

带防腐层焊缝疲劳裂纹的快速探伤

刘 凯

(厦门涡流检测技术研究所 厦门 361003)

沈功田

(国家质量监督检验检疫总局锅炉压力容器检测研究中心 北京 100013)

摘要: 防腐层下钢结构件的焊缝裂纹探伤和裂纹深度测量一直是困扰业界的难题,采用交流电磁场技术的 WELD SCOPE 裂纹探伤仪已能解决,而且简便快捷,并可估算出裂纹的深度值。该项目属国家“十五”科技攻关计划专题(2001BA803B03-3)。

关键词: 焊缝;防腐层;缺陷评定;数字化仪

1. 前言

在工业中广泛使用的压力容器、管道和结构件大都由钢铁制成,并存在许多焊缝,在长期作用力下,焊缝最容易受到损伤,最常见缺陷是由疲劳产生的表面裂纹。表面疲劳裂纹危害性比内部的埋藏裂纹危害性更大,尖锐的裂纹尖端会引起应力集中,促使裂纹快速扩展造成严重事故。因此,焊缝上的裂纹查找以及开裂的深度测量,一直是困扰业界的难题。超声波可以用来检查焊缝,但探头必须直接与工件表面直接耦合,而且操作复杂。通常是采用磁粉或渗透的方法来查找表面开口裂纹,然后由电位法来测量裂纹深度。上述几种方法都需要对被检物事先进行清洁处理,除去表面防腐层、漆层或污垢,检测效率低,这对要求在短短的检修期内检查大量焊缝的在役设备,是难于接受的。传统的涡流方法也能用来检测钢结构件,并无需清除表面较薄的污垢或漆层,然而这种方法只适用来检查母材上的裂纹,对焊缝上的裂纹却会因焊缝在高温溶合时产生的急烈的铁磁性变化而出现的杂乱无序的磁畴干扰而无法实施,当然高低不平焊冠和母材与焊接填充材料差异,也是造成检测困扰原因之一。

目前已有多种无损检测方法用于焊缝裂纹探伤:磁粉(MP)、渗透(LP)、超声波(UT)、X射线(RT)和涡流(ET),它们各自的优点缺点比较如下:

- 磁粉法最直接与相关,容易使用。但不适宜工件表面有涂层或表面潮湿的情况。
- 超声波法可以很好地发现工件表面下缺陷,但同样不许表面存在涂层,而且检测结果与操作者水准有关。
- 渗透法也适宜表面裂纹检查,然而也要求工件表面清洁和干燥,并且判伤与操作者水准相关。
- X射线法很容易发现工件表面、近表面裂纹。与其它方法不同,要求有良好的防护措施,以避免产生人身伤害。
- 电磁感应法很适合探测表面裂纹,而且能穿透工件表面存在数毫米厚的涂层。它不但能在潮湿的条件下使用,甚至能在水下直接使用。常规涡流法受到多种干扰因素影响。判伤也与操作者水平有关。

本文介绍一种采用交流电磁场技术和数字化技术的焊缝裂纹探伤仪,能在带有较厚防腐层的金属表面上快速扫查焊缝或母材上存在的开口疲劳裂纹,而且可以较准确地测量出裂纹的深度值。

2. 检测原理

用一交变磁场磁化钢铁试件的局部区域，当缺陷进入交变磁场内，会在表面产生泄漏磁场梯度异常区，采用磁敏元件检测这些磁场的畸变，就能获得缺陷信号，由于试件也是良导体，在交变磁场的感应下，试件也将产生感应电流，并同时生成附加的感生磁场与原有的泄漏磁场合成复合磁场。对铁磁性材料，交流电磁场的畸变，会因磁导率的增大而得到加强。

