

漏磁检测技术的新发展——磁记忆检测

张立东 边境 刘贵民

(装甲兵工程学院材料科学与工程系 北京 100072)

摘要:磁记忆检测技术(MMT)是基于漏磁检测方法上的一种新兴无损检测(NDT)技术,是迄今为止对金属部件进行早期诊断唯一行之有效的无损检测方法。本文着重介绍了磁记忆检测技术的原理、检测设备及其在实际生产中的应用。

关键词:漏磁检测;无损检测;磁记忆检测技术

包括磁粉检测在内的各种漏磁检测方法都是基于铁磁材料磁性变化的一种无损检测技术,其基本原理是当铁磁材料或工件被外磁场磁化后,处于表面或近表面的缺陷会使工件内的磁力线发生畸变,从而逸出工件表面形成“漏磁场”,通过检测工件表面“漏磁场”便可以确定缺陷的位置、形状和大小。采用传统的漏磁检测方法对铁磁材料及设备与构件的相关部位进行百分之百的检测,可以有效地发现已发展成形的宏观缺陷或大部分微观缺陷。但对于在役金属设备及构件的早期损伤,特别是尚未成形的隐性不连续变化,难以实施有效的评价,从而无法避免由于疲劳失效引发的恶性事故。

随着现代工业产品日益向高速、高温、高载的方向发展,疲劳问题相当突出地存在于所有工业部门。例如飞机、铁路机车、路轨、桥梁以及工程应用中的许多关键性设备,如压力容器、管道、蒸汽机的涡轮转子、叶片、壳体等等,都不同程度地受到疲劳失效的威胁。据统计,现代工业领域约有80%以上的结构破坏都是由疲劳失效所引发。因此,有效评价在役设备或构件的应力变形状况,特别是导致损伤的临界应力变形状况便成为评价在役设备或构件的结构强度与可靠性的一个重要依据,而为了及时准确地找出最大应力变形区域,就必须开发出新的无损检测技术。20世纪90年代后期,以杜波夫教授为代表

的俄罗斯学者率先提出了一种崭新的金属诊断技术——金属磁记忆检测。

1 磁记忆检测原理

金属磁记忆检测原理可以表述为:处于地磁环境下的铁制工件受工作载荷的作用,其内部会发生具有磁致伸缩性质的磁畴组织定向和不可逆的取向,并在应力与变形集中区形成最大的漏磁场 H_p 的变化,即磁场的切向分量 $H_p(x)$ 具有最大值,而法向分量 $H_p(y)$ 改变方向并有零值点。这种磁状态的不可逆变化在工作载荷消除后继续保留,从而通过漏磁场法向分量 $H_p(y)$ 的测定,便可以准确地推断工件的应力集中区。

磁记忆检测原理可以由拉伸试验得到验证。钢制拉伸试件安装在拉伸试验机上,测量试件表面沿轴线漏磁场 $H_p(y)$ 的分布。如图1(a)所示, $H_p(y)=0$ 处就是试验开始前的应力集中线,此后在对试件加上和应力集中线垂直的负载 P 的情况下做拉伸试验。最终试件的断裂出现在应力集中线处 $[H_p(y)=0]$,如图1(b)。

铁磁体在应力作用下具有磁弹性效应早已为铁磁学的研究所证实。磁记忆检测最重要的贡献在于只需要在地磁环境下通过铁制工件表面散射磁场法向分量 $H_p(y)$ 的测量就能确定工件上的应力集中区域。在磁粉检测中,为了在铁磁工件表面形成足够

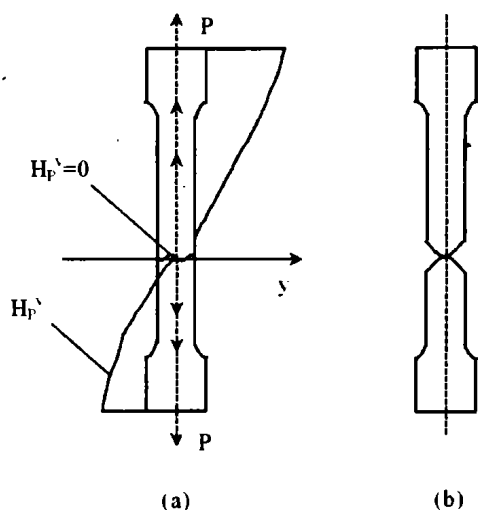


图1 磁记忆检测原理试验

强的漏磁场,铁磁工件必须在高达 2400A/m 以上的外磁场中磁化,微弱的地球磁场难以有所作为。但是,在磁记忆检测中,地球磁场虽然微弱,却起到了激励源的作用,正是由于外应力和地球磁场的共同作用,才在铁磁件形成的应力集中区引发了磁畴组织沿着地球磁场的定向和不可逆的重新取向排列,并在载荷消除后保留这种磁状态的不可逆变化。

