



中华人民共和国国家标准

GB/T 39283—2020

无损检测 电磁声换能器(EMAT)技术 表面波检测方法

Non-destructive testing—Testing method for surface-wave testing
using electromagnetic acoustic transducer (EMAT) techniques

2020-11-19 发布

2021-06-01 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 | I |
| 1 范围 | 1 |
| 2 规范性引用文件 | 1 |
| 3 术语和定义 | 1 |
| 4 方法概要 | 1 |
| 5 安全要求 | 4 |
| 6 人员要求 | 5 |
| 7 检测工艺规程 | 5 |
| 8 检测设备和器材 | 5 |
| 9 检测程序 | 7 |
| 10 记录和评定 | 10 |
| 11 检测记录与报告 | 10 |

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由全国无损检测标准化技术委员会(SAC/TC 56)提出并归口。

本标准起草单位:爱德森(厦门)电子有限公司、中国特种设备检测研究院、武汉中科创新技术股份有限公司、苏州博昇科技有限公司、中国科学院金属研究所、中国科学院声学研究所、中国铁道科学研究院集团有限公司金属及化学研究所、嘉兴市特种设备检验检测院、中国计量大学、钢铁研究总院、中北大学、清华大学。

本标准主要起草人:胡斌、沈功田、林俊明、郑阳、原可义、王子成、沈宇平、蔡桂喜、潘金平、黄凤英、万本例、沈建中、梁晓瑜、周进节、张建卫、王强、张宗健、黄松岭、李素军、谭继东。

无损检测 电磁声换能器(EMAT)技术 表面波检测方法

1 范围

本标准规定了电磁超声表面波检测通用方法,用以检测表面开口和埋深不小于表面波波长的近表面不连续性。

本标准适用于导电或磁性材料的表面波检测。

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 5616 无损检测 应用导则

GB/T 9445 无损检测 人员资格鉴定与认证

GB/T 12604.1 无损检测 术语 超声检测

GB/T 20737 无损检测 通用术语和定义

GB/T 23904 无损检测 超声表面波检测方法

GB/T 23905 无损检测 超声检测用试块

GB/T 34885 无损检测 电磁超声检测 总则

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

3 术语和定义

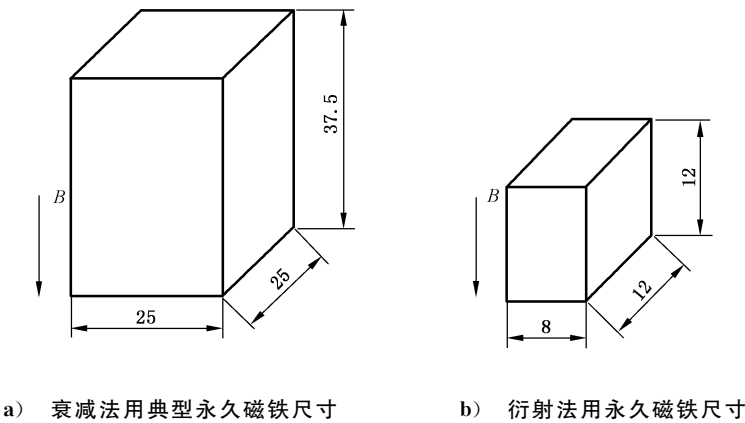
GB/T 5616、GB/T 12604.1、GB/T 20737、GB/T 23904 和 GB/T 34885 界定的术语和定义适用于本文件。

4 方法概要

4.1 检测原理

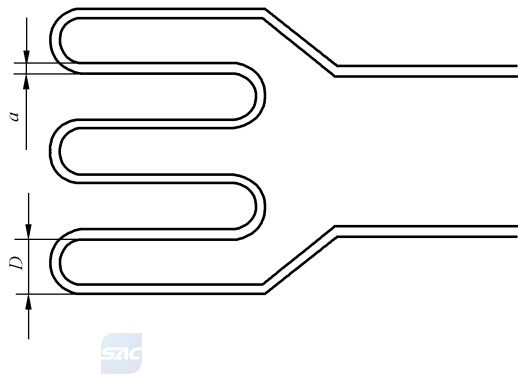
电磁超声表面波检测采用垂直的永磁偏置磁场(图 1 所示)或水平的交流偏置磁场,匹配以表面波波长为周期的回折线圈(图 2 所示)探头,运用电-磁-声相互作用的原理在材料表面激发和接收超声表面波。表面波遇到不连续时发生反射、衍射或透射衰减,通过反射信号、透射信号或衍射信号的变化检测不连续的位置和大小。

