

基于 ACFM 技术的焊缝跟踪传感器设计与实现

李安强,洪波,屈岳波,尹力

(湘潭大学 机械工程学院,湖南 湘潭 411105)

摘要:根据交变磁场测量法(ACFM)的基本原理,设计了一种由激励线圈和感应线圈组成的交变磁场传感器,可对空间“点”磁场进行测量。通过大量实验,研究了传感器位置和不同焊缝宽度对传感信号的影响规律。根据传感信号的变化规律,提出了相应的信号处理的方法,为 ACFM 方法用于焊缝跟踪奠定了良好的基础。

关键词:交变磁场测量(ACFM);激励线圈;感应线圈;焊缝跟踪

中图分类号:TG409 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-2303(2006)10-0013-04

Design and implementation of seam tracking sensor based on alternative current field measurement

LI An-qiang, HONG Bo, QU Yue-bo, YIN Li

(School of Mechanical Engineering, Xiangtan University, Xiangtan 411105, China)

Abstract: According to the basic principle of alternative current field measurement (ACFM), the alternative current field sensor was designed, which was made up of drive coil and induction coil. The sensor can be used for measuring the point magnetic field in the space. Based on the large amount of tests, it researches that the different sensor position and different seam breadth all impact the measure signal. The method of signal processing is put forward, which established the good foundation for ACFM used in seam tracking.

Key words: alternative current field measurement(ACFM); drive coil; induction coil; seam tracking

0 前言

实现焊接过程的自动化和智能化所需解决的重要问题就是焊缝自动跟踪。目前用于焊缝跟踪的传感器有多种,但对焊缝比较窄的 I 型对接坡口效果都不理想,虽能够实现激光跟踪,但其成本较高,不利于推广。

交变磁场测量法(ACFM)是近几年兴起的一种基于电磁感应原理的检测技术,它无需与被测工件接触,对工件的表面要求不高且不需要标定,因而受到人们的重视,目前主要应用于高速无损检测和工件的在线检测中^[1]。在此经过研究发现,基于交变磁场测量法(ACFM)技术的传感器可以用于焊缝跟踪系统且性能好、价格低。

1 交变磁场测量法原理

当通有交变电流的激励线圈靠近被测试件时,

由交变电场产生的交变磁场会在试件表面感应出电流。当试件中无缺陷时,其表面浅层电流均匀分布,电流线彼此平行,试件表面有一个均匀磁场存在。如果存在缺陷,由于材质属性的变化,试件表面的磁场会发生畸变,电流线会在缺陷边缘处产生汇聚和偏转,试件表面的磁场分布会发生扰动,如图 1 所示。从图 1 可以看出,表面裂纹对电流和表面磁场的影响。远离裂纹处,电流场是均匀的,电流线相互平行,如图 1a 上部分所示。电流流至裂纹时,由于裂纹电阻大,电流线会向裂纹两端和裂纹底面偏转,使裂纹处电流线变疏,电流密度下降,如图 1a 下部分所示^[2]。电流线的变化会导致试件表面磁场的变化,通过测量扰动磁场的分布,可对缺陷进行检测。

设 x 轴平行于缺陷方向, y 轴垂直于缺陷方向, z 轴垂直试件所在平面。在 ACFM 中一般要测出如下 2 个相互正交的磁场变化量,即 z 轴方向磁感应强度 B_z (见图 1b)和 x 轴方向磁感应强度 B_x (见图 1c)。前者反映了缺陷的长度,后者反映了缺陷的深度。

将 ACFM 技术用于焊缝跟踪传感器时,由于焊

收稿日期:2006-08-04

作者简介:李安强(1978—),男,河南新乡人,硕士,主要从事焊接工艺与焊接设备自动化方面的研究工作。

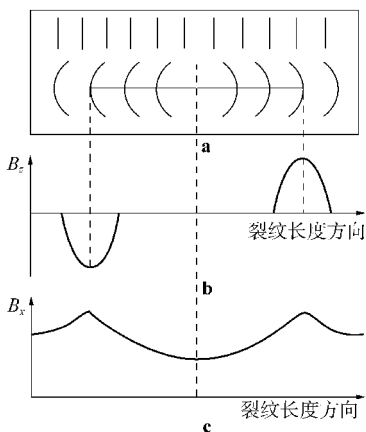


图 1 交变磁场测量原理

Fig.1 Basic principle of alternative current field measurement

枪在焊缝位置左右摆动,此时只有 z 轴方向的磁场变化明显, x 轴和 y 轴方向磁场变化很微弱。另外,焊接时主要关心的是焊缝的位置,对其深度并不十分关心,所以只要测量 z 轴方向磁感应强度 B_z 的变化即可。在此针对 z 轴方向磁感应强度 B_z 的变化进行测量和相应处理。

