

荧光磁粉检测中紫外线辐照度与 白光照度的关系

黄永巍¹, 高东海¹, 任明照¹, 高金生²

(1. 铁道科学研究院 金属及化学研究所, 北京 100081;

2. 齐齐哈尔铁路车辆(集团)有限责任公司, 齐齐哈尔 161002)

摘要:为在荧光检测时科学、合理地使用高强度紫外线,做了大量的荧光磁粉检测试验,得出紫外线辐照度 u 与白光照度 v 的对应关系曲线,并通过线性拟合得到了对应关系公式。研究结论在大量现场试验中得到了证实,填补了现行标准在荧光磁粉检测工艺方面的空白,具有重要意义。

关键词:荧光磁粉检测;紫外线;白光;照度

中图分类号: TG115. 28

文献标识码: A

文章编号: 1000-6656(2008)08-0501-03

Research on the Relationship of Ultraviolet Light Intensity to White Light Intensity in Fluorescent Magnetic Particle Testing

HUANG Yong-Wei¹, GAO Dong-Hai¹, REN Ming-Zhao¹, GAO Jin-Sheng²

(1. Metals and Chemistry Research Institute, China Academy of Railway Sciences, Beijing 100081, China;

2. CNR Qiqihar Railway Rolling Stock(Group) Co., Ltd, Qiqihar 161002, China)

Abstract: In order to use high ultraviolet light intensity more reasonably, by conducting fluorescent magnetic powder test(MPT) experiments, the relationship of ultraviolet light intensity to white light intensity was deduced and showed in the $u-v$ curve, and by linear approximation to the $u-v$ curve, the corresponding formula was acquired to describe the relationship. The research conclusion was proved to be scientific in a large amount of local tests, which filled a blank in fluorescent MPT technique.

Keywords: Fluorescent magnetic powder testing; Ultraviolet light; White light; Luminance

磁粉检测是检验铁磁性材料表面或近表面缺陷的一种常用方法,其检测灵敏度高、操作方便、工艺简单、可靠,因而在工业上得到了广泛应用。

磁粉检测以其使用的磁粉材料分类,可分为普通磁粉和荧光磁粉检测两种。

为了使荧光磁粉检测获得高对比度,检测区域内的紫外线辐照度和环境白光照度必须满足一定要求,如 GB/T 15822.1—2005《无损检测 磁粉检测

第1部分:总则》在第10.2条中规定荧光磁粉的检测区域最大环境白光照度为20 lx,被检表面的紫

外线(UV-A)辐照强度应 $>1\ 000\ \mu\text{W}/\text{cm}^2$;英国标准 BS 4489—1984《无损检测用黑光源 UV-A 的测量》里规定荧光磁粉检测时环境白光照度应 $<10\ \text{lx}$,检测表面的紫外线辐照强度应 $\geq 800\ \mu\text{W}/\text{cm}^2$ 。

以上标准都是针对在暗室中进行的荧光磁粉检测。随着紫外线灯制造技术的发展,越来越多的高强度紫外线灯产品问世,现有最高的紫外线辐照度已达 $60\ 000\ \mu\text{W}/\text{cm}^2$ 。此时,即便是在普通工作环境下,也可以使缺陷的磁痕激发出清晰可见的荧光。由于目前荧光磁粉检测中关于高强度紫外线辐照度与环境白光照度的对应关系,国内外还没有明确的规定,一些最新的标准虽然意识到了这个问题,但因为没有科学依据,也不能给出明确的说法,如 GB/T 15822.1—2005 标准在第10.2条中指出“只要显示与环境之间有足够的反差,较高的 UV-A 辐射允许

收稿日期:2008-01-28

基金项目:铁道科学研究院金属及化学研究所应用研究资助项目(0552JH0302)

作者简介:黄永巍(1967—),男,高级工程师,学士,从事无损检测工艺技术研究。

相应增加较高的环境白光”。因此,迫切需要进行高强度紫外线辐照度与环境白光照度对应关系的研究。

笔者采用实测的方法,得出荧光磁痕清晰显示时的紫外线辐照度与环境白光照度的对应关系曲线($u-v$ 曲线),为在高强度环境白光辐照下进行荧光磁粉检测提供理论依据。

1 紫外线辐照度与环境白光照度试验

1.1 试验设备

主要试验设备及技术指标见表 1。

表 1 主要试验设备

设备名称	生产厂家	型号	技术指标
标准试片	铁科院金化所	A1	15/50,15/100,30/100
紫外线灯	瑞典兰宝公司	PS135	约 380mm 处 $>50\ 000\ \mu\text{W}/\text{cm}^2$
紫外线灯	瑞典兰宝公司	PH135	约 380 mm 处 $>3\ 500\ \mu\text{W}/\text{cm}^2$
白光照度计	瑞典兰宝公司	M400	量程 0.1~200 000 lx,精度 $\pm 3\%$
紫外辐照计	瑞典兰宝公司	M365	量程 0.1~200 000 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$,精度 $\pm 3\%$
磁轭探伤仪	铁道科学仪器厂	TCL-I	提升力 49N
荧光磁粉	宜兴周铁磁粉厂		符合 TB/T 2047—2005《铁路磁粉探伤用磁粉供货技术条件》

