

本文参考文献引用格式:果伟,张志毅,邱培现,等.转向架用 S355J2W 钢 MAG 焊接接头残余应力研究[J].电焊机,2018,48(03):300-303.

转向架用 S355J2W 钢 MAG 焊接接头 残余应力研究

果伟¹,张志毅¹,邱培现¹,马传平²

(1.中车青岛四方机车车辆股份有限公司,山东 青岛 266111 2.西南交通大学 材料科学与工程学院,四川 成都 611031)

摘要:利用 X 射线衍射法和超声临界折射纵波法测量和分析 S355J2W 钢 MAG 焊接接头的起弧区、中心区和收弧区残余应力。结果表明 超声波法和 X 射线衍射法均可用于 S355J2W 钢 MAG 焊接接头的残余应力测量,在焊缝和热影响区 超声波法的应力测量值比 X 射线法的大 30~40 MPa。各测试区残余应力分布趋势相近,在焊缝及近缝热影响区为数值较大的残余拉应力,远离焊缝中心的母材为压应力。中心区的残余应力峰值大于起弧区和收弧区。

关键词: S355J2W 钢;MAG 焊接接头;残余应力

中图分类号: TG457.11

文献标志码: A

文章编号: 1001-2303(2018)03-0300-04

DOI: 10.7512/j.issn.1001-2303.2018.03.59

Research on the residual stress of S355J2W steel MAG welded joints of bogies

GUO Wei¹, ZHANG Zhiyi¹, QIU Peixian¹, MA Chuanping²

(1.CRRC Qingdao Sifang Co., Ltd., Qingdao 266111, China 2.College of Materials Science and Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract The residual stress of the S355J2W steel MAG welded joint was measured and analyzed by X-ray diffraction method and ultrasonic critical refraction longitudinal wave method. The results show that the X-ray diffraction method and ultrasonic critical refraction longitudinal wave method can be used for S355J2W steel MAG welded joint residual stress measurement. The residual stress value of the ultrasonic method is 30~40 MPa larger than that of the X-ray method in the weld and heat affected zone. The distribution of residual stress in each test area is similar, and the residual tensile stress is larger in the weld and heat affected zone, and the base metal which is away from the center of the weld is residual compressive stress. The residual stress peak of the central area of is greater than the starting arc region and the ending arc region.

Key words S355J2W steel; MAG welded joints; residual stress

0 前言

随着我国高速铁路的快速发展,如何保障高速列车的安全可靠运行是目前关注的焦点之一。转向架作为机车车辆的主要部件之一,起着支撑车体、转向和制动的关键作用,直接关系到高速列车的行

车安全^[1]。目前高速列车转向架多采用焊接构架,焊接方法多为熔化极活性气体保护焊(MAG焊),由于转向架构架结构比较复杂,焊缝数量较多,且分布密集,所以焊后构架会产生较大的残余应力。S355J2W 钢是欧标耐候钢,是一种低合金高强度钢,具有较高的强度、韧性、塑性和抗疲劳性等良好的综合力学性能及抗腐蚀性能^[2],广泛应用于轨道车辆的转向架生产中^[3]。目前国内外 S355J2W 钢焊接接

收稿日期:2017-10-03

作者简介:果伟(1989—)女,学士,主要从事轨道交通转向架焊接工艺的开发工作。E-mail: guowei@cqsf.com。

头的研究主要集中在其微观组织和力学性能^[2-5]以及腐蚀性能^[2]上,对其残余应力的研究较少。而构架中焊接残余应力的存在会影响焊接构架的疲劳寿命和服役安全可靠^[6]。因此,需了解和掌握 S355J2W 钢 MAG 焊接头的残余应力大小和分布规律,为 S355J2W 钢制造的转向架构架的残余应力评估积累基础数据。

本研究利用 X 射线衍射法(简称 X 射线法)和超声临界折射纵波法(简称超声波法)测量 S355J2W 钢 MAG 焊对接接头残余应力,获得并比较两种测量方法下焊接接头的残余应力分布规律和大小。

1 试验材料及测试方法

1.1 试验材料及焊接工艺

试验所用材料为 S355J2W 钢板,尺寸 300 mm×150 mm×12 mm,化学成分见表 1,S355J2W 钢的力学性能指标为:屈服强度 $R_{eL} \geq 355$ MPa,抗拉强度 R_m 为 470~630 MPa,断后伸长率 $A \geq 20\%$ 。选用 JM-55 焊丝,其成分见表 1。使用 KempArc Pulse450 焊机,采用其脉冲 MAG 焊接功能,通过送丝速度自动匹配焊接电流和电压。焊接采用 V 型坡口,单边坡口角度为 30°,钝边 1 mm,焊接间隙 2 mm。采用多层多道焊,打底焊层焊接电流为 120~140 A,焊接电压为 25.2 V,焊接速度为 44 cm/min,填充及盖面焊接电流为 250~280 A,焊接电压为 28.2 V,焊接速度为 50 cm/min。保护气为富氩混合活性气体 $\varphi(\text{Ar})80\%+\varphi(\text{CO}_2)20\%$,气体流量 20 L/min。