单位为毫米



说明：
 B ——磁场的方向。

图 1 典型永久磁铁示意图

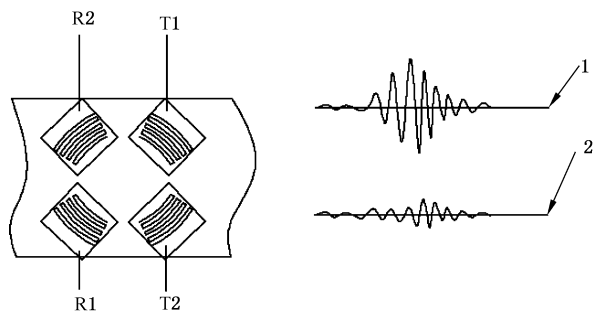


说明：
 D ——相邻导体的间距，单位为米(m)；
 a ——导线的宽度，单位为米(m)。

图 2 典型电磁超声表面波的回折线圈

脉冲反射法检测采用单探头自发自收或双探头一发一收，检测焊缝等固定距离检测对象时，宜采用聚焦电磁超声表面波探头，提高信噪比。

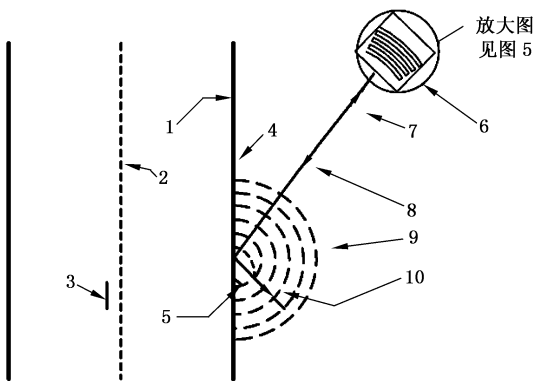
透射衰减法检测(如图 3 所示)采用双探头一发一收，检测焊缝等固定距离检测对象时，宜采用聚焦电磁超声表面波探头，提高信噪比。



说明：
1 —— 无不连续时信号电源；
2 —— 有不连续时信号电源；
R —— 接收线圈；
T —— 发射线圈。

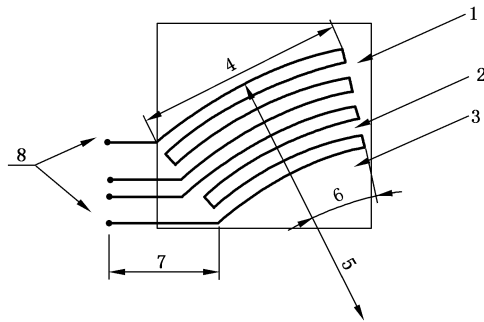
图 3 透射衰减检测

衍射检测(如图 4 所示)采用两个焦线重合的电磁超声换能器(一个用于发射和一个用于接收)或一个脉冲反射式电磁超声换能器与焊缝中心线成一定角度放置获取衍射信号,从而避免焊缝根部和余高的反射信号。图 5 为图 4 中电磁超声换能器聚焦线圈的放大图。



说明：
1 —— 镜面反射体(焊缝余高或根部)；
2 —— 焊缝中心线；
3 —— 不连续；
4 —— 焊缝；
5 —— 镜面反射体；
6 —— 焦线重合的 EMAT 发射接收；
7 —— 接收信号；
8 —— 发射信号；
9 —— 接收线圈检测到的缺陷波前；
10 —— 接收线圈未检测到的镜面反射。

图 4 衍射检测



说明：

- 1——激励部分；
- 2——接收部分；
- 3——线圈区；
- 4——线圈宽度；
- 5——焦线；
- 6——焦线与线圈夹角；
- 7——负载(导线长度示意)；
- 8——负载(导线宽度和间距示意)。

图 5 典型电磁超声换能器聚焦线圈

4.2 优点及特点

电磁超声表面波检测具有下列特点：

- a) 非接触检测,无需耦合剂,适用于自动化检测、表面粗糙、高温条件下的检测,同时避免了工件表面存在耦合剂对检测灵敏度的影响；
- b) 可高效检出表面、近表面的不连续性,部分应用场景可替代渗透和磁粉等方法。