由于交流电磁场检测法传感器与试件的耦合是以电磁波的方式传递，所以它们之间无需像超声波法要借助耦合剂，可直接穿透非导体涂层、铁锈、甚至不太厚的不锈钢覆盖层。

交流电磁场检测法就是用磁敏元件来收集泄漏复合磁场畸变，反映裂纹存在和深浅。合理地设计励磁器磁路和用高导磁率材料制作磁敏元件聚磁器，可以提高检测灵敏度。

这是一种快速而又准确地发现焊缝裂纹的方法，能对焊缝裂纹作定性和半定量评估。

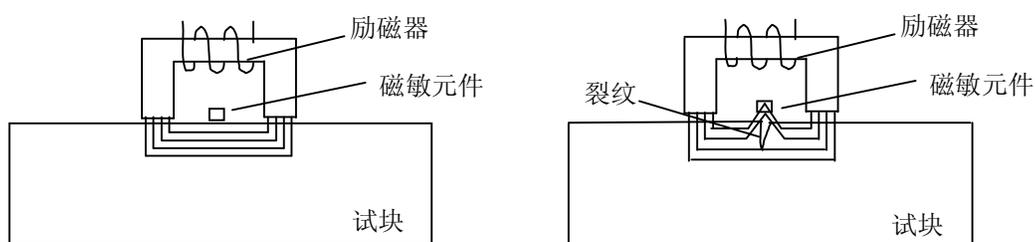


图 1 交流电磁场检测法原理

3. 检测装置构成

检测装置主要由探头和 WELD SCOPE 焊缝裂纹探伤仪构成。

3.1 检测探头

探头是在被检导体表面将磁学物理量转换成信号的磁敏传感器，它还包含了交流电磁场励磁器。

把一个磁场加到一个通有电流的导体上，在导体的两侧就会产生一个电压，称为霍尔效应。图 2 所示为霍尔效应的原理图，图中一片状半导体材料置于磁场 B 之下。当有电流 I 流过，电子运动速度 v 与 I 的方向相反，电子运动受到磁场的作用使运动轨迹横向偏移，按图中虚线方向前进。结果，半导体片的一侧电子密集出现负电荷，另一侧电子稀疏出现正电荷，两侧面之间形成电场 E_H 称为霍尔电场。

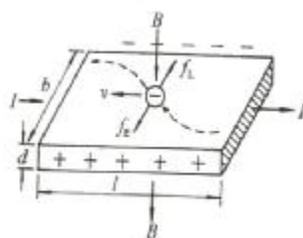


图 2 霍尔效应的原理图

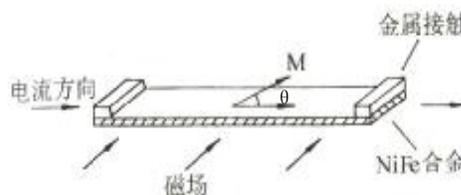


图 3 磁阻传感器的工作原理

在导体上施加磁场时，还会同时出现另一种物理现象：随着磁场的增减，导体的阻值也产生变化。该现象称磁阻效应，利用这种效应制成的元件称为磁敏电阻。金属和半导体材料都有磁阻效应，但半导体材料磁阻效应显著，故目前生产的磁敏电阻都是用半导体材料制成，且易于集成。

其工作原理是：无磁场时，元件电流密度矢量一般呈直线状，当磁场垂直加在元件表面时，由于霍尔效应，电流密度矢量与电场方向偏离了 θ 角（霍尔角），电流经过的路程就变长了，于是电阻值也就增加了。电阻增加的大小与元件的形状有关，即所谓形状效应，如图3所示。

焊缝探伤探头可以由霍尔元件、磁阻元件或线圈等构成。为了提高探测灵敏度，选择含有集成放大器的晶片软封装器件有利于检测精度提高。

为了防止工程上运用时粗糙的焊缝表面对探头的磨损，在探头表面特别覆盖一层坚硬的陶瓷保护层或不锈钢护套。探头的外形也根据多种复杂被检结构，设计成多种样式，典型的样式有以下几种：

