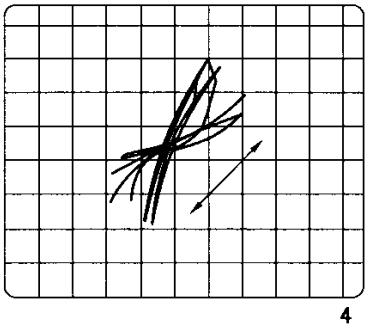
图 4　焊趾的一次扫查

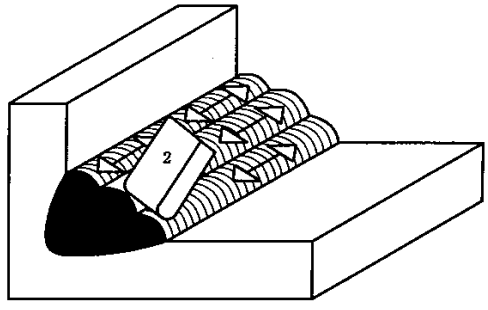


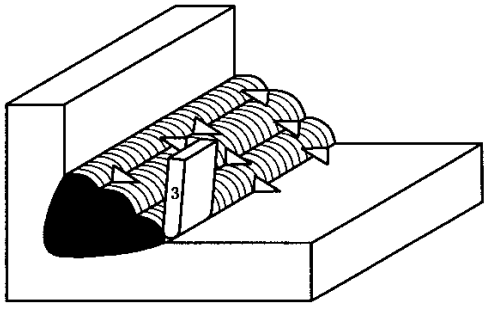
1——探头方向；
2——缺陷。

图 5　热影响区的补充扫查





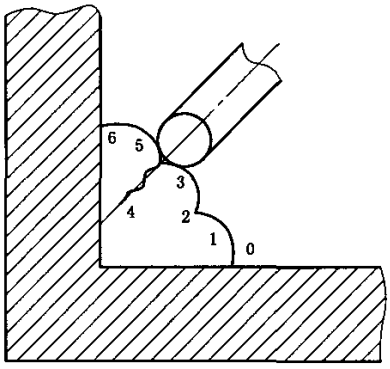


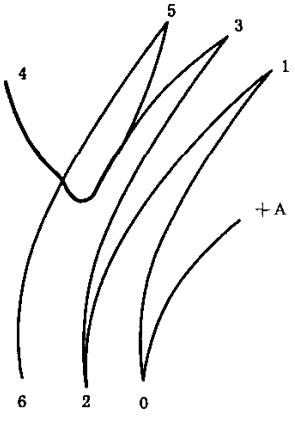


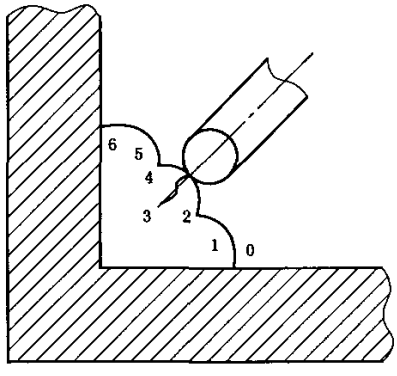
1、2、3——探头的不同位置；

