



中华人民共和国国家标准

GB/T 20935.3—2009

金属材料电磁超声检验方法 第3部分：利用电磁超声换能器技术 进行超声表面检测的方法

Method of electromagnetic acoustic inspection for metal materials—
Part 3: Standard test method for ultrasonic surface examinations using
electromagnetic acoustic transducer (EMAT) techniques

2009-10-30 发布

2010-05-01 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

前 言

GB/T 20935《金属材料电磁超声检验方法》分为如下 3 个部分：

- 第 1 部分：电磁超声换能器指南；
- 第 2 部分：利用电磁超声换能器技术进行超声检测的方法；
- 第 3 部分：利用电磁超声换能器技术进行超声表面检测的方法。

本部分为 GB/T 20935 的第 3 部分。

本部分等同采用 ASTM E1962-04《利用电磁超声技术进行超声表面检测的方法》(英文版)。

本部分与 ASTM E1962-04 有关差异如下：

- 将规范性引用文件 ASTM E1316《无损检测术语》改为 GB/T 12604.1 和 GB/T 12604.6；
- 将规范性引用文件 ASTM E1774《电磁超声换能器指南》改为 GB/T 20935.1；
- 将规范性引用文件 ASTM E1816《利用电磁超声换能器技术进行超声检测的方法》改为 GB/T 20935.2；
- 将规范性引用文件 SNT-TC-1A《无损检测人员资格鉴定与认证》、ANSI/ASNT CP-189《无损检测人员资格鉴定与认证标准》和 MIL-STD-410《无损检测人员资格鉴定与认证》改为 GB/T 9445；
- 将规范性引用文件 ASTM E587《超声波接触式斜探头检验方法》改为 GB/T 11343；
- 将规范性引用文件 ASTM E543《无损检测机构的规程》删除。

为便于使用，本部分做了下列编辑性修改：

- “本方法”一词改为“本部分”；
- 在第 2 章中插入 GB/T 1.1—2000 规定的引导语；
- 将以英制单位作为标准单位改为以国际单位作为标准单位；
- 删除原 ASTM 标准中的关键词；
- 删除原 ASTM 标准中的参考文献。

本部分由中国钢铁工业协会提出。

本部分由全国钢标准化技术委员会归口。

本部分起草单位：钢铁研究总院、冶金工业信息标准研究院。

本部分主要起草人：贾慧明、范弘、张建卫、董凯、黄颖。

金属材料电磁超声检验方法

第3部分:利用电磁超声换能器技术 进行超声表面检测的方法

1 范围

- 1.1 GB/T 20935 的本部分介绍了利用电磁超声换能器技术检测材料表面开口的不连续性(如:裂纹、裂缝、折叠、冷隔、分层、通漏、未熔合)的方法。本方法也可灵敏地检出距表面小于或等于瑞利波波长范围内的近表面缺陷和不连续性。
- 1.2 本部分介绍了一种利用电磁场在材料中产生超声波的非接触检测技术。
- 1.3 本方法适用于可由电磁方法产生声波的所有材料,包括导电材料、铁磁性材料和铁磁性导电材料。
- 1.4 本部分介绍的方法可应用于产品生产过程的检测、最终产品的检测和维护的检测。
- 1.5 本部分未介绍检出不连续性的评定标准,对不连续性的判定、分级和最终评定,应在其他技术规范或协议中根据不连续性类型、大小、位置和取向判定是否合格做出规定。
- 1.6 本部分以国际单位作为标准单位。
- 1.7 本部分不论述与使用有关的安全问题。使用者有责任在使用前制定有益安全和健康的规程,并确定其适用范围。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过 GB/T 20935 的本部分的引用而成为本部分的条款。凡是注日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本部分,然而,鼓励根据本部分达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件,其最新版本适合于本部分。

GB/T 9445 无损检测 人员资格鉴定与认证(GB/T 9445—2008,ISO 9712:2005,IDT)

GB/T 11343 无损检测 接触式超声斜射检测方法(GB/T 11343—2008,ASTM E587-00(2005),MOD)

GB/T 12604.1 无损检测术语 超声检测(GB/T 12604.1—2005,ISO 5577:2000,IDT)