铁磁体在载荷与微弱地球磁场的作用下,会产生磁记忆现象的内部原因取决于铁磁晶体的微观结构特点。通常,铁制工件在经过熔炼、锻造、热处理等加工工艺时,温度大大超过居里点,构件内部的磁畴组织被瓦解,磁性消失。在金属冷却到居里点以下的过程中,一方面铁磁晶体在重新结晶的同时重新形成磁结构;另一方面材料内部的各种不均匀性会继续遗传保留。这些结构的不均匀部位往往是缺陷或内应力集中的部位,一般以位错的形式存在,并在地球磁场的环境中由于磁机械效应的作用出现磁畴的固定节点,产生磁极,形成退磁场,以微弱的散射磁场的形式出现在工件表面,表现为金属的磁记忆性。

2 磁记忆检测仪器

磁记忆检测仪器是基于磁记忆效应原理开发出来的新型无损检测设备,它与其他电磁检测设备一样都是由传感器、主机以及其他辅助设备组成的。图2是典型的磁记忆检测仪器的原理框图,它包括由磁敏传感器、温度传感器、测速装置组成的探头,由滤波器、放大器及 A/D 转换器等组成的信号处理电路,显示及键控装置,CPU 系统等。其中,传感器是

磁记忆检测仪器中极其重要的部件,传感器性能的好坏直接影响检测结果的可信度。

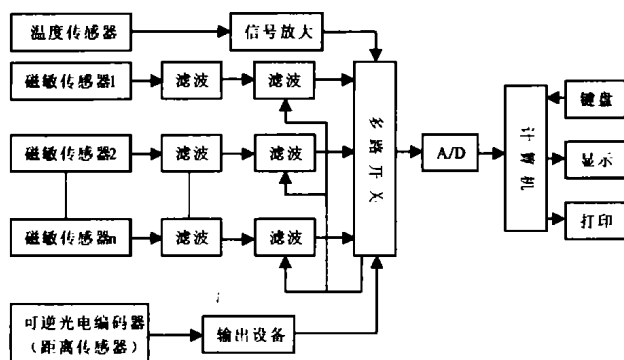


图2 典型的磁记忆检测仪器原理

磁敏传感器就是把磁物理量转换成电信号的传感器,用来测量待检工件表面的磁场大小及分布情况。一般情况下,磁敏传感器与其他一些简单的元器件组成信号检出电路,将被检对象的磁场信息准确地测量并反映出来。可以用于磁场测量的磁敏器件很多,但适用于磁记忆检测的磁敏传感器并不多,通常只有检测线圈、霍尔元件和磁敏二极管等。

信号处理电路主要由滤波器、放大器和 A/D 转换器等组成。磁记忆检测仪器一般采用由 RC 网络和运算放大器组成的有源滤波器。有源滤波器由于使用了放大器和反馈技术,因而可以获得更好的频率特性。另外,由于运算放大器的增益和输入阻抗很高,输出电阻小,所以有源滤波器具有带负载能力强和能提供一定的信号增益等特点。磁记忆检测仪器可检出电路输出的信号幅值很小(在毫伏级范围),需要放大才能处理和使用,在一台检测仪器中一般设有多级放大电路,既可以用来放大刚检出的信号,也可以用来放大经过滤波后的信号。作为全数字化的磁记忆检测仪器,A/D 转换器是必不可少的重要器件,其好坏直接影响检测结果,目前一般选用逐次逼近型 A/D 转换方法,既照顾了转换速度,又具有一定的精度。

磁记忆检测仪器中的计算机系统硬件包括 CPU、存储器、I/O 接口、显示装置、键盘等,软件包括键控子程序、数据采集子程序、数据处理子程序、显示子程序和通讯子程序等。软件是计算机系统的核心部分,键控子程序用来控制检测仪器的全部操作,包括触发、终止等;数据采集子程序用来采集检测