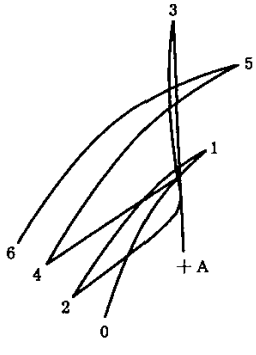
4——沿焊缝表面扫查的信号覆盖区。

图 6　焊缝表面检测的扫查









0——平衡点；

1～6——探头的不同位置。

图 7　焊缝表面扫查时的典型缺陷信号

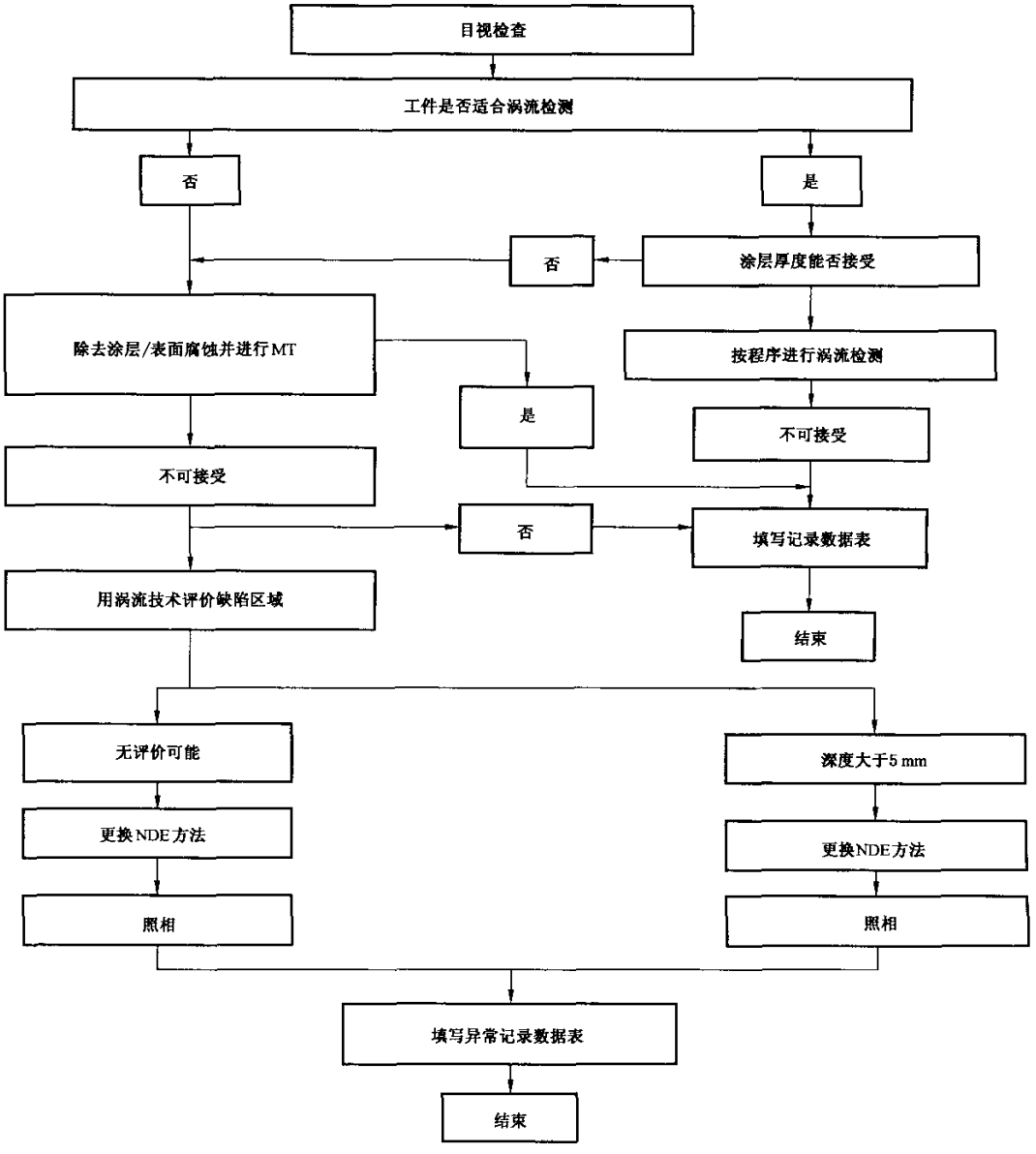


图 8　推荐的涡流检测方法流程图

6.6　缺陷的可检测性

6.6.1　影响因素

对缺陷的探测能力受许多因素的影响，而且现有对焊接工件进行涡流检测的应用知识也不能满足作出精确判断的要求，检测方与用户可以按照校准试块来共同确定验收标准。下面给出一些影响缺陷检测能力的因素。