GB/T 12604.6 无损检测术语 涡流检测

GB/T 20935.1 金属材料电磁超声检验方法 第1部分:电磁超声换能器指南(GB/T 20935.1—2007,ASTM E1774-96(2002),IDT)

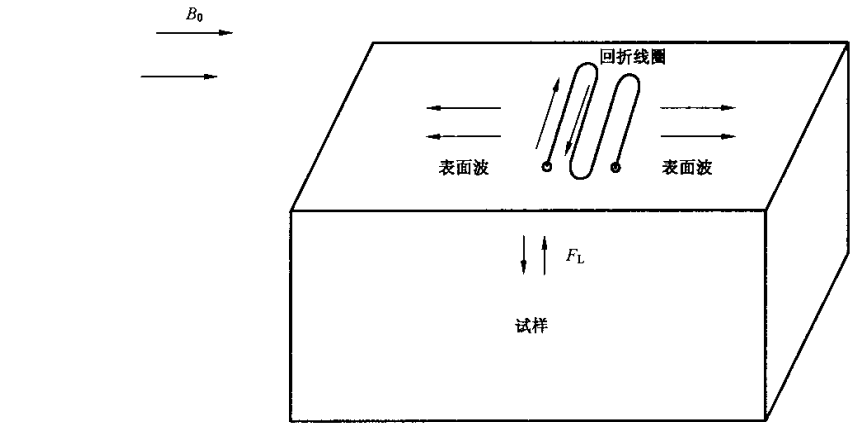
3 术语和定义

GB/T 12604.1、GB/T 12604.6 和 GB/T 20935.1 确立的术语和定义适合于本部分。

4 检测方法概述

- 4.1 本部分介绍了利用电磁方法产生瑞利波技术灵敏地检测出材料表面或近表面的缺陷或不连续性,通过声波在不连续性界面的反射或衰减来检测缺陷。
- 4.2 图1为一种典型的可产生瑞利波的电磁超声换能器装置。外磁场 B_0 平行地施加于铁磁性材料表面,该磁场可由永久磁铁、脉冲电磁铁或直流电磁铁提供。回折形射频线圈平置于被检材料的表面,磁力线沿线圈切线方向且垂直于导线。由专用的电磁超声换能器脉冲发生器产生的射频正弦波脉冲激励

线圈。通过感应在被检试样中产生表面电流,此电流与外磁场相互作用产生洛仑兹力,洛仑兹力作用于被检固体的晶格上产生表面声波。图中所示回折线圈产生的波是双向的,但通过特殊设计的回折线圈也可产生单向波。



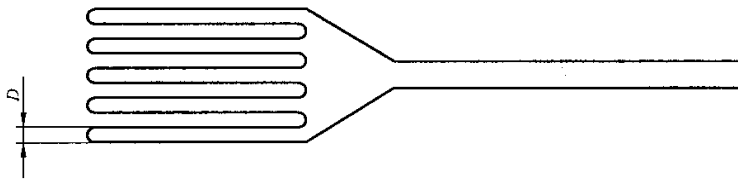
B_0 ——外部磁场强度;
 F_L ——洛仑兹力。

图 1 产生瑞利波的典型电磁超声换能器装置

4.3 图 2 所示的是一种典型的产生表面波的回折线圈。在满足式(1)的情况下,回折线圈才能产生瑞利波。

$$V_R = 2Df \dots\dots\dots (1)$$

式中:
 V_R ——瑞利波的波速;
 D ——相邻导体的间距;
 f ——频率。



D ——相邻导体的间距。

图 2 产生表面波的典型电磁超声换能器回折线圈

4.4 表面缺陷或不连续性使表面波发生反射或衰减,可以采用脉冲反射或一发一收的方式进行检测。在电磁超声换能器接收线圈附近,反射或衰减的超声波使磁场中导体发生振动,在接收线圈产生一个可以测量的电压(与发电机原理相似)。

5 意义和用途

- 5.1 对于一些需要灵活选择波模的应用场合,电磁超声换能器技术与传统的压电超声技术相比具有明显的优势。电磁超声换能器可高效地产生表面波。
- 5.2 由于电磁超声换能器能高效地产生表面波,利用表面波可有效地检出表面、近表面不连续性,因此它可用于传统的渗透和磁粉检验虽然有效但不希望使用的场合。
- 5.3 因为电磁超声换能器技术为非接触检测,所以它可应用于自动高速检测、运动物体的检测、远距离

