

磁粉探伤中的有效值观点与峰值观点的讨论

林锡忠

(成都华林检测技术研究所, 成都 610051)

摘要: 讨论了铁磁物质磁化的磁谱, 得出了磁化的基本响应时间约为 10^{-8} s。因此, 磁粉探伤中, 磁化的效果主要取决于励磁电流(50 Hz)的峰值。

关键词: 磁化; 励磁电流; 峰值; 有效值; 灵敏度

中图分类号: TG115.28

文献标志码: A

文章编号: 1000-6656(2009)05-0386-02

Discussion on the Effective Value Standpoint and Peak Value Standpoint of Magnetic Particle Testing

LIN Xi-Zhong

(Chengdu Hualin Testing Technique Research Institute, Chengdu 610051, China)

Abstract: Discussion was made on magnetic frequency spectra of ferromagnetic matter magnetizing, and it concluded that basic respondent time of magnetizing was about 10^{-8} s. Therefore magnetizing effect was dependent on exciting current(50 Hz) peak value during magnetic particle inspection.

Keywords: Magnetizing; Exciting current; Peak value; Effective value; Sensitivity

磁粉探伤中, 励磁电流的大小对磁粉探伤灵敏度影响巨大。如果励磁电流是周期电流, 那么其电流大小的表示方法有平均值、有效值和峰值三种。如认为电流有效值大小对磁粉探伤灵敏度影响更大, 称之为有效值观点; 如认为是峰值的, 称之为峰值观点。

有效值观点认为: 试件磁化时磁畴的变化需要一定的能量积累, 单凭磁化电流峰值来选取磁化电流规范是不恰当的。因为交流电的瞬间, 峰值还不足以使磁畴方向得到大的改变。因此, 在许多标准中, 明确规定了用有效值代替峰值进行计算。其主要原因是由于在峰值的 0.707 倍处, 电流波形占据了一定的宽度, 足以使试件得到应有的磁化。

笔者于 1980 年在全国第二届磁粉探伤年会上提出了峰值观点, 也在杂志上发表了相应的文章^[1-4], 以此肯定峰值观点。但因为有效值观点代表了部分人的意见, 有必要进行进一步讨论。为此,

特撰此文。

1 磁化响应时间^[5]

要判定磁化多长时间才足以使磁畴方向得到大的改变, 应有相应的依据。这就需要知道磁化时磁畴的响应时间, 进而讨论峰值与磁化的关系。

1.1 磁化的时间效应及磁频散

一般在磁场的作用下, 磁化状态趋于稳定的过程常要经过一定时间, 这就是所谓磁化的时间效应。磁导率的频散就是磁化时间效应的表现之一。

不论是畴壁位移或磁矩转动的磁化过程都是以有限速度进行的, 它们受到不同性质的阻尼作用。例如对于畴壁位移的阻尼, 主要来源于铁磁物质的组织结构, 如内应力、杂质等的不均匀性; 而对于转动磁化过程的阻尼, 则来源于各种各向异性^[5]。因此, 在较高频率的交变磁场中铁磁材料的磁化率和磁导率将随磁场频率而变化, 称为磁频散^[5]。

1.2 铁磁物质的磁谱

磁化状态趋于稳定的时间, 常用弛豫时间 τ 来表示, τ 称为弛豫常数, $\omega = 1/\tau$ 称为弛豫频率。弛豫

收稿日期: 2008-05-28

作者简介: 林锡忠(1940—), 男, 高级工程师, 从事无损检测应用磁学研究及产品开发工作。

过程常常不是单一的过程,即弛豫常数 τ 不只为一个数值,而是分布在一定范围内的弛豫常数谱。在交变磁场下,磁化的弛豫过程表现为磁频散现象。产生磁频散的微观机理有许多种,在不同的频率波段内,有不同的机理起着主要作用,表征频散现象的磁谱亦具有不同的特点。

磁谱的广义定义是指物质的磁性与磁场频率的关系。最早研究铁磁物质高频磁性的是哈根与鲁本斯,他们证明在可见光和红外区域(波长 $\lambda \approx 30 \mu\text{m}$ 或频率 $f \approx 10^{13} \text{ Hz}$),铁磁物质失去其特征而近于寻常金属(即 $\mu_r = 1$);在低频区域(频率 $f < 10^8 \text{ Hz}$),铁磁物质的磁导率 μ 的变化也很小。故磁谱大致分布在 $10^8 \sim 10^{13} \text{ Hz}$ 频率范围内。

1.3 磁化的基本响应时间

从磁谱的讨论可知,在低频区域,铁磁物质的磁导率 μ 随频率变化很小。表明当磁化时间 $> 10^{-8} \text{ s}$ 时,各磁畴基本上能完成壁移和取向的物理过程。因此,可认为 10^{-8} s 是磁化的基本响应时间。

