



中华人民共和国国家标准

GB/T 39282—2020

无损检测 电磁声换能器(EMAT)技术 脉冲回波检测方法

Non-destructive testing—Testing method for pulse-echo 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 III

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 2

6 人员要求 3

7 检测工艺规程 3

8 检测设备和器材 3

9 检测程序 5

10 检测结果的评价与处理..... 7

11 检测记录与报告..... 8



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、中北大学、清华大学、浙江大学、武汉中科创新技术股份有限公司、广东汕头超声电子股份有限公司、合肥通用机械研究院有限公司、钢铁研究总院、中国科学院金属研究所、中国铁道科学研究院集团有限公司金属及化学研究所、中国科学院声学研究所。

本标准主要起草人:沈功田、郑阳、林俊明、胡斌、李素军、周进节、张宗健、谭继东、蓝麒、崔高宇、黄松岭、唐志峰、王子成、詹红庆、阎长周、张建卫、蔡桂喜、黄凤英、沈建中。

无损检测 电磁声换能器(EMAT)技术 脉冲回波检测方法

1 范围

本标准规定了采用电磁声换能器进行材料及构件中不连续脉冲回波直射超声检测的方法。

本标准适用于板厚 6 mm~100 mm 碳素钢、低合金钢和有色金属等板材的电磁超声检测,奥氏体不锈钢、奥氏体-铁素体双相不锈钢、铝及铝合金板材、钛及钛合金板材、镍及镍合金板材等板材的电磁超声检测可参照本标准执行。管材、锻件等原材料的电磁超声检测可参考本标准执行。

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 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 34885 无损检测 电磁超声检测 总则

JB/T 9214—2010 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

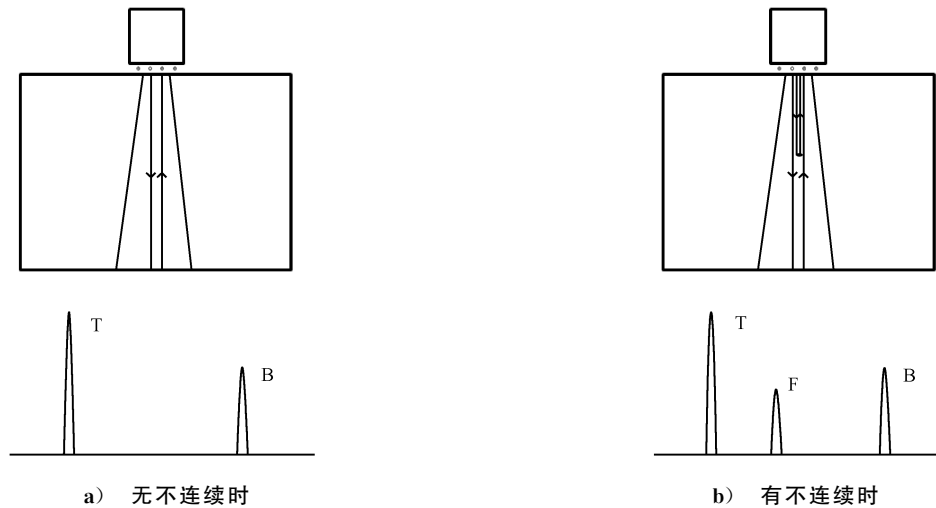
GB/T 12604.1 和 GB/T 34885 界定的术语和定义适用于本文件。

4 方法概要

4.1 检测原理

采用可产生垂直入射超声波的电磁超声换能器进行电磁超声直入射检测,通过超声波遇到不连续时产生的反射信号信息检测不连续位置和大小,如图 1 所示。电磁超声直探头可采用垂直于工件表面的偏置磁场和饼形、环形或蝶形线圈结构,激发和接收垂直于表面入射的超声横波;也可采用平行于工件表面的偏置磁场和跑道形或蝶形线圈,激发和接收垂直于表面入射的超声纵波。





说明：

T —— 初始脉冲；

F —— 不连续处一次回波；

B —— 底面一次回波。

图 1 检测原理示意图

4.2 优点及特点

电磁超声脉冲回波直射检测具有下列特点：

- a) 非接触检测, 无需耦合剂。适用于高温、低温、干燥或真空环境条件下的检测。适用于表面有覆盖层的工件检测。适用于快速和自动化检测。
- b) 能直接产生不同波型的超声, 包括纵波、各种偏振方向的横波(特别是水平偏振的横波)。

4.3 局限性

电磁超声脉冲回波直射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) 在某些场合下检测后需对工件进行退磁。