危险环境下的检测、高温状态下的检测及粗糙表面状态下的检测。

5.4 本方法的目的是在对材料表面、近表面不连续性进行检测时,在传统的 PT、MT 方法外提出一种电磁超声换能器超声检测方法作为选择。

5.5 在使用电磁超声换能器时,要正确选择工作参数,需要知道被检工件的几何形状和预计缺陷的大致位置、尺寸、取向及反射率,还应知道电磁超声换能器的允许提高范围及超声波传播的物理规律,在电磁超声换能器表面检测的各种应用都要依照上述方法选择工作参数。

6 应用基础

6.1 在执行或参照本标准时,以下条款应服从于合同双方协议要求。

6.1.1 人员资格

如果合同协议要求,检测人员应具有国内或国际认可的人员资格,符合 GB/T 9445 或其他标准要求。使用的标准、条例及其使用版本应在各方之间的协议中说明。

6.1.2 无损检测机构的资格

如果合同协议要求,NDT 机构应按照相关标准评估和认证,应在协议中规定标准的使用版本。

6.1.3 方法和技术

使用的方法和技术应在协议中规定。

6.1.4 表面准备

除非特殊说明,检测前的表面状况应符合 10.2.2 要求。

6.1.5 检测时间和范围

应在协议中规定检测时间和范围。

6.1.6 报告内容/验收标准

除特殊说明,检测结果报告应与第 12 章要求的一致。验收标准应在双方协议中予以规定。

6.1.7 修复/返工后的复检条款

本部分不包含修复/返工后的复检条款,若需要,可在双方协议中加以说明。

7 技术

7.1 本部分介绍了三种不同的电磁超声换能器表面波检测技术。第一种是用脉冲反射或一发一收技术检测表面波的反射;第二种是用一发一收方法灵敏地检测表面波的衰减;第三种是利用聚焦回折线圈的表面波衍射技术。

7.2 脉冲反射或一发一收表面波反射技术

该技术与传统的超声技术类似,使用一个(脉冲反射法)或两个(一发一收法)电磁超声换能器传感器接收从缺陷反射回来的表面波,其优点是操作简单。此技术的一个缺点是若不精确设定扫查路径,很难检出所有取向的不连续性。当该技术应用于焊缝检测时,焊缝根部和余高产生的反射会干扰缺陷信号甚至埋设缺陷信号,此干扰可利用后面推荐的另两种技术中的一种来避免。

7.3 一发一收衰减技术

按图 3 所示传感器的排列是衰减技术最有效的应用。该技术是通过记录超声信号的衰减来检测缺陷,传感器通过小的永久磁铁产生相互垂直的窄表面波束。使用此技术应采用双通道电磁超声换能器仪器,单通道也可使用,在使用单通道检测时,发射线圈和接收线圈应串联连接。其中,一对发射接收传感器间的距离要稍稍加长,在时间上将两个接收信号分开。这种排列允许将两组电磁超声换能器线圈同时连接到一个通道上。衰减技术的一个优点是对所有取向的缺陷都很敏感,另一优点是能同时在焊缝两边进行扫查,且每一边的扫查面都很大。衰减技术的一个与波束宽度有关的缺点是:为满足最小 6 dB 衰减,此波束必须窄或聚焦。