a) 校准试块的材料应尽可能接近被检工件；

b) 导体涂层降低了检测的灵敏度，最大涂层厚度和电导率影响检测的灵敏度；

c) 非导体涂层对检测灵敏度的降低程度依赖于探头与被测工件之间的距离；

d) 工件的几何形状和探头与被测区域的接近程度可影响检测的灵敏度，十字形板和衬板上具有复杂几何形状的焊缝应根据表面几何形状和可能的缺陷方位来进行检测；

e) 线圈与缺陷的取向：

1) 倾角：注意确保线圈与被测区域之间保持最佳的角度；

2) 感应电流的方向：感应电流是有方向性的，因此应注意确保感应电流的方向与预测的缺陷方向保持垂直和(或)平行；

f) 缺陷的最小尺寸：在焊缝表面自然成型条件下涡流检测方法对铁磁性钢焊缝可探测出的最小缺陷尺寸为 1 mm 深、5 mm 长。

6.6.2 不可接受信号的评价

不可接受信号定义为被检测工件信号显示区域之外出现的异常信号显示。

一旦发现不可接受的信号(见图 9)，建议对该区域进行进一步的检查。

可以采用纵向扫查并标识出异常信号区域的长度(见图 4)。

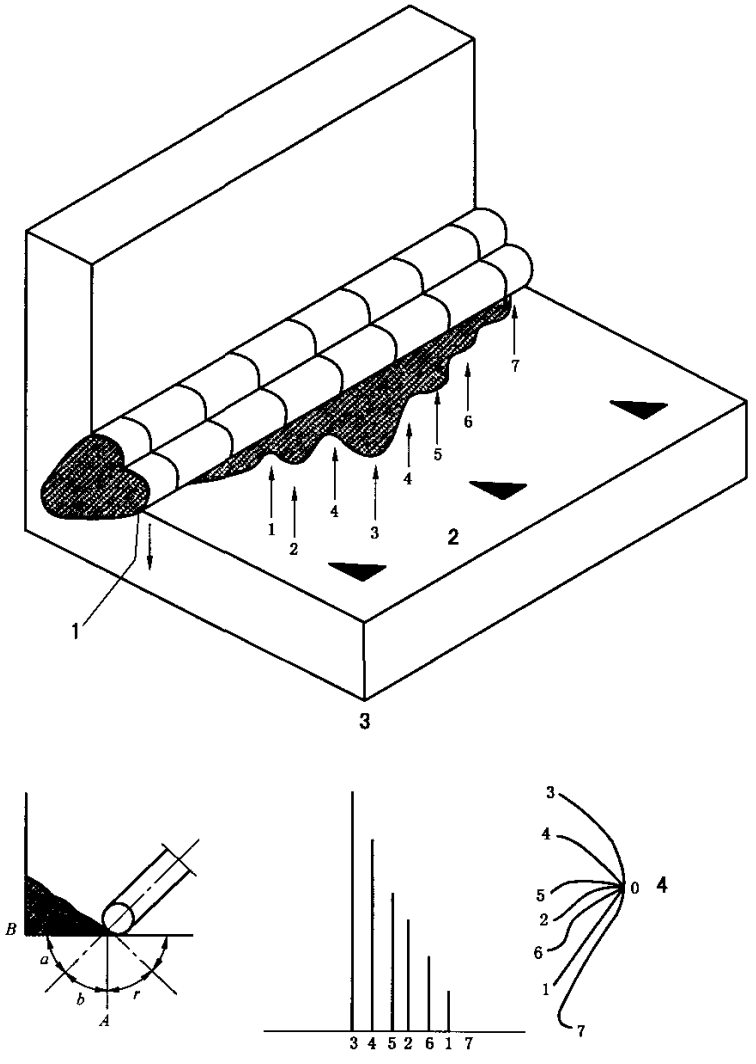
在可能的情况下，应沿异常信号指示长度方向进行一次扫查来获得信号幅度。应标识出最大的幅度(见图 10)。