1. 圆弧型见图4，用于一般焊缝和热影响区检测。



图4 圆弧型探头

2. 尖锥型见图5，用于不易接近的角焊缝，R角区域检测。



图5 尖锥型探头

3. 直角型见图6，用于狭小空间或孔壁检测。



图6 直角型探头

4. 内孔探头见图7，用于螺栓孔、销孔检测。



图7 内孔探头

5. 扫描探头见图 8，为了提高快速大面积扫描焊缝或母材表面裂纹，设计了带轮的扫描探头。



图 8 扫描探头

3.2 WELD SCOPE 焊缝裂纹探伤仪

WELD SCOPE 仪器由计算机、收发电路、数字信号处理、电源等组成，其原理框图如图 9 所示。

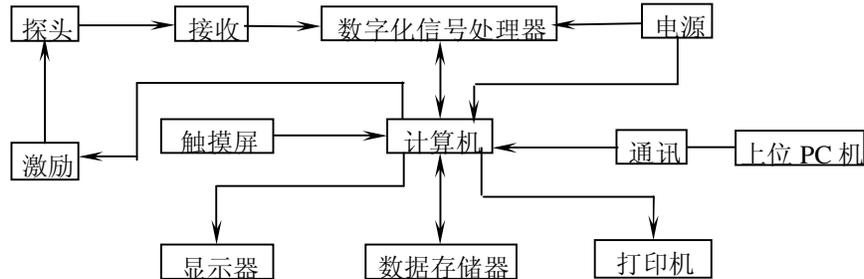


图 9 WELD SCOPE 焊缝裂纹探伤仪原理框图

仪器通过探头激励强度恒定的交变磁场感应试件，若试件表面存在裂纹，磁场将会产生变异，探头通过内部的磁敏元件把接收到的变异电量送入仪器信号处理器，经计算机软件分析和运算后，实时地将裂纹的位置、深度在屏幕上显示出来。

WELD SCOPE 焊缝裂纹探伤仪主要特点：

仪器以计算机为控制核心，全部电路实现数字化处理。全数字化测试电路保证仪器高可靠性和稳定性。仪器摒去了普通电子仪器面板上的按钮，以新潮的触控屏和飞梭数码旋钮直观简捷地实现人机对话，即使非专业人员也能迅速掌握仪器操作。100 个仪器内置应用程序，能使操作者在现场随即获得最佳设置。

涵盖各种现场焊缝探伤所必备的高通、低通、带通滤波功能。

采用带有背光的半反半透 LCD 液晶屏幕，可以在阳光直射下清晰观察检测图形，在光线不足或黑暗环境，可开启屏幕背光照明。

仪器内置充电电池，仅需简单地接入电网电源，即可激活智能化电子充电器，无论仪器在操作或关机情况下均能处在最佳充电状态。独特的低功耗设计，充满电后，可连续工作 10 小时以上。

坚固耐用的镁铝合金机身，具备一定的电磁防护功能和优良的防撞击、防磨损特性。即使包括电池，仪器总重量也仅重 1.5Kg，加上紧凑的结构更适合野外、高空作业。

配置高速静噪热敏打印机，通过仪器后部的 RS232 串行口，能依据操作者需要，迅速打印出包含检测参数、缺陷图形及相关的检测报告。

仪器还可通过 RS232 接口与 PC 机通讯，将数据文件转存到具有大容量存储空间的 PC 电脑上，或者可由第三方软件调用进一步作编辑处理。这种处理方式可充分利用 PC 机资源，拓展探伤仪的应用空间。



图 10 探头和 WELD SCOPE 焊缝裂纹探伤仪

4. 测试结果与分析

4.1 采用符合欧盟 EN1711:2000 标准加工试块的测试:

试块的材质为 45#优质钢, 表面电火花加工 0.5mm / 1.0 mm / 2.0 mm 三种尺寸的刻痕, 开槽深度的最大误差应当为 0.1mm, 刻槽宽度为小于 0.15mm。(见图 11)