量,以便后面处理分析;数据处理子程序用来处理各种检测信息;显示子程序用来显示经过处理后的检测结果;通信子程序用来与其他计算机相连,实现对检测数据的进一步处理分析。

3 磁记忆检测技术的实际应用

机械应力集中是很多疲劳构件破坏的主要原因,传统无损检测方法只能用于查找常见成形缺陷,而不能进行早期诊断。利用磁记忆检测技术则可以测定疲劳构件近表面的应力分布情况,实现早期诊断,因此,磁记忆检测技术在现代生产中应用极其广泛。现就使用超声和磁记忆两种方法对焊缝的检测实例介绍一下磁记忆的实际应用。

(1) 检测设备和工件

检测设备:磁记忆法选用爱德森(厦门)电子有限公司研制的 EMS-2000 智能磁记忆金属诊断仪及其传感器;超声法选用德国 USN52 数字超声仪及其传感器。

检测对象:某电厂再热管 $\phi 63 \times 4$ 对接焊缝,材料为 12Cr1MoV。

(2) 检测步骤

1) 对检测对象进行编号。对再热管的 40 个新对接焊口根据所在行列分别给予编号,如“ZRG-0106”表示焊接部位在第一列第六行,其中 U 表示夹持管。

2) 由磁记忆检测技术人员对每一焊口进行检测。先对仪器进行归一化处理,以消除地磁等外界磁场对检测结果的影响,然后逐一焊口进行检测,检测到应力集中部位时,在该处作好标记。

3) 由超声检测技术人员按流程逐一检测焊口并记录有关情况。

4) 用超声法对经过磁记忆法检测后作好标记的部位进行重点复查,记录检测结果。

(3) 检测结果及分析

采用超声和磁记忆两种检测方法对 40 个对接焊口分别检测后的结果如表 1。

表 1 某电厂 $\phi 63 \times 4$ 再热管焊缝检测结果

样管编号	ZRG-0601	ZRG-0606	ZRG-0624	ZRG-0626
磁记忆法检测结果	有应力集中区	有应力集中区	有应力集中区	有应力集中区
超声法检测结果	未超标小气孔	未发现	未超标小气孔	已超标气孔
样管编号	ZRG-U08	ZRG-U09	ZRG-U10	ZRG-U11
磁记忆法检测结果	有应力集中区	有应力集中区	有应力集中区	有应力集中区
超声法检测结果	未超标夹渣	未发现	未超标小气孔	未超标夹渣

从表 1 中可见,磁记忆法检测后发现了 8 个应力集中区,而超声检测后仅 6 个焊口有缺陷。这一结果和两种方法各自的检测机理是吻合的,其中 ZRG-0606 和 ZRG-U09 焊口超声法未检出缺陷,而磁记忆法反映了信号,说明该焊口部位存在应力集中区但未形成宏观缺陷,对这种情况可记录存档,便于今后检修时对该部位进行重点跟踪检测和监控。

4 结语

磁记忆检测技术的诞生,实现了对铁磁构件的早期诊断,促进了无损检测技术的发展,但目前磁记忆检测从技术上讲还很不完善,还不能实现对缺陷的定量检测,需要作进一步的研究和分析。不过,磁记忆检测方法朝着多通道、多参量检测方向发展,并与其他无损检测技术相结合,整合更为完善的状态评估体系,是无损检测技术发展的必然。不久的

将来,磁记忆检测技术必将通过多参量检测系统,作为一种崭新的诊断方法,服务于现代工业生产。

参考文献

- [1] 任吉林,林俊明,高春法. 电磁检测. 北京:航空工业出版社,2000
- [2] 林俊明. 21 世纪 NDT 新技术—金属磁记忆诊断法. 华北电力技术,2000(9)
- [3] 林俊明等. NDT 新技术—EMS2000 金属磁记忆诊断仪原理与应用. 无损探伤,2000(3)
- [4] 张行,赵军. 金属构件应用疲劳损伤力学. 北京:国防工业出版社,1998
- [5] 钟文定. 铁磁学. 北京:科学出版社,1987
- [6] 吴东鑫. 新型实用传感器应用指南. 北京:电子工业出版社,1998