如果还需要进一步澄清，或当确定要去除缺陷时，建议用磁粉检测(MT)(按 GB/T 15822.1 或 GB/T 26951 执行)或渗透检测(PT)(按 GB/T 18851.1 执行)等其他无损检测方法进行验证检测。

MT 或 PT 的验收标准按选定的 GB/T 26952 或 GB/T 26953 的规定执行。

当不可接受信号出现而又不能得到缺陷的深度时(见图 11)，可以改用超声检测和(或)交流电压降检测等其他的 NDT 方法来确定信号的深度和方向。

当一个信号被显示为不可接受信号且涡流评价认为该区域缺陷深度超过 5 mm 时，该区域应用超声检测或交流电压降检测方法进一步确定产生信号缺陷的范围和方向。



1——取向；

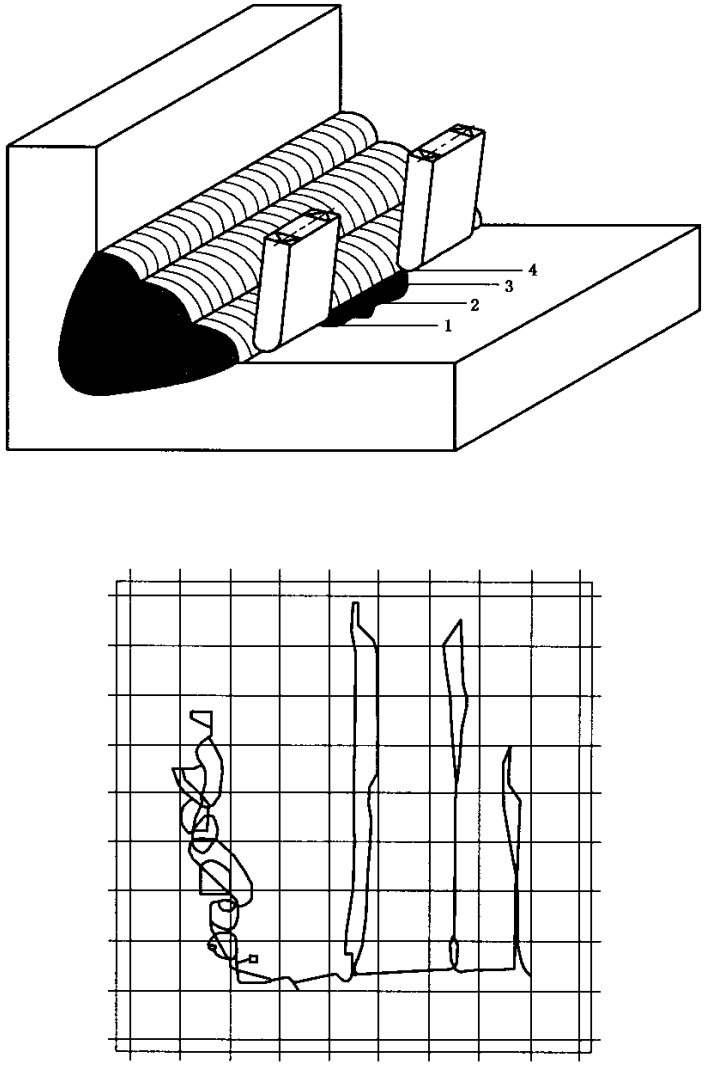
2——扫查方向；

3——缺陷 A；

4——平衡点；

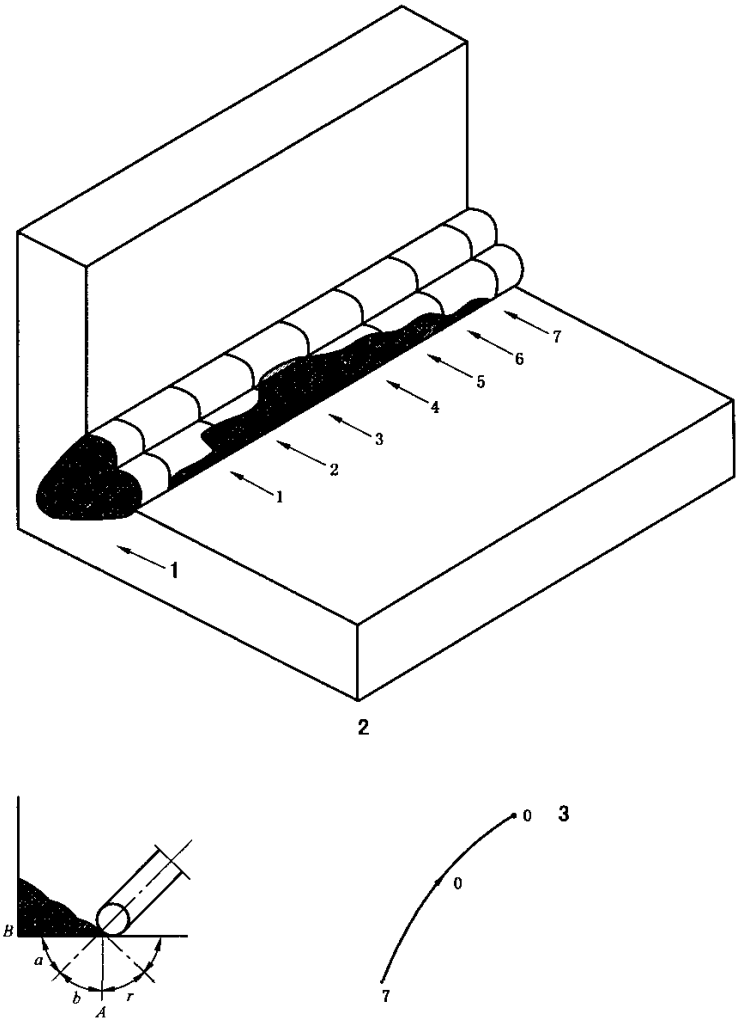
1～7——探头的不同位置。

图 9 “穿壁”缺陷的典型响应



1～4——探头的不同位置。

图 10　疲劳和未熔合缺陷纵向扫查的典型响应



1——取向；

2——缺陷；

3——平衡点；