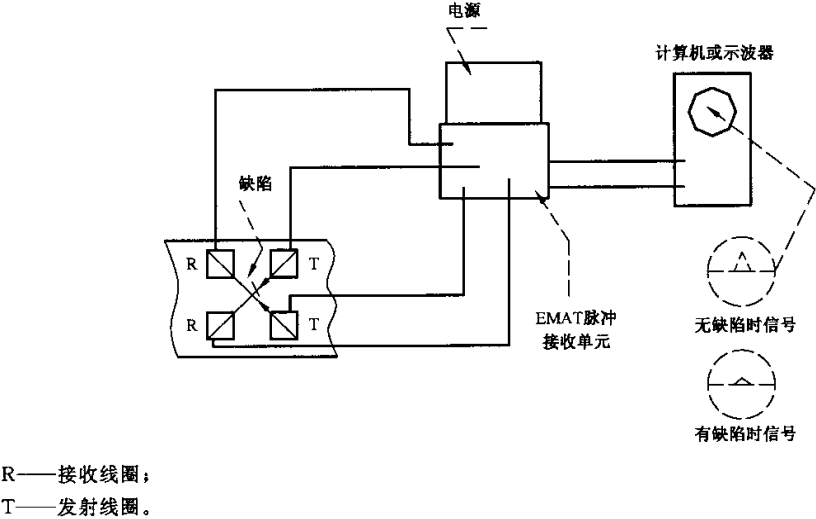


图 3 衰减技术

7.4 衍射技术

衍射技术的原理如图 4 所示。两个焦线重合的电磁超声换能器(发射线圈和接收线圈)或一个脉冲反射式电磁超声换能器要与焊缝中心线成一定角度(衍射角度)放置,使焊缝的根部和余高作为镜面反射体,其反射信号被反射出电磁超声换能器的接收线圈,使用衍射技术可在很大的角度范围内检出缺陷。单点衍射或多点衍射取决于缺陷与超声波波长的比值,自然缺陷(如疲劳裂纹)有许多点衍射源的界面,因此利用此技术,能有效地检测出几十毫米长的自然缺陷。表面波可被近似聚焦到焦点区(此区域最长可达一个波长),它的一个显著优点是选择合适的聚焦深度能增大每次扫描的覆盖范围。对多数焊缝而言,从焊缝的一侧即可完成焊缝一半的扫描。除了平行于入射声束的裂纹,单个电磁超声换能器传感器可灵敏地检出所有取向的不连续性。具有正、负衍射角的两个传感器可灵敏地检测出所有取向的不连续性。

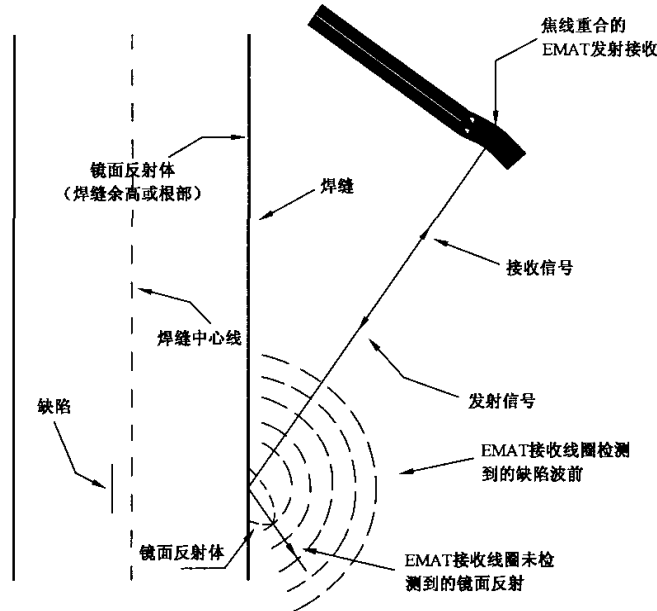


图 4 衍射技术

8 装置

8.1 装置由电磁超声换能器传感器和仪器构成,传感器由射频线圈和磁铁组成,仪器由脉冲发生器/接收器、数据采集系统、显示装置(如示波器)、阻抗匹配网络、前置放大器(推荐使用)及连接脉冲器/接收器至传感器的屏蔽电缆组成。

8.2 线圈设计

8.2.1 回折线圈用于产生表面波。为得到指定频率,线圈导体间距的设计见 4.3。线圈可以是聚焦或非聚焦的,这取决于所采用的技术及所需的分辨率和灵敏度。图 5 给出了一个典型的聚焦探头设计参数,与衍射技术中的应用类似。许多电磁超声换能器线圈是通过在柔性聚酰胺胶片上光刻出印刷线路板而制成的,线圈表面有一层很薄的泡沫材料,并镀有很薄 0.025 4 mm~0.127 mm 的高分子聚乙烯或钛作为耐磨层。耐磨层的目的就是保证电磁超声换能器线圈的提离值恒定,耐磨层是柔性的,可适应不规则或弯曲的表面。聚酰胺胶片一般为 0.025 4 mm 或 0.050 8 mm 厚。由于焊接余高的影响,无论采用何种技术,使用频率都应小于理论上所需的频率,以使焊缝表面粗糙度的影响最小。