4.3 局限性

电磁超声表面波检测具有下列局限性：

- a) 不适用于既非导电又非导磁材料检测；
- b) 电磁超声换能效率受被检材料电磁特性影响较大,需要更严格的对比试样；
- c) 检测铁磁性材料时,探头与工件间存在磁吸力,探头不易扫查移动,需配备探头移动装置。

4.4 应用

电磁超声表面波检测方法主要用于检测表面或近表面不连续。

4.5 影响因素

电磁超声表面波检测方法的相关影响因素：

- a) 被检工件导电导磁特性；
- b) 被检工件温度；
- c) 检测提离值。

5 安全要求

本章没有列出进行检测时所有的安全要求,使用本标准的用户应在检测前建立安全准则。

检测过程中的安全要求至少包括 GB/T 34885 中规定的要素。

6 人员要求

执行本标准实施检测的人员,应按照 GB/T 9445 或合同各方同意的体系进行资格鉴定与认证,并由雇主或其代理对其进行岗位培训和操作授权。

7 检测工艺规程

7.1 按本标准的要求制定电磁超声表面波检测工艺规程时,其内容至少宜包括如下要素:

- a) 适用范围;
- b) 依据的标准、法规或其他技术文件;
- c) 检测人员资格;
- d) 检测设备和器材;
- e) 被检产品信息及检测前的准备要求:材质、几何形状与尺寸、设计与运行参数、表面状态;
- f) 检测条件(温度、介质等);
- g) 检测表面准备;
- h) 检测时机;
- i) 检测程序和检测方法;
- j) 检测的标记和原始数据记录表格;
- k) 检测后的操作要求;
- l) 检测结果的评价及处理方式;
- m) 检测报告格式和要求;
- n) 编制(级别)、审核(级别)和批准人;
- o) 编制日期。

7.2 工艺规程应经验证。当重要因素或其他对检测灵敏度有严重影响的因素发生变化时,工艺规程应重新验证。

8 检测设备和器材

8.1 检测系统

检测系统应至少包括电磁超声表面波换能器和电磁超声检测仪器,必要时还应有扫查装置、退磁装置和操作辅助装置。仪器和探头产品应具有质量合格证明。

8.2 仪器

采用电磁超声检测仪,其工作频率范围一般为 0.2 MHz~5 MHz,发射频率宜能连续微调,调节步长不大于频率 2%,信号幅度应在满屏高范围内呈线性显示。仪器应具有不小于 80 dB 的连续可调增益,每挡步进不大于 2 dB,在任意相邻 12 dB 的误差不超过 1 dB,且最大累计误差不超过 1 dB。仪器水平线性误差不大于 1%,垂直线性误差不大于 5%。

8.3 换能器

适用于本标准的电磁超声换能器:

- a) 能在检测对象表面激励表面波的电磁超声换能器；
- b) 表面波探头频率范围一般为 0.2 MHz~5 MHz,表面波探头的频率是以固定的波长确定的；
- c) 探头类型包括双向表面波探头、单向表面波探头、聚焦型表面波探头；
- d) 探头偏置磁场可采用永磁体或电磁铁；
- e) 电磁超声探头的线圈尺寸不宜超过 50 mm。

8.4 系统性能

检测系统在达到被检工件的最大检测声程时,信噪比不应小于 10 dB,且有效系统灵敏度余量不应小于 10 dB。电磁超声检测仪器和探头组合的实测频率与探头标称频率之间的误差不应超过 $\pm 10\%$ 。

8.5 对比试块

8.5.1 对比试块的厚度应大于 5 倍表面波波长,宽度应大于探头宽度的两倍,长度应大于检测范围。除形状和尺寸外,对比试块的其余技术要求应符合 GB/T 23905 的规定。

8.5.2 对比试块应根据验收标准或合同方商议设置人工刻槽反射体,人工反射体的位置及几何形状应考虑边界反射信号的干扰。

8.5.3 当采用对比试块方法校准时,应依据相应验收标准或供需双方约定选择合适的刻槽尺寸。

8.5.4 焊缝对比试块应考虑以下方面：

- a) 试块应保证与被检工件的材质、厚度、表面状态相同,其焊接磁性能和热处理状态也应与被检工件保持一致,且试块上不应有影响人工反射体正常指示的不连续性,试块的尺寸应满足 8.5.1 的要求；
- b) 人工反射体应满足灵敏度等级和对焊缝表面区域的完全覆盖性；
- c) 人工反射体应制作在焊缝、热影响区或与焊缝平行的母材上,人工反射体的方向和长度、深度、宽度的尺寸由合同各方协议规定,也可与焊缝工件的验收标准一致；
- d) 采用衍射法检测的人工反射体可为焊缝中的通孔,通孔直径由合同各方协议规定。

