

磁记忆检测在无缝钢轨内应力测试中的可行性研究

王晓霞

(上海市宝山区特种设备监督检验所, 上海 201900)

蔡 珣

王怡之

(上海交通大学 材料学院, 上海 200030)

(上海机械工业学会 无损检测学会, 上海 200030)

摘 要: 使用 TSC-1M-4 型应力集中磁指示仪测量在不同载荷下钢轨表面磁场强度的变化, 得出钢轨的磁场强度随载荷的增加而逐渐增大, 且在弹性范围内, 磁场强度和载荷为近似线性关系。提出金属磁记忆法可以对钢轨内应力进行定量测量。

关键词: 磁记忆检测; 无缝钢轨; 载荷; 内应力

中图分类号: TG115.28

文献标识码: A

文章编号: 1000-6656(2006)04-0177-02

Feasibility Research on Stress Testing of Seamless Railway by Magnetic Memory Testing

WANG Xiao-xia

(Baoshan District Institute of Special Equipments Inspection, Shanghai 201900, China)

CAI Xun

(School of Materials, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China)

WANG Yi-zhi

(Nondestructive Testing Institution of the Shanghai Mechanical Engineering Society, Shanghai 200030, China)

Abstract: The facial magnetic strength of railway was tested using magnetic inductor TSC-1M-4 at different loads. Experimental data showed the magnetic strength increased with load and its relation with load was linear within elastic deformation. Therefore metal magnetic memory testing (MMT) equipments could be used in measuring internal stress of seamless railway.

Keywords: Magnetic memory testing; Seamless railway; Load; Internal stress

现代高速铁路都采用焊接连接的无缝钢轨。我国首条长轨——沪宁线上最长的无缝钢轨已达 300 多公里。钢轨会因热胀冷缩产生巨大的内应力, 且钢轨长期在交变载荷下工作, 一旦由于内应力过大而产生宏观变形, 造成涨轨, 将会危及行车安全, 进而造成重大损失。但是, 采取何种有效的手段对无缝钢轨的内应力进行动态、连续、准确的监测, 是铁路部门长期悬而未决的难题。

金属磁记忆检测是 20 世纪 90 年代后期新出现的一种金属无损检测技术^[1,2], 由于该方法无需对被测对象表面进行专门处理, 无需专门的磁化装置

且灵敏度高, 笔者对该技术是否可以应用于铁路无缝钢轨的内应力测试进行了试验研究。

1 试件及检测仪器

试件为 60 轨, 钢号为 U71Mn, 含碳 0.65%~0.77%, 硅 0.15%~0.35%, 锰 1.10%~1.15%, 磷 $\leq 0.04\%$, 硫 $\leq 0.04\%$; 抗拉强度 $\sigma_b \geq 883$ N/mm, 断后伸长率 $\delta_5 \geq 8\%$; 轨端淬火, 淬火层硬度 HB301~370。

检测所用仪器为俄罗斯动力诊断公司的 TSC-1M-4 型应力集中磁指示仪, 其磁场强度 H_p 值测量范围为 2 000 A/m, H_p 值测量通道数为 4, 测量间距 1~128 mm, 最大扫查速度为 0.25 m/s。

试验数据输入计算机后用 MM-SYSTEM 软件进行处理。

2 试验方法

将 30 cm 长的 60 轨装于压力机 WPM—100T 内,并加以固定,使其不发生偏移;每次加压载荷递增 100 kN,直至 800 kN;使用 TSC-1M-4 型应力集中磁指示仪对钢轨进行测量,记录数据。卸载后再进行重复加载测试。

3 试验结果及分析

3.1 测试结果

试验中采用定点测量。发现如果两次试验间隔时间 >20 min,固定点的磁场强度测量值基本相同。图 1 是正常测量时所得到的载荷-磁场强度曲线。 $H_{\max}$ 、 $H_{\min}$ 和 H_{med} 分别表示 H_p 的最大值、最小值和平均值。