2 基于 ACFM 技术的传感器设计

检测磁场强度时,要求激励线圈有较大的检测范围和透入深度;同时又要求感应线圈有较小的体积,以获得较大的空间分辨能力和检测灵敏度。

在一定条件下,矩形线圈激励下的感应电场在导体板中的衰减率较传统涡流激励线圈慢得多,因此和传统的涡流激励线圈相比,矩形线圈对较深裂纹的测量具有更高的灵敏度,即矩形线圈的测量深度更深^[3]。在无损检测中,因为裂纹的方向未知,所以激励线圈常采用正交复合矩形激励线圈。用于焊接的试件缺口已知,所以只要采用单个矩形激励线圈即可。

感应线圈采用圆柱形线圈。只要感应线圈足够小,长度 L 和外径 D 比值合理(一般应使得 $\frac{L}{D} < \frac{1}{2}$),可以使感应线圈的平均磁感应强度等于中心点的磁感应强度,保证感应电动势的大小仅由此线圈中心磁感应强度的变化来决定就可以^[4]。这样感应线圈就可对空间“点”磁场进行测量。激励线圈和感应线圈示意图如图 2 所示。

通过示波器观察,感应线圈的感应电压峰值只有几毫伏,因此感应线圈内的电流也只有几十个 μA ,这个电流产生的磁场非常微弱,它不会干扰铁板表面的感应场,利用感应线圈得到的结果能够反映被测试件磁场变化的实际情况。

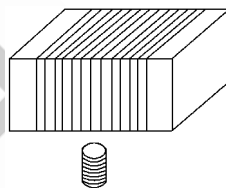


图 2 激励线圈和感应线圈

Fig.2 Sketch map of drive coil and induction coil

3 传感器工作过程

传感器工作过程如图 3 所示。激励信号源产生 2 kHz 的正弦交流电,经过功率放大后作为施加于矩形线圈的激励电流,用于在试件表面产生均匀的感应场。感应线圈轴线垂直试件放置,用于测量法向磁场分量 B_z ,并将之转换为电压信号进行处理和显示。由于直接从感应线圈出来的信号很微弱,并且含有干扰噪声,因此需要对信号进行滤波、放大,从中提取带有缺陷信息的有用信号,最后通过 A/D 采样电路采集测试数据,在计算机上进行分析、显示。

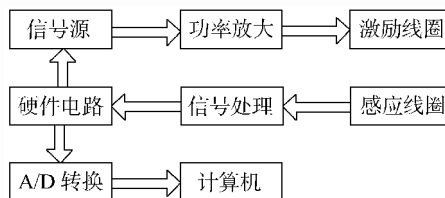


图 3 传感器的工作过程

Fig.3 Work process of the sensor

4 信号的硬件滤波处理

4.1 滤波的目的

感应线圈获得的磁场变化信号幅度很小,只有毫伏级,并且含有噪声,这些噪声是从被测量信号所处的环境中或在传感器内部随着有用信号一起被提取出来的。干扰信号给系统测试带来很大的影响,所以必需过滤掉才能进行下一步处理。

4.2 滤波电路设计

由于内外部环境的影响,50 Hz 的工频干扰与感应线圈获得的微弱信号相比,干扰十分严重,为了获得有用信号,首先设计了一个有源二阶高通滤波器,其截至频率为 1.8 kHz,目的是将工频及其他一些低频干扰滤除掉。

感应信号经过高通滤波后,信号中除了包含有随机噪声和很多高频干扰信号外,还包含有激励信号的高次谐波,必须进一步滤波。因此需采用一个低通滤波器去除 2.2 kHz 以上的高频干扰。