8.6 检测辅助装置

检测辅助装置包括：

- a) 电磁超声表面波探头移动装置,移动方式宜选择万向移动,便于检测扫查时探头移动和转动；
- b) 手动扫查辅助装置；
- c) 扫查时应配备位置记录装置；
- d) 高温表面检测时探头操作辅助装置。

8.7 检测系统的维护和校准

检测系统的维护和校准应至少包括：

- a) 制定书面规程,对检测设备进行周期性维护和检查,以保证系统功能；
- b) 定期校验仪器的水平线性(时基线性)、垂直线性(幅度线性)；
- c) 在每次使用前测试系统的分辨力；
- d) 按 JB/T 9214 测试系统性能；
- e) 现场每次检测前,检查仪器设备和探头外观、线缆连接情况、信号显示等是否正常；
- f) 每年至少要对电磁超声仪器及换能器组合性能进行一次校准并记录。

9 检测程序

9.1 检测前的准备

9.1.1 检测工艺规程

应根据合同各方要求,结合使用的检测设备和实际工况,在检测前按照第 7 章所述的检测工艺规程编制电磁超声表面波检测工艺规程。编制检测工艺规程,应符合 GB/T 5616 的规定。

9.1.2 检测时机

在采用电磁超声表面波检测时,检测时机及抽检比例应按产品标准及有关技术文件要求进行确定。无相应标准及规定时,则由合同各方约定。

9.1.3 扫查路径

探头扫查路径是电磁超声表面波探头检测时检测移动的线路,应确保工件的整个被检表面均能被探头发出的表面波所覆盖。

9.1.4 表面清理

应清除被检表面上的锈蚀产物、毛刺飞边、油污、飞溅、金属碎屑和浮渣等影响表面波传播或损坏探头的杂物。

9.2 检测灵敏度和范围

9.2.1 概述

脉冲反射法和透射衰减法应按照验收标准或合同各方商议选择以对比试块人工刻槽或被检工件直角棱边作为参考反射体或者透射阻碍体。

应以电磁超声探头固定的波长尺寸,按照表面波声速匹配发射和接收超声频率,用参考反射体(如图 6 和图 7 所示,其中图 6 为单探头反射法,图 7 为双探头反射法)或者透射阻碍体进行调节。

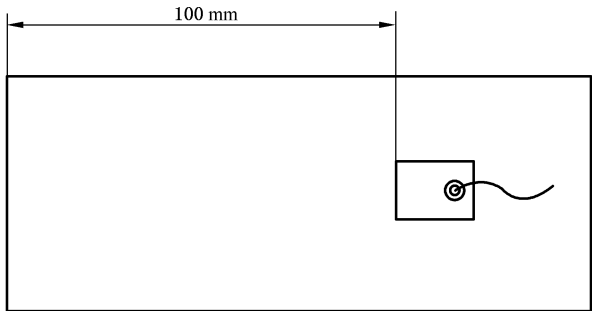


图 6 单探头反射法检测调节示意图

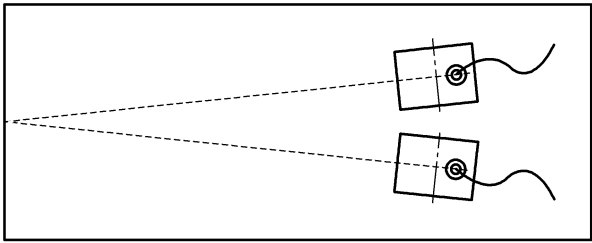


图 7 双探头反射法检测调节示意图

衍射法应按照验收标准或合同各方商议选择一定直径的直通孔作为参考衍射体。

9.2.2 非聚焦单探头脉冲反射法检测灵敏度调节

探头应放置在距参考反射体 100 mm 处,并使表面波主声束垂直于刻槽或棱边,调节最大幅度的参考反射体回波至满屏的 80%波高作为基准灵敏度,其他距离检测灵敏度参考距离-波幅曲线。

