

# 基于 DSP 技术的电磁无损检测仪的研究

陈建能<sup>1</sup> 万 静<sup>2</sup> 何云斌<sup>2</sup> 万国庆<sup>1</sup>

(1. 哈尔滨理工大学材料科学与工程学院, 黑龙江哈尔滨 150040;

2. 哈尔滨理工大学计算机与控制学院, 黑龙江哈尔滨 150080)

**摘 要:**针对钢铁电磁无损检测中某些特殊的钢铁材质检测结果不理想的情况,根据初始磁导率原理,提出了 DSP 技术应用于电磁无损检测试验装置的设计方案。试验结果表明,采用 DSP 检测方法初步收到了较好的效果。

**关键词:**电磁无损检测;铸铁;磁导率;数字信号处理

**中图分类号:** TG15 **文献标识码:** B **文章编号:** 1671-4423 (2005) 04-32-03

初始磁导率法是基于电磁无损检测方法检测金属材料,以其非破坏性、简便、快速及可实现100%逐件检测等优点,在工业上得到广泛的应用。该方法主要通过测量从时域的模拟信号提取最能体现初始磁导率变化的某一段信号的幅值或相位大小,来实现材质分选和缺陷的检测。这种钢铁电磁无损检测仪已经在全国众多家厂矿企业得到了广泛的应用<sup>[1,2]</sup>。但在某些比较特殊材质工件的实际检测过程中,仍然有一些缺陷信号淹没在噪声信号中而导致检测结果不够理想的情况。本文阐述了一种新的信号处理方法即 DSP 技术来解决在实际中遇到的这类问题,首次将 DSP 技术应用于电磁无损检测中,并与传统电磁无损检测方法进行了比较,收到了较好的效果。

## 1 检测原理

由于工件本身内部结构,材质等客观原因,使得几乎所有工件的初始幅值磁导率都不相同,我们正是利用这一原理把工件本身的特征信号转化成电信号,通过模拟模块把信号采集出来,再送到 DSP 芯片进行分析处理。

### 1.1 信号采集原理

初始幅值磁导率法检测的原理如图1所示<sup>[3]</sup>,当一个空心的磁化线圈中通以交流激磁电流之后,线圈内产生一个轴向的磁场强度  $H_a$ 。被测的铁磁性工件放入该线圈时,在交变磁场的作用下钢铁件被交变磁化,从而大大增加原来的磁场强度  $H_a$ 。但同时由于非无限长的工件的退磁场强度和钢铁件中产

生的涡流产生的附加交变磁场,两者之和为  $H$ ,总是削弱原外加磁场  $H_a$ 。因此,为了处理方便引入了有效磁导率  $\mu_{eff}$ 。这样,用一组测量线圈同轴绕制于激磁线圈上时,必在测量线圈上产生一个感应电动势  $E$ 。

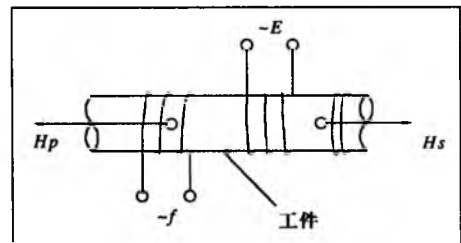


图1 检测原理示意图

其大小为:

$$E = 2\pi f n \frac{\pi D^2}{4} H_a \times 10^{-8} \text{ (无工件时)} \quad (1)$$

$$E = 2\pi f n \frac{\pi D^2}{4} \mu_r \mu_{eff} \times H_a \times 10^{-8} \text{ (有工件时)} \quad (2)$$

式中  $f$ — 激磁频率,单位赫兹

$D$ — 测量线圈的直径,单位米

$n$ — 测量线圈的匝数

$\mu_r$ — 工件的相对磁导率

$\mu_{eff}$ — 工件的有效磁导率

$H_a$ — 磁化线圈中的激磁场强度

由式(1)、式(2)可知,测量线圈中的感应电动势  $E$  在  $f$ 、 $D$ 、 $n$ 、 $H_a$  等为定值时,其改变量的大小只与钢铁件的相对初始磁导率和有效磁导率有关。由于初始磁导率法适用于批量生产钢铁件的100%无损检测,因此钢铁件的规格尺寸可以认为是一样的,所