1.2 试验步骤

(1) 配制荧光磁悬液 依次配制 0.1,0.3,0.5,0.7 和 0.9 ml/100 ml 共 5 种浓度的荧光磁悬液。

(2) 将紫外线灯固定于试验台的夹具上,上下移动调整夹具位置,可得不同强度的紫外线辐照度;贴有试片的钢板置于试验台上,用两台紫外线辐照计分别测量并记录试片上的紫外线辐照强度。

(3) 用便携式磁轭探伤仪从两个互相垂直的方向,对试片所在区域进行连续法磁化,须保证试片磁化效果良好。

(4) 试片中心两侧 50 mm 处各放一台白光照度计,沿着两台白光照度计连线方向,分三种观察角度(与试片平面法线所成夹角为 0° , 45° 和 60°)观察。

然后打开白光灯,沿垂直于两台白光照度计连线的方向上,均匀照射试片,使两台照度计的读数一致(误差尽量小)。通过改变白光灯与试片间的距离,调整试片上的白光照度。记录试片磁痕清晰显示和正好不可见两种临界状态时的白光照度值。关闭白光灯,复查试片上的紫外线辐照强度,记录两次测量值。

(5) 更换不同浓度的磁悬液和不同类型的试片,重复(2)~(4)步骤试验过程。

1.3 试验数据及其 $u-v$ 图

为了充分研究紫外线辐照度 u 和环境白光照度 v 的关系,研究针对表 1 所示三种 A1 试片和自然裂纹试块,5 种不同浓度的荧光磁悬液、3 种不同的观察视角,紫外线辐照度 u 从 $800\sim 50\ 000\ \mu\text{W}/\text{cm}^2$,取 10 个试验点,共开展 60 项试验。所得典型情况下(A1-15/50 试片,荧光磁悬液浓度为 0.7 ml/100 ml)的试验数据和 $u-v$ 曲线见图 1 和表 2。

1.4 数据分析

(1) 试片显示清晰与消失之间的模糊区域跨度均较大,表明荧光磁粉探伤可容性好。

(2) 同一试片的人工缺陷清晰显示时,不同浓度的磁悬液所对应的 $u-v$ 曲线并不重合,说明荧光磁粉探伤时白光强度及紫外线辐照度的选择与磁悬液浓度有关。

(3) 无论是试片上的人工缺陷还是自然缺陷, $u-v$ 曲线一般均为单调递增函数,即磁悬液浓度一定时,欲使缺陷磁痕显示清晰,紫外线辐照度必须随着白光照度的增加而增加。

(4) 由于试验用光源在试片上的强烈反光作用,当试片清晰显示时,观察者与试片平面法线之间存在一个最佳观察视角,约为 $45^\circ\sim 60^\circ$ 。

(5) 测试结果显示,当紫外线辐照度 u 为 $800\sim 1\ 000\ \mu\text{W}/\text{cm}^2$ 时,白光照度为 400 lx 时,缺陷磁痕即清晰可见。这与目前世界公认的紫外线辐照度 800