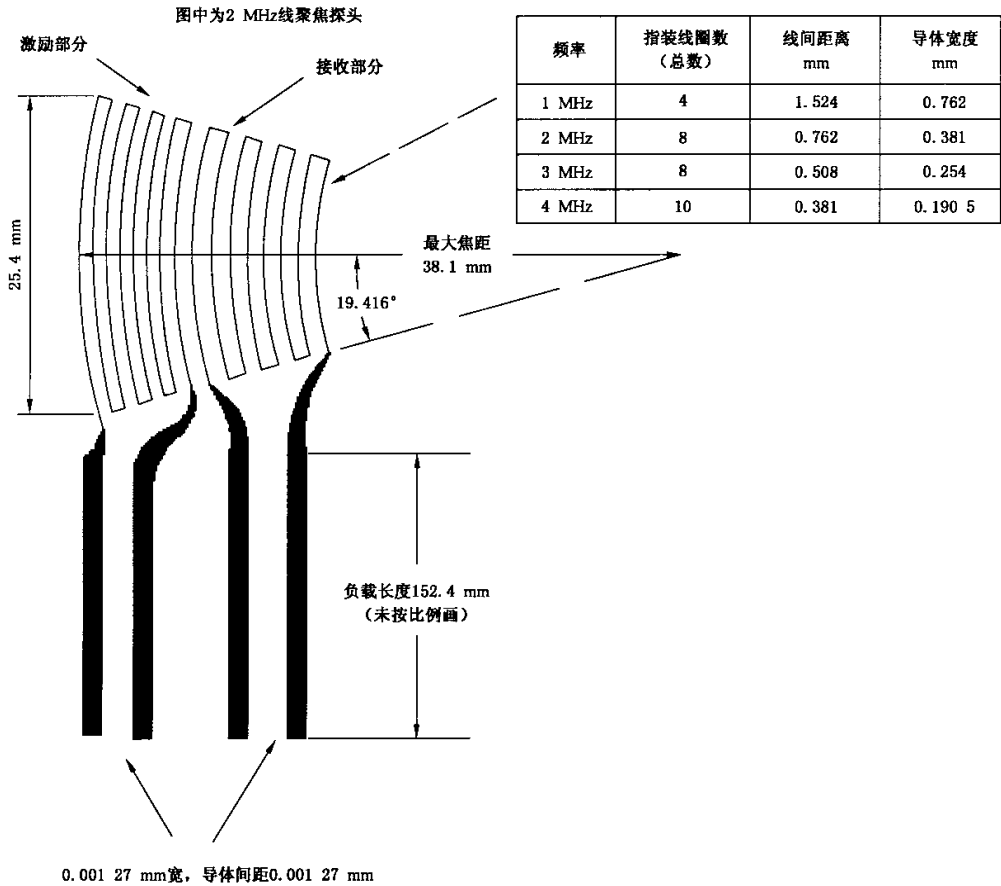


图 5 典型电磁超声换能器聚焦线圈的设计参数

8.2.2 衍射技术采用的典型工作频率为 1 MHz,衰减技术的典型工作频率为 2 MHz。用于衰减技术的线圈如图 6 所示。聚酰胺胶片的外延部分应固定在装卡磁极的机械夹具中。