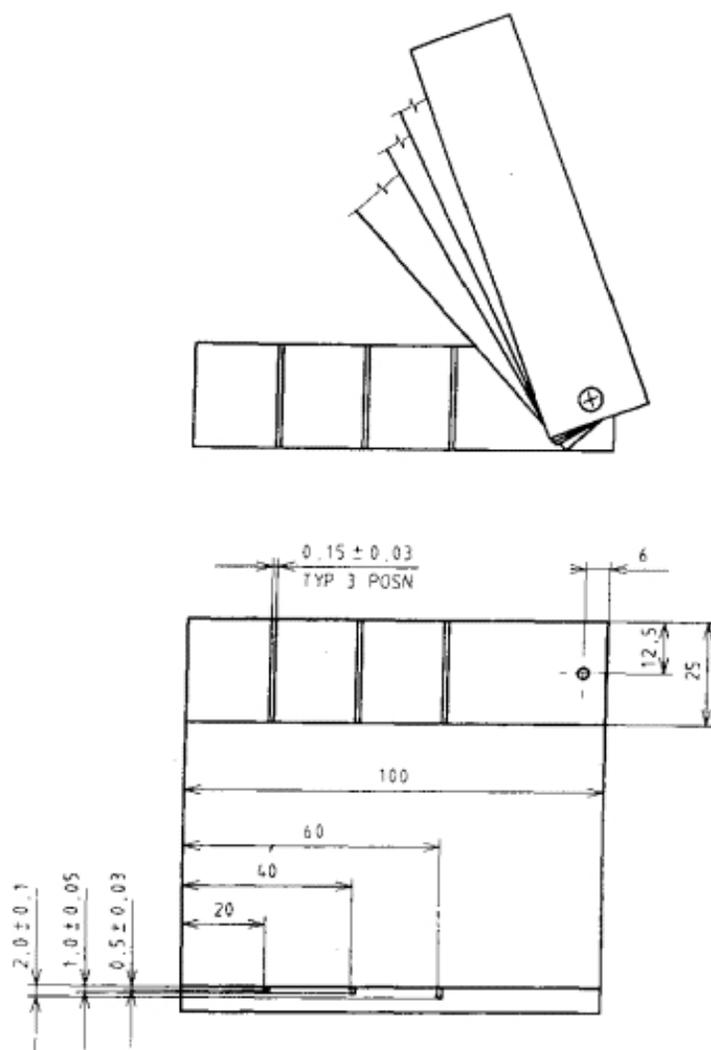


图 11 典型校正试块

采用圆弧型探头进行测试, 测试结果见下图:

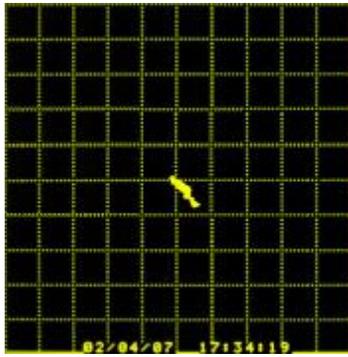


图 12

探头从试块表面提高至 ∞ 远

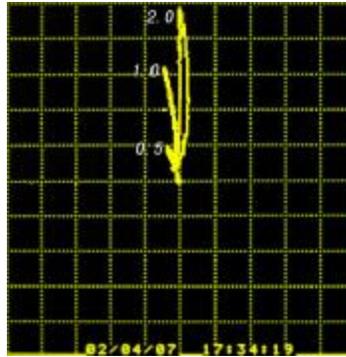


图 13

试块上三个刻槽信号阻抗平面

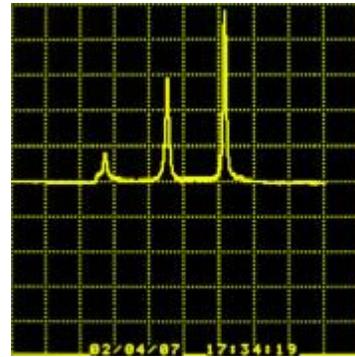


图 14

试块上三个刻槽时基扫描图

试验表明，WELD SCOPE 焊缝裂纹探伤仪，对探头操作中产生的提离效应非常不敏感，这与传统的涡流检测方法有绝然不同之处，正是由此，很合适在焊缝高低不平的焊冠上操作。

其次仪器能反映出不同裂纹的深度，显然受到趋肤效应的影响，波形的幅度与深度不是线形关系。然而这对工程检测应用也十分有用，准确的计量可用加工人工对比试样来得到。4.2 取一段 T 形角焊缝试样，见图 15，在焊缝的热影响区和焊缝中部，刻方向分别为平行焊缝和垂直焊缝方向的电火花人工裂纹，缺陷长度为 5mm，深度为 1mm，宽度为 0.15mm。

探头选用适合角焊缝的尖锥型探头。

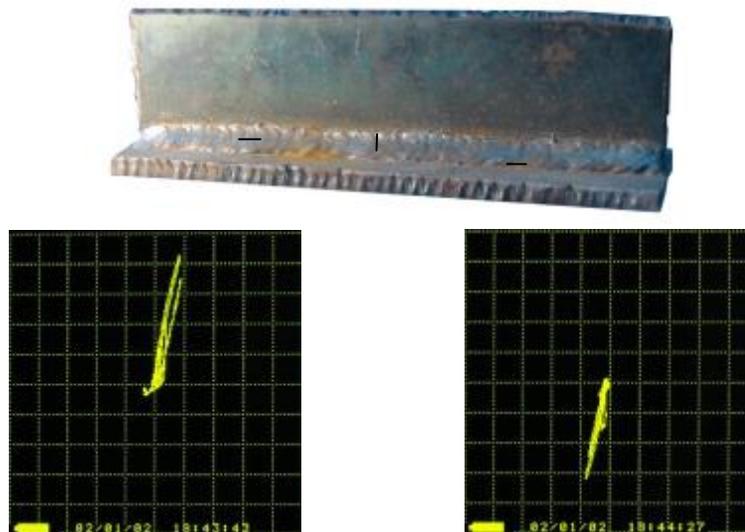


图 15 不同走向裂纹有不同信号变化比方向

从上述检测结果可以看出，该探伤方法与裂纹的走向有关，为了避免探测时遗漏缺陷，推荐使用至少两次相互垂直的扫查方向进行作业，这与欧盟 EN1711:2000 标准所建议的操作方法相一致的。