目前应用最广的低通滤波器的主要类型有:巴



特沃思低通滤波器、切比雪夫低通滤波器、贝塞尔低通滤波器 3 种^[5]。图 4 为其频谱特性, 特点有:

- (1) 巴特沃思滤波器。通带内幅频曲线的幅度平坦, 最平幅度逼近, 相移与频率的关系线性不是很好, 阶跃响应有过冲。
- (2) 切比雪夫滤波器。下降最陡, 但通带之间幅频曲线有波纹。
- (3) 贝塞尔滤波器。相移和频率之间有良好的线性关系, 阶跃响应过冲小, 但幅频曲线的下降陡度较差。

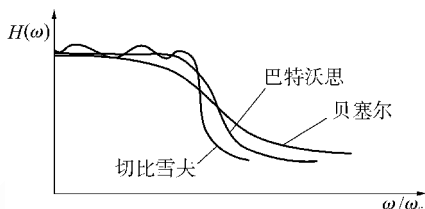


图 4 三种滤波器频谱特性

Fig.4 The spectrum characteristic of the three filters

由于切比雪夫滤波器通带存在波纹, 易造成滤波后的特性发生变化, 对元件参数选择及工作条件敏感; 贝塞尔滤波器由于幅频曲线的下降陡度较差, 滤波效果较差; 而巴特沃思低通滤波器在小于截至频率 ω_c 的范围内, 其幅频响应在通带中具有最大平坦度; 而在 $\omega > \omega_c$ 后, 幅频响应迅速下降。经过综合考虑选择了巴特沃思滤波器, 并设计了二阶巴特沃思低通滤波器, 其电路如图 5 所示。

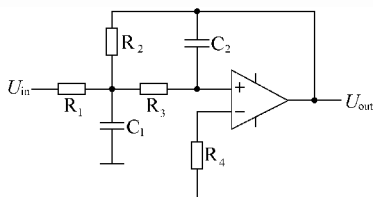


图 5 二阶巴特沃思低通滤波器电路

Fig.5 Circuit diagram of the Second-order Butterworth lowpass filter

4.3 滤波效果

图 6 是滤波前后波形对比图。从中可以看到, 经过滤波, 杂波和一些尖峰脉冲被过滤掉了, 波形变得比较光滑。图 7 是滤波前后波形频谱分析对比图, 从中也可以看到所需要的主频 2 kHz 的波形被保留了下来, 其他的低频和高频干扰被滤掉了, 为下一步处理奠定了良好的基础。

5 信号的采样处理方法

滤波后的信号经过适当放大后输入计算机进行处理。采用由 A/D 转换器 ADC0809 组成的采样电

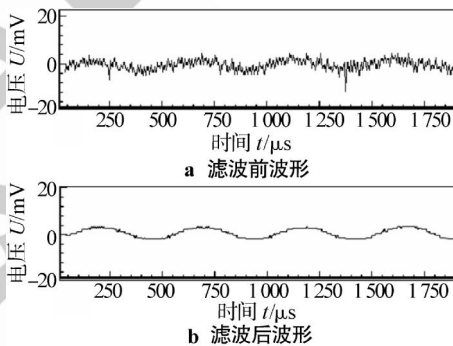


图 6 滤波前后波形对比

Fig6. Change of wave when using filter

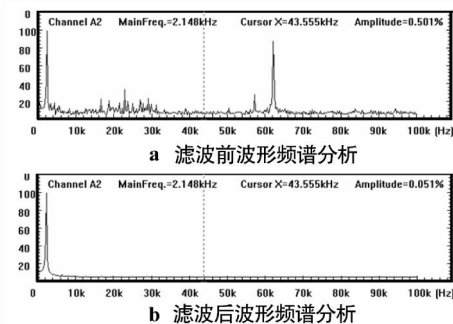


图 7 滤波前后波形频谱分析对比

Fig.7 Change of spectrum analysis when using filter

路对滤波放大后的信号进行采样。感应电流波峰处变化量最大, 所以以一个周期内的最大值作为比较数。

通常取最大值的方法是比较法。即在信号的一个周期内尽可能多的增加采样次数, 然后对采样数值进行比较, 其最大值就是信号的最大值。此方法适用于频率较低信号, 但本研究中信号的频率达到 2 kHz, 因此采样频率不能任意增大。研究发现, 采样频率只能达到 16 kHz, 即信号的每个周期只能采样 8 次, 但其中的最大值与信号的实际最大值有一定的误差, 而信号本身的变化量又小, 所以此方法不能满足要求。