以感应电动势主要只与初始磁导率有关。这在研究和现场应用中已得到证实。

可见,初始幅值磁导率的大小与感应线圈的电压或电流有着密切的关系。

### 1.2 DSP 数据处理器特点

DSP 系统包含 CPU(TMS320LF2407A)、两块存储器 (IS61LV6416 - 15T)、电源模块 (TPS7670D318)、锁相环等。其主要功能是对采集的数据进行处理,完成计算等;LF2407A 是 3.3V 供电的低功耗数字信号处理芯片。

DSP 具有以下特点<sup>[4]</sup>:

1. 快速的运算速度,指令周期最短为 25 ns,运算能力最大为 40 MIPS,而 12 M 晶振的 80C51 单片机最短指令周期为 1 μs;

2. CPU 具有 32 位算术逻辑单元,32 位累加器,程序和数据空间分开,可以同时访问指令和数据;

3. 片内具有快速 RAM,通常可通过独立的数据总线在两块中同时访问,丰富的存贮器。片内具有 32 K 字 \* 16 位的程序存贮器;高达 2.5 K 字 \* 16 位的数据/程序 RAM 空间,2 K 字的片内 SRAM。可扩展的外部存储空间总共具有 192 K 字 \* 16 位的空间;

4. 快速的中断处理和硬件 I/O 支持,具有 10 位的 ADC,转换时间为 500 ns。

## 2 实验设计

该无损检测仪的系统结构如图 2 所示,通过信号发生器产生一个固定频率的点信号,该信号经过功率放大送到激磁线圈,之后在测量线圈处就会产生感应电动势,我们把传感器采集到的体现工件初始幅值磁导率的电压信号送到模拟电路板,经过放大,滤波,电压抬高等预处理之后,送到 DSP 进行分

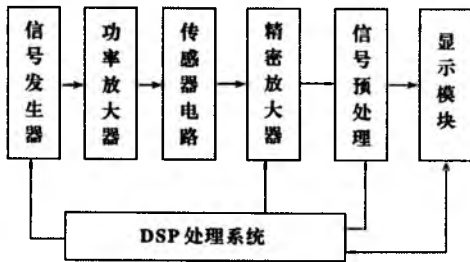


图2 系统结构图

析、快速傅立叶转换(FFT),最后把结果显示出来。

试验所用的试样来自某厂家从生产现场选出来的。第一组为急冷铸铁挺杆。试样直径 17 mm,长 33 mm。共 30 个,厂方用肉眼分出 15 个裂纹件,15 个非裂纹件。其中一个非裂纹件作为参考件。本文把裂纹件称为不合格件,无裂纹件称为合格件。第二组为 28MnCr5 齿轮毛坯,直径 66 mm,高 16 mm。共 21 个,其中一个作为参考件。在每一个工件上都打上布氏硬度,然后按照压痕直径从小到大排列。

## 3 实验结果与分析

从图 3 我们可以看出裂纹件(图中用 ▲ 表示)和非裂纹件(图中用 ● 表示)基本上可以区分开。图中有三个合格件混到了裂纹件里面了。需要说明的是这些工件的合格与否是用人眼进行观察挑选出来的,裂纹件基本上可以确定是有缺陷的,而合格件内部是否有裂纹无法用肉眼来断定。所以,我们认为混在裂纹件里的那三个合格件有可能含有内部裂纹或疏松等内部缺陷。

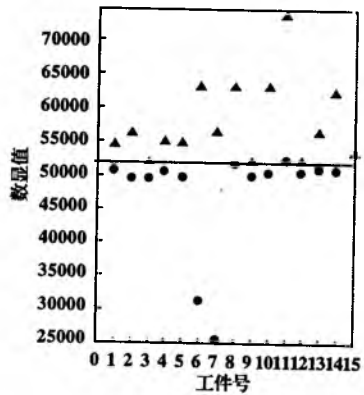


图3 急冷铸铁挺杆裂纹检测结果

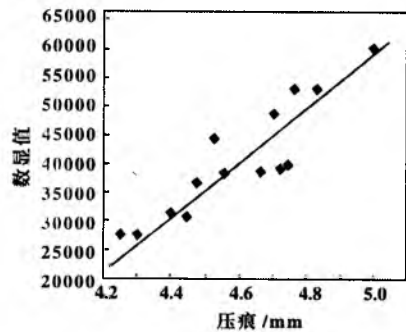


图4 28MnCr5 齿轮毛坯硬度与系统数值之间的关系