9.2.3 聚焦单探头脉冲反射法检测灵敏度调节

探头应置于距参考反射体刻槽焦距处,并使表面波主声束垂直于刻槽或棱边,调节参考反射体回波的最大幅度至满屏的 80% 波高作为基准灵敏度,其他距离检测灵敏度参考距离-波幅曲线。

9.2.4 双探头脉冲反射法检测灵敏度调节

设置发射和接收探头的间距和夹角,探头对声束交叉点应置于参考反射体处,并使声束角平分线垂直于刻槽或棱边,调节参考反射体回波的最大幅度至满屏的 80% 波高作为基准灵敏度,其他距离检测灵敏度参考距离-波幅曲线。

9.2.5 双探头透射衰减法检测灵敏度调节

设定一发一收探头间距,两探头位于同一中心线上,互相对准,放置于对比试块没有反射体的区域,调节穿透信号最大幅度至满屏的 80% 波高,以此作为基准灵敏度。该调节过程也可在检测工件没有不连续的区域进行。

9.2.6 脉冲反射法距离-波幅曲线

当检测声程范围较大,回波幅度变化超过 6 dB 时,应制作距离-波幅曲线。

按 9.2.1 中所得的 80% 波高为第一点,探头应至少放置于两个不同距离参考反射体的位置,分别测得各距离处的最大波高。连接不同距离处的最大波高点成一平滑曲线,即为表面波距离-波幅曲线(如图 8 所示)。且最远点所测得的最大波高不应低于满屏的 10%。

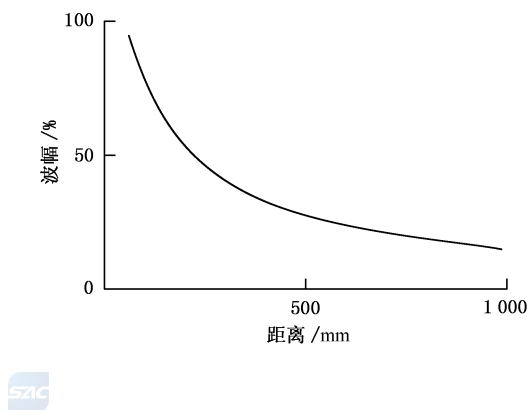


图 8 距离-波幅曲线

9.2.7 衍射法检测灵敏度调节

衍射法宜采用聚焦探头以提高灵敏度。探头焦点对准对比试块上的通孔,选择适当的焦距和频率对应的线圈,当回波波幅信噪比大于或等于 10 dB 时,取最大幅度的参考衍射体回波调节至满屏的 40%~80% 作为基准灵敏度。

9.2.8 检测范围

脉冲反射检测的时间闸门范围宜包括制作距离-波幅曲线的最近和最远参考反射体的距离范围,时间闸门起点应在影响接收回波的发射信号之后。

透射衰减法检测的时间闸门范围宜包括穿透信号,并考虑扫查时的声程变化。

衍射法检测的时间闸门范围宜包括衍射信号,并考虑扫查时的声程变化。

9.3 检测

9.3.1 扫查方式

9.3.1.1 反射法扫查方式

反射法检测时,电磁超声表面波探头工作于单探头自激自收或双探头一发一收模式。对于单探头检测,扫查路径宜沿被检工件表面两个相互垂直方向进行,扫查时探头宜呈 $10^{\circ}\sim 15^{\circ}$ 转动,如图 9 所示。对于双探头检测,固定探头角度时,扫查路径可沿被检工件表面两个相互垂直方向进行,也可沿一个方向进行扫查,同时旋转探头角度,如图 10 所示。

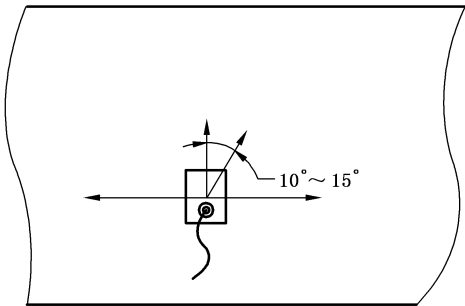


图 9 单探头反射法扫查示意图

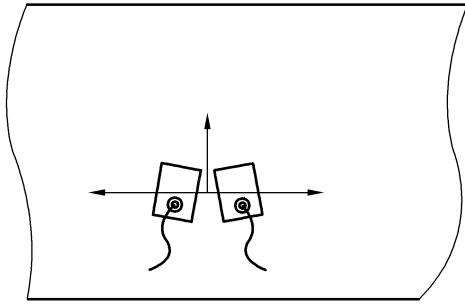


图 10 双探头反射法扫查示意图

9.3.1.2 透射衰减法扫查方式

透射衰减法检测时,电磁超声表面波探头工作于双探头一发一收模式,主要用于检测两个探头之间的表面不连续,扫查路径宜沿被检工件表面两个相互垂直方向进行,如图 11 所示。