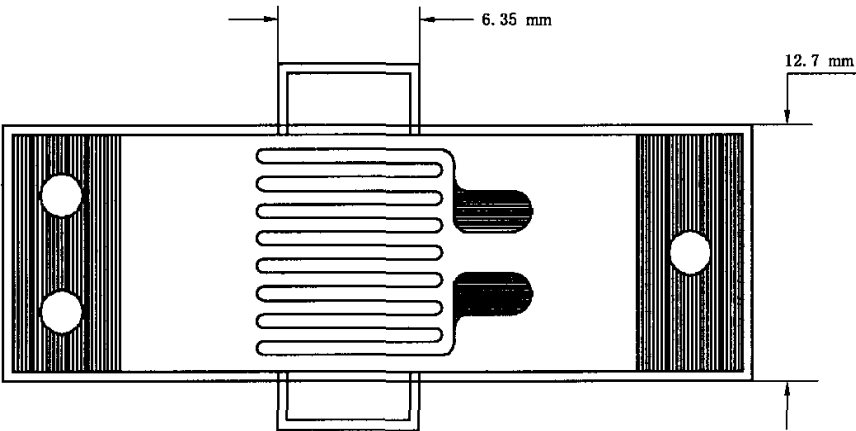


图 6 用于衰减技术的典型电磁超声换能器线圈

8.3 线圈的激励

需要采用专用的大功率射频发射电路以周期脉冲串形式激励线圈。

8.4 磁场

钕铁硼永久磁铁可用于所有的电磁超声换能器表面波技术。用于衰减技术和衍射技术的典型磁铁尺寸及所产生的磁感应强度 B 的方向如图 7 所示, B 的方向与射频线圈及被检表面相垂直。由于使用永久磁铁使传感器的结构紧凑, 所以应用广泛。如果适用, 也可使用交流磁铁或脉冲电磁铁。对于铁磁性材料, 磁场方向既可平行于、也可垂直于导体的检测面。对于非铁磁材料, 磁场方向应垂直于检测面。

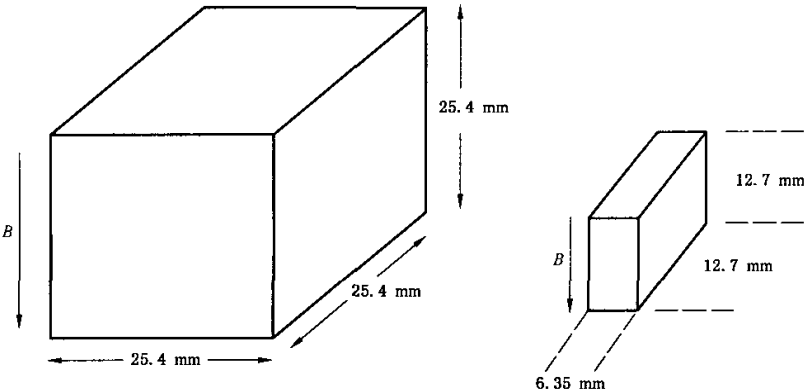


图 7 永久磁铁

8.5 仪器

接收单元由信号处理和数据采集电路组成, 可对电磁超声换能器信号进行增益调节和滤波, 传统的超声仪器也有此功能。操作者可用多种方式采集、分析电磁超声换能器信号。计算机配上 A/D 转换板及相应的超声探伤软件即可组成一套有效配置。还可以采用与传统超声仪器类似的简单配置, 将模拟信号输出至示波器提供所需结果。另外, 为了给信号采集提供准确的触发, 需要脉冲发生器/接收器的同步电路。

8.6 对比试样

8.6.1 用于系统校准的对比试样应与被检材料具有相同的材质、厚度、表面状态及热处理过程。除了调整灵敏度所需的标准反射体外, 对比试样不应存在不连续性或其他异常状态。标准反射体的长度、宽度和深度应与验收标准相同。

8.6.2 由于电磁超声换能器一般是双向发射,因此边角反射会与标准反射体反射相混淆。所以必须设计标准反射体的位置及其几何形状,以避免相互干扰。

8.6.3 焊接件表面检测的对比试样

8.6.3.1 用于系统校准的对比试样应是具有一定长度的焊接件,应与被检材料具有相同的材质、焊接磁性能、厚度、表面状态及热处理过程。试样不应存在不连续性或其他异常状态,以免干扰标准反射体的检测。选择的标准反射体要确保与焊缝区域内规定的灵敏度和规定的取向相同,标准反射体一般由电腐蚀设备或机械设备制作。