5 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如下要素：

- a) 在实施检测前, 应对检测过程中可能伤害检测人员的各种危险源加以辨识, 并对检测人员进行培训和采取必要的保护措施。
- b) 检测场地应避免强光、强磁场、强振动、腐蚀性气体、严重粉尘等影响电磁超声探伤仪器稳定性或检测人员可靠观察的因素。
- c) 检测人员应遵守被检件现场的安全要求, 根据检测地点的要求穿戴防护工作服和佩戴有关防护设备; 若有要求, 使用的电子仪器应具有防爆功能。
- d) 在进行在线检测时, 应制定特别的安全措施。
- e) 在封闭空间内进行操作时, 应考虑氧气含量等相应因素, 并采取必要的保护措施。
- f) 在高空进行操作时, 应考虑人员、检测设备器材坠落等因素, 并采取必要的保护措施。

- g) 在极端环境下进行操作时,如低温、高温等条件下,应考虑人员冻伤、烫伤、中暑等因素,并采取必要的保护措施。
- h) 永磁式电磁超声探头在运输、存放、搬运和使用过程中应避免强磁对人身安全、设备、仪器仪表和环境的影响。
- i) 检测时应注意磁场吸力导致的人员受伤和设备损坏及其他辅助电子设备的影响。
- j) 仪器操作中,应注意仪器本身和导线高压漏电检查,避免高压放电对人体或物品造成危害。

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 按照本标准的要求制定电磁超声脉冲回波直射检测工艺规程时,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 电磁超声仪器

8.2.1 工作频率

采用 A 型脉冲反射式电磁超声检测仪,发射频率可调,工作频率范围宜在 0.5 MHz~10 MHz 内

选择。

8.2.2 发射功率

电磁超声检测仪发射峰值功率宜大于 10 kW(500 V 20 A)。

8.2.3 增益

检测仪应具有 80 dB 以上的连续可调衰减器,步进级每挡不大于 2 dB,其精度为任意相邻 12 dB 的误差在 ± 1 dB 以内,在任意连续 60 dB 范围内最大累计误差不超过 2 dB。

8.2.4 显示范围

检测仪应具有连续可调的显示范围,且显示范围应不小于检测厚度。

8.2.5 线性

仪器至少在荧光屏满刻度的 80% 范围内呈线性显示。水平线性误差不大于 1%,垂直线性误差不大于 5%。

8.3 电磁超声探头

由于不同电磁超声探头的用途、参数和灵敏度不同,直射检测选用的电磁超声探头宜考虑以下方面:

- a) 根据检测需要,选择合适的电磁超声直入射探头。
- b) 探头频率选择。常用探头频率一般在 1 MHz~10 MHz。基于检测对象和灵敏度要求,选择合适的探头频率。对于厚度较小的被检件宜选用高频,对于厚度较大的被检件宜选用低频。
- c) 探头模态选择。可选横波或纵波探头。对于检测灵敏度要求较高时,宜选用横波探头。
- d) 探头线圈类型选择。根据被检材料尺寸结构和检测灵敏度要求选择合适的线圈类型。不同换能器线圈产生的辐射声场存在一定差异,需考虑声场的能量分布、扩散性和覆盖范围来选择合适的线圈;饼形、环形线圈产生的声场周向一致性好,蝶形线圈产生的声场声束较窄。
- e) 探头磁铁类型选择。换能器磁体可以为永磁体式的,也可以为脉冲磁铁式的。
- f) 探头接触面选择。常温检测时,选取具有耐磨接触面的探头;高温检测时,选取具有耐高温且耐磨接触面的探头,必要时探头与工件之间的空气隙高度可调;对于曲率较大的被检构件,应选取具有柔性前端的探头。

8.4 检测系统性能

检测系统为系统成套产品,电磁超声探头与检测仪配套使用。检测系统的性能指标应满足电磁超声检测系统能够发现对比试块中规定的平底孔,信噪比不小于 6 dB。

8.5 试块

8.5.1 标准试块

采用 JB/T 9214—2010 中规定的 DB-P 和 CSK-IB 试块评定和核查电磁超声检测设备,项目包括:灵敏度余量、垂直线性、水平线性、分辨力及盲区。

8.5.2 对比试块

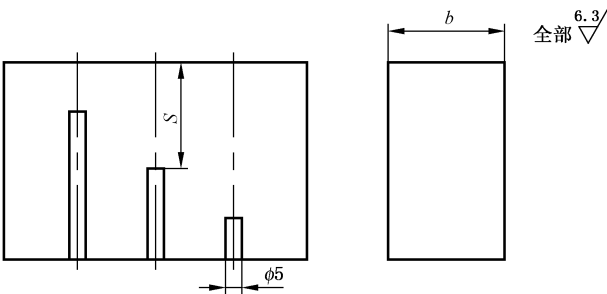
对比试块材质、超声特性、声学性能应与被检构件相同或相似,内部不应存在影响检测的不连续。