1.2 残余应力测试方法

超声波测量残余应力的原理为^[7]:根据声弹性基本原理,超声波在各向同性弹性介质中传播时,波速的改变量与残余应力变化量成线性关系。在发射传感器和接收传感器之间距离 L 固定的条件下,被测介质内的声速变化可用声时变化等效代替。因此,在材料特性确定、传播距离 L 固定的条件下,残余应力变化量 $\Delta\sigma$ 与临界折射纵波传播声时的变化量 Δt 呈线性关系,即 $\Delta\sigma=K\Delta t$,其中 K 为材料的应力系数。只需知道 K 和 Δt 值,就能得到 $\Delta\sigma$,从而测得残余应力。超声应力测试设备采用 HT1000 型的超声波残余应力检测系统,发射和接收超声波

的换能器频率 5 MHz,所用耦合介质为医用超声耦合剂。

X 射线衍射法的原理为^[8]:多晶体在应力作用下原子间的距离发生变化,其变化量与应力成正比。采用 X 射线照射多晶体,射线被晶体的晶格衍射并产生干涉现象,可由此求出晶格的面间距,并根据晶格面间距的变化以及无应力状态下进行比较即可确定残余应力。X 射线法所用测试设备为加拿大 PROTO 公司生产的 iXRD 残余应力仪,测试参数为:同倾固定 Ψ_0 法, $\text{CrK}\alpha$ 辐射,管电压 20 kV,管电流 4 mA,衍射晶面为(211),衍射角为 156.40°,准直管直径 2 mm,多曝光模式,曝光时间 2 s,曝光次数 15 次, β 角 7 个。电解抛光设备为 8818-V2 型电解抛光机,腐蚀介质为饱和 NaCl 水溶液。

试板焊接完成后,将试板焊缝打磨至与母材平齐。在距离试板边缘 20 mm 处的起弧区和收弧区各布置一条应力测试线,分别为 L_1 和 L_3 测试线;在焊接试板中线处布置一条应力测试线,为 L_2 测试线。每条测试线均沿平行于焊缝长度方向的焊缝中心线对称布置测点:分别为距焊缝中心 0 mm、 ± 5 mm、 ± 10 mm、 ± 20 mm、 ± 30 mm、 ± 50 mm、 ± 75 mm、 ± 100 mm,每条测试线共 15 个测点。采用超声波法和 X 射线法先后测量试板 3 条测试线的残余应力。

2 测试结果及分析

起弧区、中心区和收弧区 3 条测试线所测得的残余应力分布曲线如图 1 所示。其中 σ_x 和 σ_y 分别为平行于焊缝长度方向的纵向应力和垂直于焊缝长度方向的横向应力。由图 1 可知,无论是起弧区、中心区还是收弧区,所测纵向 σ_x 和横向应力 σ_y 沿着中心线两侧近似对称分布,在焊缝及近缝热影响区为数值较大的残余拉应力,随着距焊缝中心距离的增加,残余应力值逐渐降低,至母材为残余压应力。在焊缝及近缝区残余应力对应于同一测点,平行焊缝方向的纵向拉应力 σ_x 大于垂直焊缝方向的横向拉应力 σ_y ;对应同一条测试线,纵向残余应力的峰值大于横向残余应力峰值。此外,由图 1 还可知,同一测试线,超声法所测纵向和横向残余应力的峰值高于 X 射线法。起弧区超声波法所测纵向应

表 1 S355J2W 耐候钢和焊丝主要化学成分

%

材料	$w(\text{C})$	$w(\text{Si})$	$w(\text{Mn})$	$w(\text{P})$	$w(\text{S})$	$w(\text{Cu})$	$w(\text{Cr})$	$w(\text{Ni})$	$w(\text{Nb})$
S355J2W	≤ 0.19	≤ 0.55	0.45~1.60	≤ 0.035	≤ 0.035	0.20~0.60	0.35~0.85	≤ 0.70	0.010~0.065
JM-55	0.08	0.38	1.21	≤ 0.025	≤ 0.025	0.35	0.63	0.53	—