4.3 覆盖非金属涂层的影响：

在图 16、17、18 试块上分别垫入 0.5mm、1.0mm、2.0mm 不同厚度的塑料片，以模拟钢表面上防腐保护层的影响。

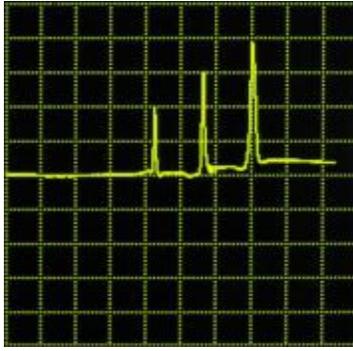


图 16

垫入 0.5mm 厚塑料片的测量结果

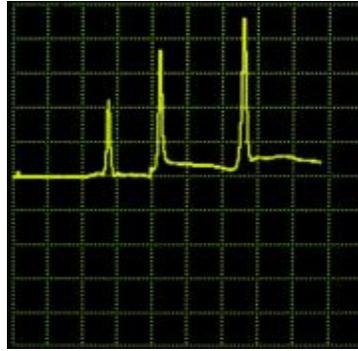


图 17

垫入 1.0mm 厚塑料片的测量结果

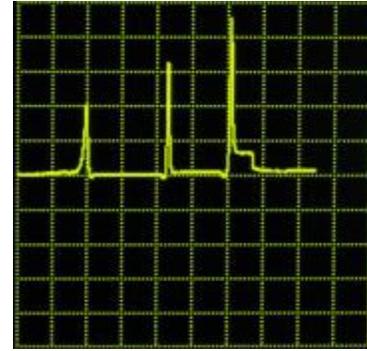


图 18

垫入 2.0mm 厚塑料片的测量结果

通过重新校正后对不同深度裂纹的测量结果表明，仪器对非金属涂层具备良好的穿透能力，能适应一般钢结构防腐层下的裂纹探伤。

4.4 金属覆盖层穿透试验

现代化工设备为了提高材料表面的防腐性能，经常采用复合材料来制作，在钢铁底材表面衬上一层不锈钢薄板或喷涂金属防腐涂层，当底材产生裂纹时，以一般的磁粉、渗透或超声波方法都难于检测，而常规涡流也难于穿透表面金属层到达第二层材料。为了检验交流磁场检测技术金属穿透性能，在图 11 典型校正试块上覆盖一层 0.7mm 不锈钢钢板，用来模拟钢材表面上金属防腐层。图 19、20 分别为有金属防腐层和无金属防腐层裂纹信号。

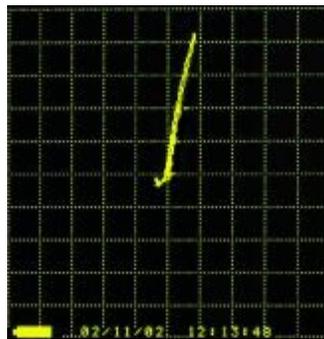


图 19 无金属防腐层裂纹信号

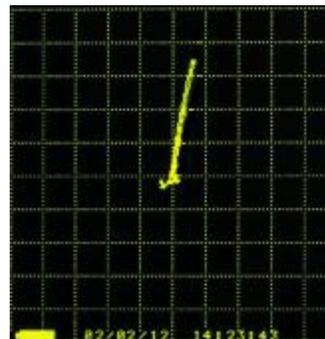


图 20 有金属防腐层裂纹信号

5. 结论

从仪器的测试结果看，采用交流磁场检测技术来探测焊缝粗糙表面上的疲劳裂纹较传统的涡流方法优越，具有很小的提高效应，能直接穿透焊缝表面上防腐层直接探伤，无须清除漆层和污垢，利于提高工效和节约成本。

仪器还具备一定的裂纹深度测量功能，无须再借助于其它方法，工程上有应用价值。

多种不同探头结构设计，以适宜各种不同应用场合。进一步拓展，能用于水下钢结构件检测，或在役高温部件裂纹查找。

交流电磁场检测技术是迄今最实用、快速、低成本且无须去除防腐层的在役设备疲劳裂纹探伤方法，目前已在欧美认可并推广应用，同时也有相关欧盟标准 EN1711:2000 作为实施依据。