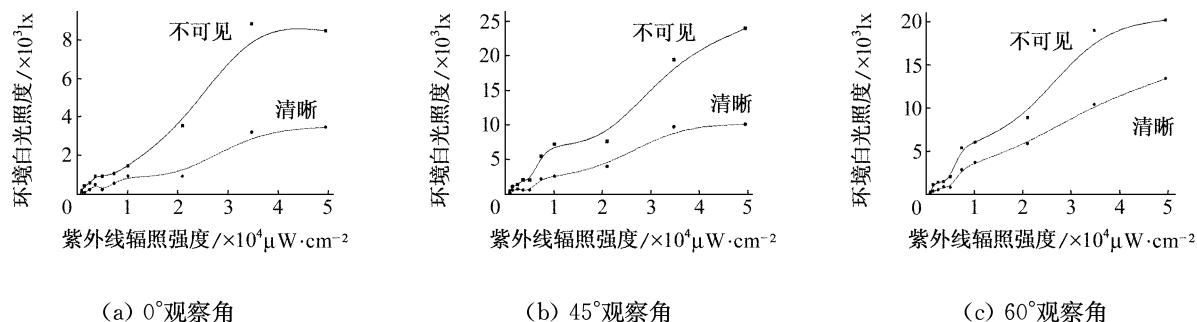


图 1 不同观察角度时的 $u-v$ 曲线图

表2 不同磁痕显示在不同观察角度下的白光照度 lx

紫外线辐照度/ $\mu\text{W} \cdot \text{cm}^{-2}$	磁痕不可见时			磁痕清晰显示时		
	0°	45°	60°	0°	45°	60°
49 500	8 500	23 950	20 200	3 450	10 100	13 450
34 750	8 850	19 400	19 000	3 200	9 700	10 450
20 950	3 525	7 620	8 965	895	3 990	5 905
10 100	1 460	7 225	6 095	910	2 565	3750
7 350	1 035	5 425	5 430	525	2 185	2 925
5 000	900	2 000	2 115	200	575	890
3 605	890	2 030	1 520	465	570	935
2 500	550	1 380	1 450	200	715	620
1 450	385	1 090	1 175	50	555	425
880	145	425	322	70	210	190

~1 000 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 时,白光照度应不大于 20 lx 不相符。因此推断原白光强度 <20 lx 的要求应该是考虑了视角、观察距离和个体差别等因素后的综合效果。即为了取得良好的荧光磁粉探伤效果,白光强度指标缩小了 20 倍。

1.5 $u-v$ 曲线的建立

绘制所有试验数据中的磁痕清晰显示点(图2),可见曲线规律明显,在紫外线辐照度为 20 000 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 处有一分界点。考虑现行标准规定的紫外线辐照度 800 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 对应白光照度为 20 lx,经过最小二乘法拟合,得出两段拟合直线(图2)。拟合直线公式为:

$$v \leq 20 \text{ 时 } u \geq 800 \quad (1)$$

$$20 < v \leq 1670 \text{ 时 } u \geq 11.637v + 567.26 \quad (2)$$

$$v > 1670 \text{ 时 } u \geq 41.935v - 50\,030.4 \quad (3)$$

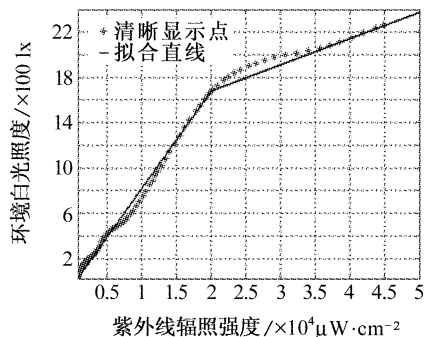


图2 所有磁痕清晰显示点拟合直线图

2 $u-v$ 曲线的验证

为了验证所得 $u-v$ 曲线,在多家单位的现场实际探伤工况条件下,对 $u-v$ 曲线及公式进行了试验,

试验数据共 362 组。

2.1 试验要求

在采用高强度紫外线非暗室的工艺条件下,对紫外线辐照度与环境白光照度的工艺参数进行试验,对 $u-v$ 曲线进行验证。

2.2 试验方法及数据

在实际工况条件下,测试环境及工件表面的白光照度,并通过改变紫外线灯与工件表面的距离来调整工件表面紫外线辐照度,观测磁悬液浓度在 0.2~0.6 ml/100 ml 范围变化时,不同强度的紫外线辐照度下,A1-15/50 试片磁痕的显示情况。其中一组试验数据见图 3。

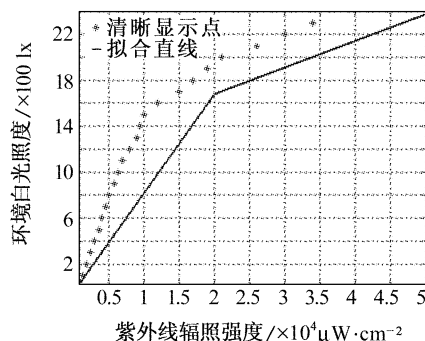


图3 验证试验数据

2.3 数据分析

分析多家单位所测 362 组数据可见,所有坐标点都位于给定曲线左上侧,说明对于现场任一测定的白光照度来说,公式给出的紫外线辐照度完全满足缺陷清晰显示的要求,验证了公式的科学性,同时也说明所得公式有一定的观察余量。

3 结论

(1) 在现场操作中,环境白光照度往往是一个不容易控制的量,所以将白光照度 v 作为自变量,紫外线辐照度 u 为因变量,所得 $u-v$ 曲线见图 4 所示。

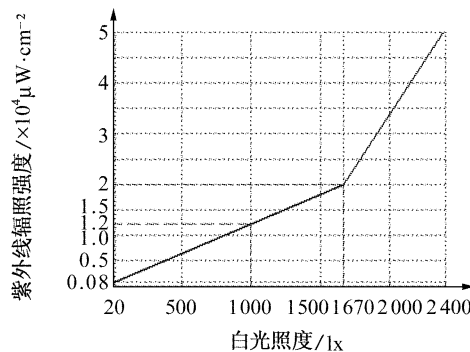


图4 紫外线辐照度与白光照度曲线图

(下转第 559 页)