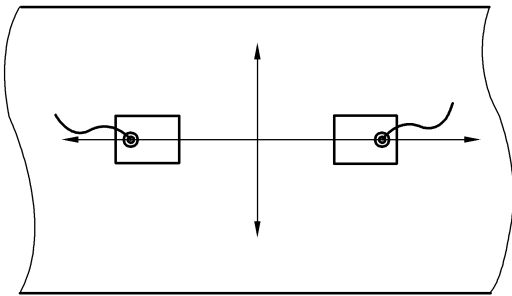


图 11 透射衰减法扫查示意图

9.3.1.3 衍射法扫查方式

衍射法检测时,电磁超声表面波探头工作于单探头自激自收或双探头一发一收模式,探头的布置应保证焦线与焊缝中心线成固定角度达到接收线圈能够接收到衍射信号,此时不应有焊缝的根部和余高的反射信号被接收;扫查路径沿着焊缝扫查,对于焊缝区域较小的薄板焊缝,可一次扫查实现全覆盖,否则应在焊缝两侧分别沿焊缝中心线扫查。

9.3.2 扫查速度



手动检测的扫查速度不宜超过 150 mm/s。当采用自动扫查时,扫查速度应通过试验进行确定。

9.3.3 扫查覆盖区

声线检测范围扫查覆盖的区域应包含需要检测的区域。

10 记录和评定

10.1 概述

对于反射法检测,除由表面杂质、油污、水滴或工件端面等引起的反射波之外,其他达到或超过距离-波幅曲线位于Ⅱ区的反射波均应作为不连续信号处理。位于Ⅰ区的反射波信号应考虑其是否由裂纹等危害性缺欠引起。

对于透射衰减法,除由表面杂质、油污、水滴等引起的表面波衰减,其他使透射波衰减达 6 dB 的应作为缺陷信号处理。

对于衍射法,除由表面杂质、油污、水滴等引起的表面波信号外,其他衍射信号幅度超过 30% 屏幕幅度的应作为不连续信号处理。

对于采用报警闸门模式的,可根据合同各方约定,适当降低信号变化的幅值。

10.2 不连续定量

若需对表面波反射法检出的不连续进行定量时,应在扫描路径上移动并转动探头,确定不连续最大反射信号,然后降低增益,降低回波高度到距离-波幅曲线,记录高出的 dB 差值,定量表示为“DAC+ Δ dB”。

若需确定不连续的长度,可采用磁粉检测或其他方法测其长度。

10.3 不连续记录

可采用图示法、照相等手段进行不连续记录,记录内容包括不连续位置、走向、与距离-波幅曲线的 dB 差值、长度及不连续分布图等。

10.4 不连续评定

应注意信号是否由裂纹性缺欠所形成,若无法判断,应辅以其他检测方法综合判定。

11 检测记录与报告

11.1 检测记录

应按检测工艺规程的要求记录检测数据和有关信息,除此之外,还应至少包括检测报告中的内容。所有记录的保存应符合有关法规、标准和(或)合同的要求。

11.2 检测报告

检测报告应包含以下内容:

- a) 委托单位、报告编号;
- b) 检测单位;
- c) 被检工件:名称、编号、规格、材质、热处理状态、表面状态;
- d) 执行标准、参考标准、检测工艺规程;
- e) 检测设备,包括仪器、探头等;

- f) 电磁超声表面波检测技术；
 - g) 电磁超声表面波探头的类型和频率；
 - h) 校准和对比试件的材料、尺寸、人工反射体形状；
 - i) 仪器检测状态参数的设置值；
 - j) 不连续记录及工件附图；
 - k) 检测结果及评定、验收条件；
 - l) 检测日期、检测人员和审核人签字及资格。
-