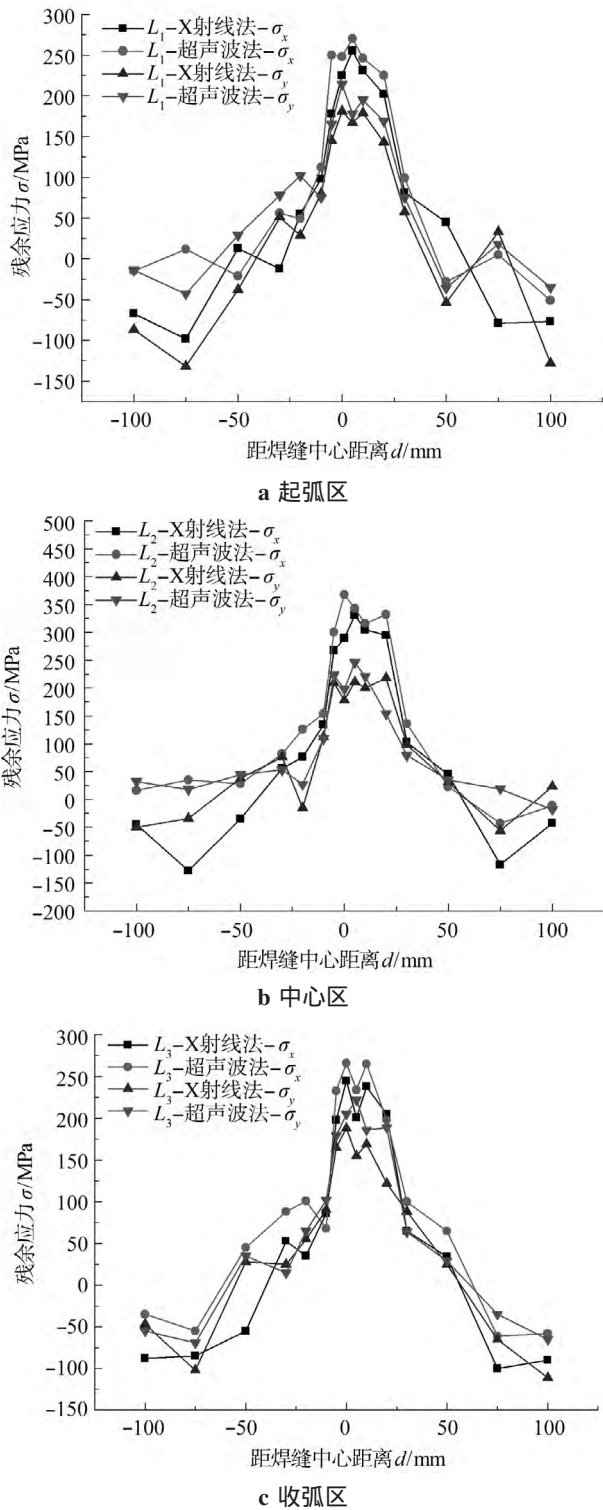


图 1 接头 3 个区域应力测试分布曲线

力和横向应力峰值分别为 270 MPa 和 214 MPa , 而 X 射线法所测纵向应力和横向应力峰值分别为 255 MPa 和 184 MPa , 均低于超声波法。同样 , 中心区和收弧区超声波法所测纵向应力和横向应力峰

值分别为 368 MPa、266 MPa 和 246 MPa、222 MPa , 均大于 X 射线法所测的 331 MPa、238 MPa 和 211 MPa、188 MPa。这主要是由于两种测试方法的基本原理不一样 , 且测试的范围大小不同 , X 射线法主要测量光斑照射区域内材料表面的残余应力 , 而超声波法是测量发射传感器和接收传感器之间超声波传播路径上的平均应力 , 所测试的区域范围大于 X 射线法。试样表面处理是 X 射线残余应力测量的关键问题之一 , 试样表面状态对测量结果有决定性影响^[9]。而影响超声波法测量结果的主要因素为试样表面状态和材料组织的非均匀性(比如焊接接头各区域组织并不均匀)^[10], 但超声波法测量更为简便、快捷 , 对现场测试的适应性较强。