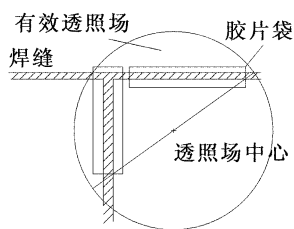


图2 直角三角形布片

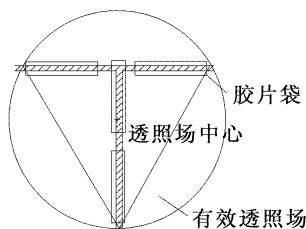


图3 锐角三角形布片

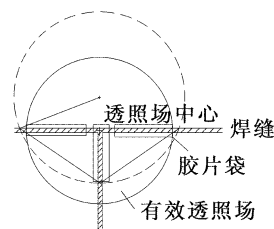


图4 钝角三角形布片

表1 简易平方表

F	k	F	k	F	k
0.2	0.04	0.9	0.81	1.6	2.56
0.3	0.09	1	1	1.7	2.89
0.4	0.16	1.1	1.21	1.8	3.24
0.5	0.25	1.2	1.44	1.9	3.61
0.6	0.36	1.3	1.69		
0.7	0.49	1.4	1.96		
0.8	0.64	1.5	2.25		

照多条环向或纵向焊缝(图2~4)。此时若布片图是一条直线,可以根据布片长度的一半来反求最大横向裂纹检出角,即 K 值。但若布片图是三角形,笔者推荐采用外心对焦法,以确定中心射线的位置,保证一次透照所获得的底片黑度、求出满足 K 值要求的最小焦距。

由几何学可知,三角形的外心到各个顶点的距离相等。当呈直角三角形布片时(图2),射线机的

中心射线束应对准斜边的中点(式(1));当呈锐角三角形布片时(图3),按式(2)计算满足要求的最小焦距;当呈钝角三角形布片时(图4),应以长边的中点为透照场中心,长边的一半作为式(1)中的 L 值,公式如下:

$$f_{\min} = L \cdot \operatorname{ctg} \left[\cos^{-1} \frac{1}{K} \right] \quad (1)$$

式中 $f_{\min}$ ——满足 K 值要求的最小焦距值;

L ——外心到三角形顶点的距离。

以AB级纵缝为例,将 $K=1.03$ 代入式(1)可得:

$$f_{\min} = 4L \quad (2)$$

该方法检测大型立式储罐时可以收到事半功倍的效果,但在使用时一定要结合第2节所述的平方法来计算曝光时间。对焦时最好使用准直器,没有准直器时使用平移法也可。特别要注意的是,无论使用哪种方法,都要使中心射线垂直入射。

该方法同时透照纵环焊缝,但只采用纵缝的 K 值。若引入环缝的 K 值,将使计算过程过于复杂,不利于推广。

(上接第503页)

(2) 采用无暗室荧光探伤工艺时,应无阳光直射到观察区域,建议观察区域白光照度 $\leq 1\,000\text{ lx}$ 。

上述研究为高环境白光照度下开展荧光磁粉检测提供了试验依据和技术条件,填补了现行标准在荧光磁粉检测工艺方面的空白。试验采用的A1-15/50, A1-15/100和A1-30/100三类试片,符合微小缺陷的特征。目前,该研究成果已于2007年6月26日通过铁道部运装货车[2007]310号文件发布,在铁道货车铸钢摇枕、侧架荧光磁粉检测时应用,它对其它工业系统高环境白光下的荧光磁粉检测具有一定的参考价值。

致谢:在本项目研究过程中,铁道部沈阳机车车辆厂崔殿国、柳州机车车辆厂洗绸群、西安车辆厂余小清、江岸车辆厂万升云和天瑞集团铸造有限公司赵军杰等技术人员做了大量的试验验证工作,在此表示衷心的感谢!

(上接第554页)

4.2 氧化膜缺陷分布特点

由于氧化膜缺陷是熔铸过程中产生的,对探伤结果进行定性评定时,要结合相应批次或相应熔次进行评定。

氧化膜缺陷经锻压后被压成片状,并沿金属流线方向分布,多集中于最大变形部位,在一个批次中氧化膜缺陷将会出现多处,必要时可提高探伤灵敏度进行探测。

铝合金锻件多应用在国防工业中,当出现质量异议时,用户希望知道工件内部存在什么缺陷,从而对产品的使用安全性进行判断,生产单位工艺技术人员需要知道缺陷的性质,快速采取有效的防范措施。由于剖伤工序比较复杂,因此需要广大的无损探伤工作者在实践中积累丰富的经验,以能够对探测的缺陷进行经验性的定性评判。