8.6.3.2 标准反射体可制作在焊缝处、母材的焊缝热影响区或与焊缝平行的母材中,这些应在焊接件验收协议中加以规定。

8.6.3.3 槽的取向及长、深、宽的尺寸可由使用方或双方协议规定,也可与焊接件的验收协议相一致。

8.6.3.4 槽深度应测定表面到槽的最深处和最浅处的值。测量方法可采用光学、复形、机械或其他技术。槽深度通常定义为公称厚度的百分比。

8.6.3.5 必须设计标准反射体的位置和试样的几何形状,以免边角反射与标准反射体的反射相互干扰。

9 校准

9.1 由于电磁超声换能器与传统的压电检测装置不同,它不是通用的商业产品,因此,设计者应保证电磁超声换能器使用前的灵敏度和频率特性。为此有必要专门为电磁超声换能器系统制作对比试样。

9.2 在检测前,推荐使用标准要求的或协议中规定的试样校准电磁超声换能器系统。

9.3 对比试样应与被检材料有类似的超声特性,对于特殊的应用,要按第8章要求进行选择。

9.4 与传统超声应用相同,如果对比试样上的标准反射体信号幅度与检测试样不同,应进行衰减补偿。

9.5 当系统或操作者变化时,应使用对比试样重新核验校准。

9.6 检测过程中,每运行4 h就要对系统进行校准或按协议规定校准系统,以保证电磁超声换能器系统的准确性。不论何时,只要信号与对比试样开始时相差10%或更多,就应对系统进行调整。

9.7 当电磁超声换能器工作在扫查方式时,应对扫查速度与信号采集是否匹配进行验证,以保证达到协议规定的检测分辨率。

9.8 除特别规定,电磁超声换能器系统一般提供A扫描显示方式。

9.9 特殊的应用应进行特殊的校准,表面波检测的一般校准步骤见9.10。

9.10 表面波检测

9.10.1 对比试样的选择

在协议中应规定对比试样上标准反射体的尺寸、取向和类型。调整装置时应有清晰的显示以确保检测灵敏度。

9.10.2 如需对反射体进行精确定位,校准应按GB/T 11343对表面波的规定进行。

10 检测方法

10.1 表面波的脉冲反射技术或一发一收反射技术

10.1.1 本部分介绍了利用脉冲反射或一发一收电磁超声换能器技术检测工件表面不连续性的方法,这些方法是经过验证的,但并非唯一可用的方法。

10.1.2 被检工件表面应无氧化皮、污物、飞边、夹渣和溅物,且表面不应有干扰检测结果或损害电磁超声换能器探头的状态。

10.1.3 在检测焊缝或母材的表面时,操作者应把电磁超声换能器探头置于被检材料上。触发脉冲信号被送至电磁超声换能器线圈脉冲发生器,如果使用数字电路,本脉冲同时被送至数字电路,脉冲串激励电磁超声换能器发射线圈,在外磁场中就会激发出超声波。此磁场也可由脉冲电磁铁、永久磁铁和直

流电磁铁提供。

10.1.4 瑞利波在被检工件的表面传播时,被表面不连续性阻挡而反射,电磁超声换能器接收线圈将检测到该反射波,在脉冲反射式中,发射线圈和接收线圈共用一个线圈,而在一发一收方式中,发射线圈和接收线圈是分离的两个线圈。

10.1.5 电磁超声换能器接收线圈得到的电压信号由低噪声前置放大器放大后,在信号处理系统的接收单元做进一步放大和滤波,最后将波形送至数字转换电路,不连续性以反射体的数字信号形式显示出来。在扫描模式下以相同的时间间隔重复上述过程,不连续性通过监视反射信号的幅度和传播时间来检出。

10.1.6 用对比试样对设备的检测灵敏度进行定期校准,在每次检验前和检验后都应进行校准。在设备连续工作中,至少每隔 4 h 重新校准一次,只要信号与最初对比试样校准时信号幅度相差 10% 或更多,就应对系统进行调整。