1～7——探头的不同位置。

图 11 “部分贯穿”缺陷的典型响应

6.7 其他材料焊缝的检测步骤

如前所述，涡流检测方法同样可以用于铝和不锈钢等其他金属材料工件的焊缝检测。

检测这些焊缝的工艺规程通常与 6.5.2 的规定相同，但频率、探头、校准试块和扫查模式等的选择应该与实际材料的性能相适应，这些选择可能会与所推荐的铁磁性材料相去甚远。

因此，检测工艺规程应根据基于适当仪器、探头和校准试块上的实际经验来制定，并应详细制定特殊的工艺规程。

在各种情况下的限制因素都应详细说明。

7 检测报告

检测报告的内容应根据检测要求制定，应至少包括以下要素：

——检测单位的名称(如适用)；
——工件识别；
——材料；
——涂层种类和厚度(必要时)；
——热处理；
——接头型式；
——材料厚度；
——焊接方法；
——检测工艺规程编号；
——验收准则；
——表面准备；
——用图标示的检测部位；
——校准试块；
——检测仪器；
——检测条件(如频率、灵敏度和相位等)；
——校准报告；
——描述并定位超出验收标准的不可接受信号的指示(用草图或照相)；
——检测结果；
——检测人员姓名和检测日期；
——用户签名和(涉及到授权时)有关授权机构的签名。