对比试块应设计加工一定数量的人工反射体,对比试块形状和尺寸如表 1 和图 2 所示。对比试块也可根据实际检测需求参考其他板材超声检测的对比试块尺寸加工,设置不同深度分布的参考反射体。对比试块上平底孔应垂直于工件表面,且表面平滑。

表 1 直入射电磁超声检测用对比试块 单位为毫米

试件编号	板材厚度 t	检测面到平底孔的距离 S	试块厚度 T	试块宽度 b
1	$>20\sim40$	10、20、30	40	30
2	$>40\sim60$	15、30、45	60	40
3	$>60\sim100$	15、30、45、60、80	100	40
注 1: 板材厚度大于 40 mm 时,试块也可用厚代薄。				
注 2: 为减轻单个试块尺寸和重量,声学性能相同或相似的试块上的平底孔可加工在不同厚度试块上。				

单位为毫米



注: 板材检测参考反射尺寸为 $\phi 5$ mm 平底孔,锻件检测时反射体尺寸由合同各方商定。

图 2 直入射电磁超声检测用对比试块示意图

8.6 操作辅助装置

高温检测时应配备电磁超声探头高温操作手柄。
非常温检测时应配备红外测温仪或其他测温仪器。
扫查时应配备位置记录装置。

8.7 检测设备的维护和校准

应制定书面规程,对检测设备进行周期性维护和检查,以保证仪器功能。
每年至少要对电磁超声仪器及探头组合性能中的水平线性、垂直线性、组合频率、灵敏度余量、直入射探头盲区进行一次校准并记录。A 型脉冲反射式的电磁超声设备测试方法应按 JB/T 9214—2010 进行。
现场每次检测前,应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。
现场进行检测时,如怀疑设备的检测结果,应对设备进行功能检查和调整,并对每次维护检查的结果进行记录。

9 检测程序

9.1 检测前的准备

9.1.1 资料审查

检测前应对被检构件的有关资料进行审查,为检测方案的制定和检测数据分析提供依据,资料审查



应包括：

- a) 被检构件制造文件资料：产品合格证、质量证明文件、竣工图等，重点了解其类型、结构特征和材质特性等；
- b) 被检构件运行记录资料：运行参数、工作环境、载荷变化情况以及运行中出现的异常情况；
- c) 被检构件检验资料：历次检验与检测报告；
- d) 被检构件其他资料：维护、保养、修理和改造的文件资料等。

9.1.2 现场勘查

现场工况对检测结果会造成不同程度的影响，为保证检测结果的有效性，现场勘查时应考虑如下因素：

- a) 如有可能，被检构件周围应避免有其他可能产生强烈电磁信号的环境噪声或系统噪声的设备存在，如存在，应停止这些设备的运行或降低其产生的噪声。
- b) 对于在役设备的检测，应对被检构件进行现场勘查，找出并设法排除可能影响检测结果的因素。同时，对被检构件进行定位标识。
- c) 现场确认被检构件检测部位壁厚、部位和检测面状况。现场实测被检构件检测部位壁厚应在仪器设备的有效检测范围内。被检构件表面应无影响检测的障碍物和干扰检测的异物，如有影响检测的铁屑或金属颗粒等应予清除，以保证检测正常进行。
- d) 对于带有粗糙表面、锈蚀表面或镀涂层的被检构件。当被检构件带有防锈涂层时，防锈涂层应是非导电、非导磁材料组成，厚度不宜超过 3 mm。

9.1.3 检测工艺规程或工艺卡的编制

对于每个检测工程或每个被检构件，应根据使用的仪器和现场实际情况，按照检测工艺规程来编制电磁超声检测工艺规程或工艺卡，确定电磁超声检测的部位和使用条件。检测部位应避免内部或外部附件的影响，同时对每个被检构件进行测绘，画出被检构件结构示意图。