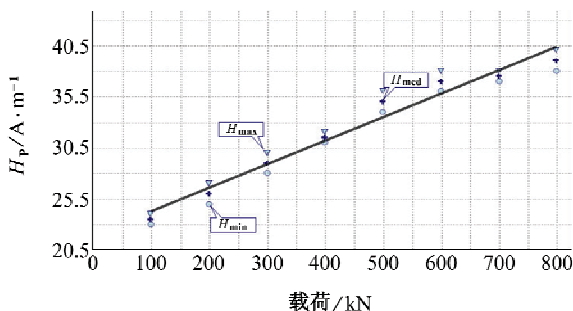


图 1 载荷-磁场强度曲线

由图 1 可见随载荷的增加,磁场强度的幅值逐渐增大。 H_p 和载荷为近似线性关系。这是因为当对钢轨施加载荷,动态应力的存在不仅会使物体产生弹性应变,也会产生磁致伸缩应变,引起磁畴壁位移,改变其自发磁化的方向^[3],由于 TSC-1M-4 型应力集中磁指示仪所测的是钢轨表面磁场的法向分量 $H_p(y)$,得出 $H_p(y)$ 发生改变。

3.2 磁滞效应的影响

如两次试验间隔时间较短 (<5 min),第二次测量时初始磁场强度测量值会有一定升高。图 2 为有磁滞现象时的载荷-磁场强度曲线。这是由于磁畴恢复的磁滞效应所致^[4],也证明当铁轨处于完全弹性变形区时磁致伸缩应变和磁畴壁位移是可逆的。

3.3 表面状态对测试结果的影响

钢轨的表面状态发生改变时,如对钢轨表面进行磨光处理后,钢轨表面的磁性能被改变,磁场强度增大。在加载同样的载荷下,其明显高于未经磨光

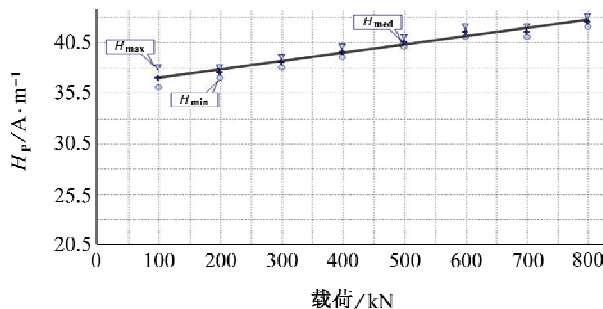


图 2 有磁滞现象时的载荷-磁场强度曲线

处理钢轨的磁场强度变化量 ΔH_p 。图 3 为经磨光处理后钢轨的载荷-磁场强度曲线。

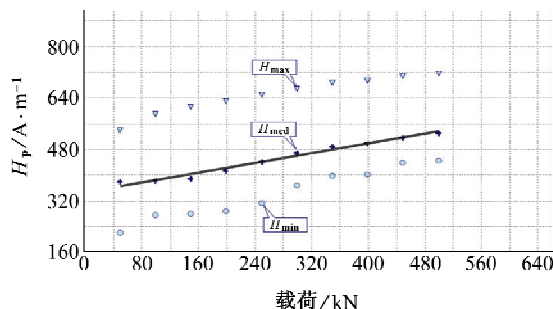


图 3 钢轨表面磨光后的载荷-磁场强度曲线

此时相当于对工件增加一外加磁场,外加磁场强度 H 将随磁化磁场强度的增大而增大。而残余磁感应强度的增加,会影响磁弹性效应的不可逆分量 λ_H ,使在相同载荷变化下, ΔH_p 增大^[4]。

4 结论

(1) 可以通过应力集中磁指示仪对钢轨表面磁场强度的测量反映出钢轨所受应力的变化情况。

(2) 钢轨的磁场强度随载荷的增加而逐渐增大。 H_p 和载荷为近似线性关系。但其斜率和材料种类、表面状态等因素有关。

(3) 在实验室中,采用恒温加压的方法,但在实际情况中,由于材料的热磁弹性,必须考虑温度的影响。电磁场、温度场和变形场之间的相互关系是下一步研究的方向。

(4) 试验采用定位测量方式,但实际工作中环境磁场的变化对磁场强度测量值有很大影响^[5],现场测试时必须考虑对环境磁场进行屏蔽或补偿。

参考文献:

- [1] 杜波夫. 金属磁记忆法诊断管路、设备和结构——金属磁记忆方法原理[C]. 莫斯科:2002.