10.2 一发一收衰减技术

10.2.1 本部分介绍的是一种利用电磁超声换能器一发一收衰减技术来检测材料表面不连续性的方法,这些方法是经过验证的,但并非唯一可用的方法。

10.2.2 被检工件表面应无氧化皮、污物、飞边、夹渣和溅物,且表面不应有干扰检测结果或损害电磁超声换能器探头的状态。

10.2.3 在检测焊缝或母材的表面时,操作者应把电磁超声换能器探头置于被检材料上。在检测焊缝时两个电磁超声换能器分置于焊缝两侧,即一个电磁超声换能器放在焊缝一边,另一个电磁超声换能器放在焊缝的另一边。触发脉冲信号被送至电磁超声换能器线圈脉冲发生器,触发脉冲同时送给数字电路,脉冲串激励电磁超声换能器发射线圈,在外磁场中就会激发出超声波。此磁场可由脉冲电磁铁、永久磁铁或直流电磁铁供给。

10.2.4 发射线圈对中的一个线圈激发的瑞利波在被检工件的表面传播时,被表面不连续性衰减,电磁超声换能器接收线圈检测该波。另一对垂直放置电磁超声换能器发射/接收线圈与上面情况相同。

10.2.5 电磁超声换能器接收线圈得到的电压信号由低噪声前置放大器放大后,在信号处理系统的接收单元做进一步放大和滤波,最后将波形送至数字转换电路,不连续性以反射体的数字信号形式显示出来。同 7.2,电磁超声换能器仪器可是双通道的,也可是单通道仪器。

10.2.6 用对比试样对设备的检测灵敏度进行定期校准,在每次检验前和检验后都应进行校准。在设备连续工作中,至少每隔 4 h 重新校准一次,只要信号与最初对比试样校准时信号幅度相差 10% 或更多,就应对系统进行调整。

10.2.7 要直观的检出缺陷,就应合理选择标准反射体、线圈尺寸等使信号幅度至少衰减 6 dB。如果使用报警闸门,则要求相对较松。与压电超声相同,工件的表面粗糙度对衰减影响很大。使用电磁超声换能器时脱离(间隙)的变化就可能致误报,而压电超声技术采用衰减方法时,由于使用耦合剂,脱离不会造成信号幅度的变化。

10.3 衍射技术

10.3.1 本部分介绍了通过电磁超声换能器衍射技术检测工件表面不连续性的方法。这些方法是经过验证的,但并非唯一可用的方法。

10.3.2 被检工件表面应无氧化皮、污物、飞边、夹渣和溅物,且表面不应有干扰检测结果或损害电磁超声换能器探头的状态。

10.3.3 在检测焊缝或母材的表面时,操作者应把电磁超声换能器探头置于被检材料上。触发脉冲信号被送至电磁超声换能器线圈脉冲发生器,触发脉冲同时送给数字电路,脉冲串激励电磁超声换能器发射线圈,在外磁场中就会激发出超声波。此磁场可由脉冲电磁铁、永久磁铁或直流电磁铁提供。

10.3.4 瑞利波在被检工件的表面传播时,被表面不连续性阻挡而反射,电磁超声换能器接收线圈将检测到该反射波,在脉冲反射式中发射线圈和接收线圈共用一个线圈,而在一发一收方式中发射线圈和接

收线圈是分离的两个线圈。

10.3.5 电磁超声换能器接收线圈得到的电压信号由低噪声前置放大器放大后,在信号处理系统的接收单元做进一步放大和滤波,最后将波形送至数字转换电路,不连续性以反射体的数字信号形式显示出来。实际上衍射角内检测不到镜面反射开的焊缝余高和根部信号,在对焊缝进行直线扫描时,就可检出所有取向的表面缺陷,而检测不到焊缝余高的反射信号。

10.3.6 用对比试样对设备的检测灵敏度进行定期校准,在每次检验前和检验后都应进行校准。在设备连续工作中,至少每隔4 h应重新校准一次,只要信号与最初对比试样校准时信号幅度相差10%或更多,就应对系统进行调整。

11 结果判定

标准使用者和超声检验人员应就如何判定和记录检测结果达成一致。所有超过材料技术规范或订单要求的指示都应判定为不合格。

12 试验报告

检测时和报告中至少应记录如下信息:

- a) 检测方法:使用的仪器;对比试样的尺寸、缺陷描述和材质;电磁超声换能器的详尽描述,包括:尺寸、频率、类型;扫查方式等。
 - b) 结果:指示位置;测量厚度;检验人员和资格等级等。
-