为了能准确的取得最大值, 采用了一个采样保持电路。选择合适的参数, 使信号在最大值处保持一段时间(如图 8 所示, R_1 为采样保持前波形, R_2 为采样保持后波形), 在这段时间内, 对信号进行采样, 这样便能准确的获得最大值。能有效的提高电流采样的准确性, 有利于正确判断传感器位置偏差, 也是实现焊缝自动跟踪的前提。

6 数据分析

被测试件如图 9 所示, 焊缝宽度为 2 mm。对试件 y 轴方向 a, b, c, d, e 5 点处磁场进行测量, 对各点处感应电流进行采样(单位: V), 各点的坐标分别为 -10 mm, -2 mm, 0 mm, 2 mm, 10 mm。

专题讨论
焊缝跟踪技术

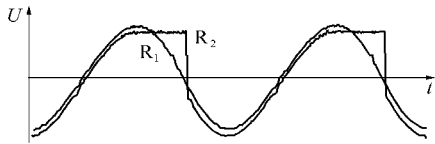


图 8 采样保持前后波形对比

Fig.8 Contrast between original wave and sampling and holding wave

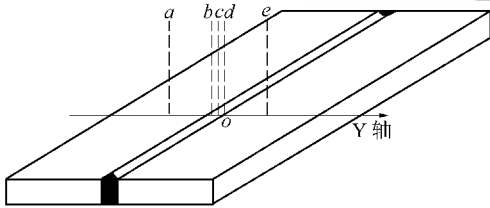


图 9 被测试件示意

Fig.9 Sketch map of workpiece

对各点分别采样 8 次,采样值如表 1 所示。由表 1 中数据可得 a, b, c, d, e 各点平均值为:1.78 V, 2.27 V, 1.12 V, 2.18 V, 1.80 V。由此可以看出,焊缝边缘处(b 点和 d 点)磁场强度大于平板处(a 点和 e 点)和缝隙处(c 点),感应磁场的变化规律符合 ACFM 原理理论。可以根据传感器所感应到的磁场强度的变化数据去判断传感器的位置,从而进行相应的处理,进而驱动电机控制焊枪运动,实现焊缝跟踪。

7 结论

该研究根据交变磁场测量(ACFM)原理,设计了

表 1 不同点采样数据

Tab.1 Sample data of different points

距离/mm	1	2	3	4	5	6	7	8
10	1.81	1.85	1.81	1.73	1.81	1.81	1.85	1.77
2	2.16	2.16	2.24	2.20	2.16	2.20	2.20	2.16
0	1.26	1.33	1.26	1.29	1.29	1.26	1.33	1.26
-2	2.28	2.24	2.28	2.20	2.28	2.24	2.32	2.32
-10	1.81	1.81	1.77	1.77	1.77	1.81	1.81	1.73

一种基于交变磁场测量技术的传感器。利用该传感器在 I 型对接坡口的试板上进行了实验,并利用采样保持电路对感应电流的最大值进行采样。结果表明,基于交变磁场测量技术的传感器可用于焊缝跟踪系统,为实际应用奠定了良好的基础。

参考文献:

- [1] 康中尉,罗飞路.交变磁场测量法数学模型及“类匀强场”的建立[J].无损检测,2004,26(11):545-551.
- [2] 陈建忠,史耀武.无损检测交流磁场测量法[J].无损检测,2001,26(3):96-99.
- [3] 曹雄恒.矩形线圈激励无损检测技术研究[D].北京:国防科技大学,2002.
- [4] 陈金全.测量低频交变磁场的实验方法[J].桂林电子工业学院学报,2002,22(4):8.
- [5] 屈岳波.旋转电弧传感器智能焊缝跟踪技术[D].湖南:湘潭大学,2005.