(下转第 197 页)

2 检测工艺

2.1 仪器检测频率与探头

超声波背散射法是近几年出现的一种无损测定零件淬火深度的新方法,是现代电子技术和超声探头技术发展的结果。采用德国 Fraunhofer 公司研制生产的 P3105Pht 超声波金属淬火层深测定仪,检测频率 20 MHz、直径 ϕ 10 mm 的双晶斜探头进行试验。

2.2 参数确定

仪器调整参数为,声速 3 230 m/s,采样 128 次,增益 70 dB,仪器同步频率 15~30 MHz,软件滤波 8 MHz,分析门槛值 15%,分析范围 11 μ s,声束角 28.3°,频率 20 MHz。

3 试验

3.1 实验室试验

由于康明斯曲轴检测部位的特殊性,特委托 Fraunhofer 公司为其 R 部位设计了马鞍形探头楔块。康明斯曲轴淬火层深测试结果见表 1 和 2。

表 1 主轴颈与连杆颈淬火层深测试结果 mm

方法	主轴颈				连杆颈
	1 号	2 号	3 号	4 号	
超声散射回波法	4.1	4.2	3.8	4.1	4.4
金相法	4.0	4.0	3.7	4.0	4.3

表 2 主轴连杆淬火层深测试结果 mm

方法	主轴-R		主轴 4-R				连杆 R	
	A	B	A	B	C	D	A	B
超声散射回波法	3.1	3.15	3.2	2.7	3.4	3.05	3.3	3.25
金相法	3.2	3.00	3.0	2.4	3.2	2.80	3.1	3.01

由表 1 和 2 看出,超声散射回波法在康明斯曲轴轴颈上的测试值与金相法的差别 $\leq$ 0.2 mm,R 部位差别 $\geq$ 0.3 mm,完全能应用于生产。

3.2 现场试验

现场对 24 个曲轴颈、78 个部位进行测试,部分测试对比数据见表 3。

4 结论

(1) 用 Fraunhofer 公司生产的 P3105Pht 超声波金属淬火层深测定仪,对康明斯曲轴汽车零件淬火层深进行超声散射回波法测定是可行的,测量误

表 3 康明斯曲轴淬火层深部分测试结果 mm

零件 编号	金相法			超声散射回波法					
	M	R ₁	R ₂	M	R ₁	R ₂			
A81072	—	—	—	4.10	4.2	3.00	3.0	3.40	3.3
	4.2	2.7	2.9	4.14	—	3.00	—	3.35	—
	—	—	—	4.30	4.2	2.70	3.0	3.20	3.0
	4.0	2.9	3.0	4.25	—	2.85	—	3.10	—
	—	—	—	4.40	4.3	2.80	3.1	—	—
B08235	4.0	2.8	—	4.25	—	2.95	—	—	—
	—	—	—	3.60	3.7	2.80	2.8	3.10	3.1
	4.1	2.8	3.0	3.65	—	2.80	—	3.10	—
	—	—	—	4.30	4.2	2.50	2.6	2.80	2.7
	4.0	2.7	2.8	4.25	—	2.55	—	2.75	—
A80552	—	—	—	4.20	4.3	2.80	2.8	—	—
	4.0	2.8	—	4.25	—	2.80	—	—	—
	—	—	—	3.40	3.3	2.90	2.7	2.80	2.8
	3.3	2.8	3.0	3.35	—	2.80	—	2.80	—
	—	—	—	4.00	4.2	2.80	2.6	2.50	2.5
	4.1	2.7	2.6	4.10	—	2.70	—	2.50	—
	—	—	—	4.20	4.0	2.90	2.7	—	—
	3.8	2.7	—	4.10	—	2.80	—	—	—

M——主轴颈

差 $\geq$ 0.3 mm。

(2) 用超声散射回波法无损测量康明斯曲轴零件淬火层深度,来取代有损的金相法,每年可为东风汽车有限公司节约成本 300~400 万元人民币。

(3) 超声散射回波技术对灰铁件和球铁件的检测较困难。

参考文献:

[1] 金属材料及热处理编写组.金属材料及热处理[M].上海:上海人民出版社,1972.

[2] 李家伟,陈积懋.无损检测手册[M].北京:机械工业出版社,2002.

~~~~~

(上接第 178 页)

[2] 黄松岭,李路明,汪来富,等.用金属磁记忆方法检测应力分布[J].无损检测,2002,24(5):212—214.

[3] 任吉林,邬冠华,宋凯,等.金属磁记忆检测机理的探讨[J].无损检测,2002,24(1):29—31.

[4] 温伟刚,萨殊利.金属磁记忆的机理及实现[J].北方交通大学学报,2002,26(4):67—70.

[5] 黎连修.磁致伸缩和磁记忆问题研究[J].无损检测,2004,26(3):109—112.