检测工艺文件包括工艺规程和操作指导书。

9.1.4 扫查方式确定

根据电磁超声检测的目的、被检构件的形状尺寸和电磁超声探头声束参数，确定扫查方式，可选用全面扫查、列线扫查、边缘扫查和格子扫查。

9.1.5 检测速度确定

手动检测的扫查速度不宜超过 150 mm/s。当采用自动报警装置扫查时，扫查速度应通过对比试验进行确定。

9.2 仪器调试

检测前应对仪器进行系统功能性检查和测试。采用相关的试块对各参数进行必要测试。

9.3 检测系统校准

9.3.1 概述

检测系统（探头、导线、仪器及辅助装置）每次实施检测前都应校准，以保证检测结果的准确性，每次校准均应记录。系统校准包括位置校准和灵敏度校准。

9.3.2 检测位置

当采用具有跟踪记录检测位置的扫查装置时,应对扫查装置进行位置校准。

9.3.3 检测灵敏度

检测灵敏度由被检构件技术文件要求、有关标准或合同相关方商议确定。

采用适用厚度的对比试块参考反射体确定基准灵敏度,材料厚度大于 20 mm 时应制作距离-波幅曲线。

板材检测且厚度小于或等于 20 mm 时,可采用与工件等厚部位试块第一次底波调整到满刻度的 50%,再提高 10 dB 作为基准灵敏度。

检测灵敏度一般比基准灵敏度高 6 dB。

9.4 检测时机

宜与用户确定检测时机和条件。

9.5 检测

9.5.1 扫查方式

具体扫查方式应按 9.1.4 确定。

当发现不连续信号时,移动探头使之能在显示屏上得到最大发射幅度(或波高)。

9.5.2 检测速度

最大的检测速度应按 9.1.5 确定。

9.5.3 检测盲区

检测盲区应根据对比试验确定。

9.6 检测系统复核

9.6.1 在下列情况下,应对电磁超声检测设备进行复核:

- a) 每次检测开始前和结束后;
- b) 仪器连续工作 4 h;
- c) 探头或导线更换时;
- d) 检测材料类型改变时;
- e) 工作表面温度引起声速明显变化时;
- f) 怀疑检测设备工作不正常时;
- g) 合同各方有争议或认为有必要时。

9.6.2 若复核读数偏差超过仪器允许误差,则对检测开始或上次复核以来的全部测量数据予以复测。

10 检测结果的评价与处理

测厚时直接读取仪器所示厚度值。

探伤时应根据检测对象、目的或用户的要求采用相应的标准进行结果评价。

对发现的不可接收信号按合同各方约定进行处理。

11 检测记录与报告

11.1 检测记录要求

应按检测工艺规程的要求记录和保存检测数据和有关信息。

11.2 不连续记录和定量

11.2.1 不连续记录

在检测过程中发现下述情况应记录：

- a) 不连续第一次反射波波高大于或等于荧光屏满刻度的 50%；
- b) 当底面第一次反射波(B1)波高未达到荧光屏满刻度时,不连续第一次反射波(F1)波高与底面第一次反射波(B1)波高之比大于或等于 50%；
- c) 当底面第一次反射波(B1)波高低于满刻度的 50%。

11.2.2 不连续的定位与定量

检测出不连续后,按下述方法对不连续进行定位与定量：

- a) 被检材料厚度小于或等于 20 mm 时,移动探头使不连续波下降到基准灵敏度条件下显示屏满刻度的 50%,探头中心点即为不连续的边界点；
- b) 被检材料厚度大于 20 mm~60 mm 时,移动探头使不连续波下降到距离-波幅曲线,探头中心点即为不连续的边界点；
- c) 确定 11.2.1 c) 中不连续的边界范围时,移动探头使底面第一次反射波上升到基准灵敏度条件下显示屏满刻度的 50%或上升到距离-波幅曲线,此时探头中心点即为不连续的边界点；
- d) 不连续边界范围确定后,用一边平行于板材压延方向矩形框包围不连续,其长边作为不连续的长度,矩形面积则为不连续的指示面积；
- e) 上述定量过程中还应记录不连续的反射波幅或当量平底孔直径。

11.3 不连续的评定

宜根据检测对象、目的或用户的要求采用相应的标准或合同各方约定进行不连续评定。

11.4 检测报告

检测报告应至少包括如下内容：

- a) 委托单位、报告编号；
- b) 检测单位；
- c) 被检构件(设备)规格、几何尺寸、材料牌号、公称厚度、涂层厚度、表面状态；
- d) 执行标准、参考标准；
- e) 检测仪器名称、型号；
- f) 探头的类型和频率；
- g) 校准和对比试件的材料、尺寸、人工反射体的形状；
- h) 仪器检测状态参数的设置值；
- i) 用图示标明检测部位；

- j) 检测设置文件名称及数据文件名称(适用时);
 - k) 用草图、标记或照相描述并定位超出验收标准的不可接收信号的指示及位置示意图;
 - l) 验收准则及检测结论;
 - m) 检测日期、检测人员和审核人签字及资格。
-