2 工频电流峰值与磁化的关系

2.1 磁场强度 H 与励磁电流 I

设总磁路的长度为 L ,且磁场强度 H 在磁路中是均匀的,由磁路定律有:

$$HL = I$$

若励磁电流 I 不是直流而是角频率为 ω 的正弦交流,则产生的磁场强度 H 也是同频率的正弦交流,即当 $I = I_m \sin \omega t$ 时, $H = H_m \sin \omega t$ 。

2.2 磁感应强度 B 与励磁电流 I ^[6]

磁感应强度 B 和磁场强度 H 存在如下关系:

$$B = \mu H$$

由于 μ 不是常量,使得 B 与 H 是非线性关系,因此 B 与 I 也是非线性关系,这将引起波形发生畸变。若励磁电流为正弦波,则产生的磁感应强度 B 为非正弦的平顶波,可按傅里叶级数展开成只含有奇次正弦项的谐波。各高次谐波中,以三次谐波最为显著。饱和愈甚,三次谐波分量愈大。

为了表明波形的性质,可以采用波顶因数,即用周期量的最大值与有效值之比来大致表明波形是平还是尖,但它不能代表波形。波顶因数恒大于1,它随波形的变尖而增大;随波形变平(坦)而减小。

2.3 工频电流作用时间与磁化基本响应时间的关系

2.3.1 工频电流励磁时磁感应强度 B 的波形畸变

当用工频电流 I ,即频率为 50 Hz 的正弦交流电流励磁时,产生的磁感应强度 B 的基波还是 50 Hz 。一般高次谐波衰减很快,只考虑基波和三次谐波即可,其余的高次谐波可以忽略不计。而磁感应强度 B 的波形变得比正弦波更平坦。正弦波的波顶因数为1.4,磁感应强度 B 的波顶因数则应小于1.4而大于1。可见磁感应强度 B 的波形畸变引起的变化不大,不会超过一个数量级,因此可以忽略不计。

2.3.2 工频电流作用时间与磁化基本响应时间的分析

当只作数量级分析时,可以将用工频电流 I 励磁所产生的磁感应强度 B 近似看作是以 50 Hz (即周期 $T = 0.02 \text{ s}$)按正弦交流规律变化。在电流相位 $\alpha = 90^\circ$ 时, I 和 B 将获得最大值 I_m 和 B_m 。现在分析 I 和 B 在 $\alpha = 90^\circ$ 附近(即 $\Delta\alpha = 2^\circ$)时的变化情况。例如: α 从 $\alpha_1 = 89^\circ$ 变化到 $\alpha_2 = 91^\circ$ 的过程中,励磁电流所需要经过的时间 $\Delta t = (2^\circ/360^\circ) \times 0.02 \text{ s} = 1.111 \times 10^{-4} \text{ s}$,比磁化的基本响应时间 10^{-8} s 大4个数量级,因此不存在磁畴方向来不及改变的问题。而此时由于 $\alpha_1 = 89^\circ$ 和 $\alpha_2 = 91^\circ$,则 $\sin 89^\circ = \sin 91^\circ = 0.9998$,即励磁电流和磁感应强度在 Δt 的持续时间内,最小励磁电流值和最小磁感应强度值均为各自最大值的0.9998倍,这与最大值只相差万分之二,完全可以忽略不计。也就是说,在从 α_1 到 α_2 微小区域内, Δt 就是励磁电流对试件的磁化时间,比磁化的基本响应时间大万倍,故能非常充分地满足磁畴壁移和取向所需的时间,使磁畴完成壁移和取向的物理过程;同时,励磁电流值和磁感应强度值与其最大值之差不超过万分之二,十分接近各自的极大值。若再进一步缩小该微小区域 $\Delta\alpha$,励磁电流对试件磁化时间仍比磁化所需的基本响应时间大得多,则励磁电流值和磁感应强度值就更趋近于各自的极大值。因此,工业探伤中,当用工频(50 Hz)电流作为励磁电流时,其磁化效果或探伤灵敏度主要取决于电流的峰值,故由磁化电流峰值来选取磁化电流规范更为恰当。

实际上,有人曾用 5000 Hz 的交流磁场磁化厚 $5 \times 10^{-5} \text{ m}$ 的钼-坡莫合金片,其磁滞回线的形状基本维持常态。表明在 5000 Hz 的交流磁场的峰值附近未出现磁化异常,即未出现磁畴来不及取向的问题。

(下转第403页)

位等因素的综合考虑,确定如下重点检查部位:

- (1) 异种钢焊接接头区域。
- (2) 叶片出水边附近的迎水面和背水面。
- (3) 砂眼周围表面。
- (4) 叶片背水面中部的受拉应力区域。

3 溶剂去除型着色渗透检测所应注意的问题

对于奥氏体钢材料的渗透检测,要控制渗透检测剂中氯和氟元素的含量,以防腐蚀;同时还要防止碳污染。

着色渗透检测的操作步骤是:受检表面预清洗、渗透、去除、显像、观察、记录与评定、后处理以及报告。针对在用水轮机叶片的特殊性,上述操作过程除严格按照 JB/T 4730—2005《承压设备无损检测》标准规定的工艺执行外,还应注意以下问题:

(1) 受检表面预清洗 对于水轮机叶片主要是去除水垢和修磨较大的制造削磨沟槽。

(2) 渗透 渗透之前必须保证预清洗后受检表面的干燥。水轮机叶片置于尾水管上部蜗壳中,空气湿度极大,受检表面残留的清洗液不易挥发,对此采用远处整体风扇送风,近处局部用电吹风吹热风,

(上接第 387 页)

3 对“用有效值代替峰值进行计算”的讨论

有效值观点提到“在许多标准中,明确规定了用有效值代替峰值进行计算”,笔者理解这句话本身就意味着至少与“峰值”有关,甚至是主要的,即必须用“峰值”进行计算。而直接用其进行计算不方便或有困难,才借助于其它更为简便的方式进行表达。例如在 ZJB J10 001—1986《航空轴承零件磁粉探伤规范》标准第 8 条的注释中指出:

“磁粉探伤中,对磁化起作用的是电流的峰值;若电流表指示的不是(峰值),则按表 2 进行换算”,并多次强调磁化规范表中所列的磁化电流值是电流的峰值。

实际上,人们通常使用的电流表是磁电式的,直接反映的是电流的平均值,通过变换电路成了有效值,即通常的电流表是有效值表。因此,为了方便,才将所需的峰值换算成相应的有效值。即以常用的有效值电流表来代替了峰值电流表。

4 结语

磁粉探伤中,常用工频交流电作为励磁电流。

促使受检表面干燥;在干燥后的受检表面上喷施渗透液,并在润湿的状态下保持至少 10 min。

(3) 清洗 针对空气湿度大这一特定环境,首先采用干净、干燥、无毛的棉布下脚料,擦去受检表面上多余的渗透液,再用无毛卫生纸蘸清洗剂沿同一个方向擦拭,直至将受检表面上的多余渗透液全部擦净。必须注意,不得用清洗剂直接冲洗受检表面,并且整个清洗擦拭过程不得往复擦拭,每张纸限擦一次。

(4) 显像 喷施显像剂时,喷嘴离被检面距离为 300~400 mm,喷涂方向与被检面夹角为 30°~40°为宜;显像剂应薄而均匀地喷施在整个受检表面上,不可在同一处反复多次喷施,不可堆积、流淌;由于空气湿度大,可在 800 mm 处用电吹风加风,显像时间至少为 10 min。

(5) 检验观察 观察时,由于条件的限制,受检表面上的白光照明度应 ≥ 500 lx,辨认细小显示时可用 5~10 倍的放大镜进行观察,并对缺陷痕迹作草图记录和拍照。

(6) 后处理 检验完毕后,将受检表面上的渗透液、显像剂等全部清除干净。

在电流峰值附近作用于试件的时间一般远大于磁化的基本响应时间(10^{-8} s),故能非常充分地满足磁化所需的时间,使磁畴完成壁移和取向的物理过程。因此,工业磁粉探伤中,用工频交流电作为励磁电流时,磁化的效果或探伤灵敏度主要取决于电流的峰值。实际操作中,往往因没有峰值电流表,所以常使用现成的有效值电流表,但须采用核算后的值。

参考文献:

- [1] 林锡忠. XK-2 型交直流磁力探伤仪的研制[C]. 中国机械工程学会无损检测学会第二届年会论文. 北戴河: 1981.
- [2] 林锡忠. 关于采用电磁铁“提升力”来反映磁粉探伤灵敏度的讨论[C]. 水电部第三届无损检测技术讨论会文集. 桂林: [出版者不详], 1984.
- [3] 林锡忠. 脉冲电流磁化时的探伤灵敏度与磁化电流峰值的关系[J]. 无损检测, 1989, 11(12): 333—335.
- [4] 林锡忠. 论电磁轭提升力与磁粉探伤灵敏度的关系[C]. 第一届国际机械工程学术会议论文集. 北京: 机械工业出版社, 2000.
- [5] 郭贻成. 铁磁学[M]. 北京: 人民教育出版社, 1965.
- [6] 俞大光. 电工基础[M]. 北京: 高等教育出版社, 1965.