不同测试线之间的纵向残余应力分布曲线的比较如图 2 所示。

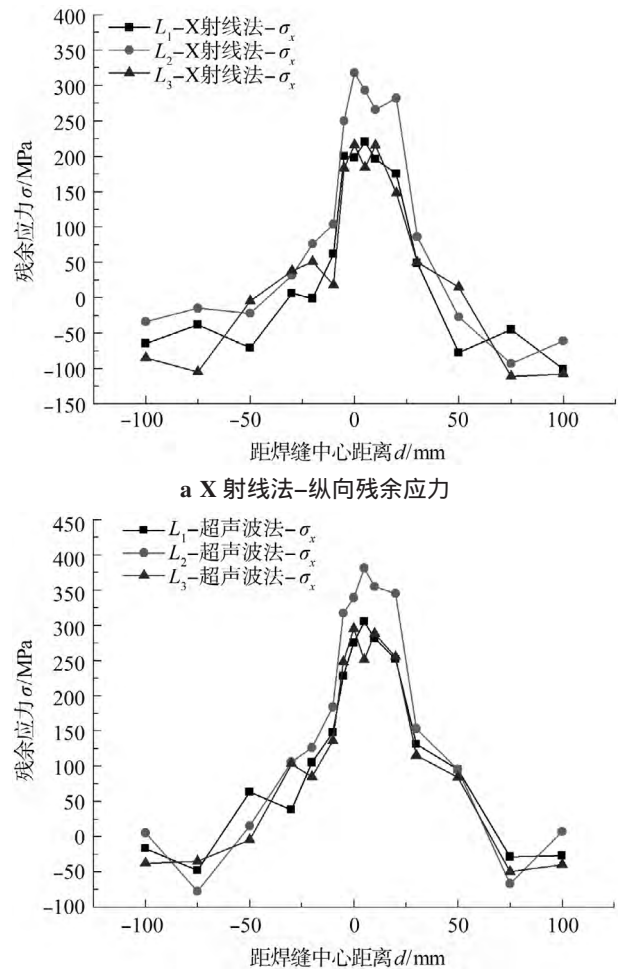


图 2 不同测试线之间的纵向残余应力分布曲线
由图 2 可知 , 无论是 X 射线法还是超声波法 , 试板中线 L₂ 所测的残余应力峰值均大于起弧区 L₁

和收弧区 L_2 所测的残余应力峰值。这是因为^[6]当平板对接焊缝较长时,焊缝中段会出现一个稳定区,稳定区中的纵向残余应力 σ_x 将接近或达到材料的屈服极限。而在焊缝端部存在应力过渡区域,纵向残余应力 σ_x 逐渐减小,在板边缘处为 0,这是由于试板端面截面处是自由边界,端面外没有材料,其内应力自然为 0。因而,起弧区测试线 L_1 和收弧区测试线 L_3 均距离端面 20 mm,所以两条测试线焊缝中的残余应力值均小于试板中线 L_2 焊缝中的残余应力值。

3 结论

(1) X 射线衍射法和超声临界折射纵波法均可用于测量 S355J2W 钢 MAG 焊接接头残余应力。对于同一测试线的残余应力峰值,超声波法的测量结果比 X 射线法高约 30~40 MPa。

(2) S355J2W 钢 MAG 焊接接头的残余应力沿着中心线两侧近似对称分布,在焊缝及近缝热影响区为较大的残余拉应力,远离焊缝中心的母材为压应力。

(3) 试板中线测得的残余应力峰值大于起弧区和收弧区测得的残余应力峰值,主要是由于试板中线处于应力稳定区,而起弧区和收弧区处于应力过渡区。

参考文献:

- [1] 李宝瑞. CRH2 动车组动力转向架焊接架构的强度分析[D]. 四川:西南交通大学, 2012.
- [2] 阴敬甲. S355J2W 耐候钢焊接接头腐蚀性能研究[D]. 北京:北京交通大学, 2011.
- [3] 刘博维. S355J2W 耐候钢焊接接头组织及性能研究[D]. 北京:北京交通大学, 2012.
- [4] 何永攀. S355J2W 钢及焊接接头低温性能研究[D]. 四川:西南交通大学, 2017.
- [5] 赵忠成, 李晓娜. S355J2W 钢焊接接头的组织和力学性能[J]. 电焊机, 2016, 46(12): 93-95.
- [6] 方洪渊. 焊接结构学[M]. 北京:机械工业出版社, 2008: 62-63.
- [7] 刘建, 马传平, 程永明, 等. 超声波法评定 7B05 铝合金激光-MIG 复合焊接接头振动时效应力消除效果[J]. 焊接技术, 2016 (5): 160-163.
- [8] 吕克茂. 残余应力测定的基本知识—第四讲 X 射线应力测定方法(一)[J]. 理化检验—物理分册, 2007, 43(7): 349-353.
- [9] 吕克茂. 残余应力测定的基本知识—第四讲 X 射线应力测定方法(三)[J]. 理化检验—物理分册, 2007, 43(9): 467.
- [10] 冉启芳, 吕克茂. 残余应力测定的基本知识—第三讲 磁性法和超声法测残余应力的基本原理和各种方法比较[J]. 理化检验—物理分册, 2007, 43(6): 317-320.