

基于等离子-MAG复合焊的SMA490BW焊接接头残余应力与变形测量

田仁勇¹, 史春元¹, 吴向阳², 张志毅², 齐维闯²

(1.大连交通大学, 辽宁 大连 116028; 2.南车青岛四方机车车辆股份有限公司, 山东 青岛 266111)

摘要:分别采用等离子-MAG复合焊和普通MAG焊, 以及在不同的坡口角度条件下, 对SMA490BW钢对接接头和T型接头残余应力和焊接变形进行了测量。结果表明, 与MAG焊相比, 等离子-MAG复合焊可有效地降低接头残余应力和焊接变形, 且随着焊缝坡口角度的减小, 残余应力与变形相应减小。从降低残余应力和减小变形的角度来看, 宜采用窄坡口等离子-MAG复合焊接工艺。

关键词:等离子-MAG复合焊; 残余应力; 焊接变形

DOI: 10.14158/j.cnki.1001-3814.2016.03.012

中图分类号: TG456.2; TG457.11

文献标识码: A

文章编号: 1001-3814(2016)03-0045-04

Measurement of Residual Stress and Welding Deformation of SMA490BW Steel Welded Joints Based on Plasma-MIG Hybrid Welding

TIAN Renyong¹, SHI Chunyuan¹, WU Xiangyang², ZHANG Zhiyi², QI Weichuang²

(1. Dalian Jiaotong University Dalian 116028, China; 2. CSR Qingdao Sifang Locomotive and Rolling Stock Co., Ltd., Qingdao 266111, China)

Abstract: The residual stress and welding deformation were measured for SMA490BW steel butt joint and T-joint welded by using plasma-MIG hybrid welding and general MAG welding respectively, as well as in different groove angle conditions. The results indicate that the plasma-MAG hybrid welding can effectively reduce the residual stress and welding deformation compared with the MAG welding. With the groove angle decreasing, the residual stress and welding deformation reduce accordingly. From the angle of reducing the residual stress and the deformation, the plasma-MAG hybrid welding should be adopted in the way of narrow groove.

Key words: plasma-MAG hybrid welding; residual stress; welding deformation

构架是高速列车转向架的主要承载部件, 它不仅支撑车体及各种零部件, 而且还要传递各种载荷。转向架构架的焊接主要采用MAG焊。由于构架结构复杂, 焊缝密度大, 加上MAG焊接工艺特点, 构架焊后产生复杂的残余应力与变形, 这对转向架的断裂特性、疲劳强度、形状尺寸精度及结构稳定性等会产生不利影响, 其中残余应力的存在是构架变形和疲劳失效的主要原因^[1-3]。因此, 如何有效地控制焊接残余应力与变形是构架在焊接生产过程中亟待解决的问题。

焊接应力与变形的影响因素较多并且比较复杂, 主要原因是由于构架在组焊过程中不均匀的加热和冷却形成非均匀分布的弹塑性应变所致。焊接工艺方法、接头形式、焊接热输入、组装和焊接的顺序、焊缝层数、工装拘束度以及装配间隙等因素都直

接影响构架焊接残余应力与变形^[3-4]。

等离子-MAG复合焊是将等离子弧焊和MAG焊这两种不同的焊接工艺结合而成的一种新型焊接工艺方法。通过两热源复合方式实现优势互补, 提高焊接质量和焊接效率。与传统的MAG焊相比, 等离子-MAG复合焊热输入低, 能量更集中、热影响区域较小, 不易造成零部件变形^[5-6]。

为此, 本文针对高速列车转向架焊接构架SMA490BW耐候钢, 分别选取典型的对接和T型接头形式, 研究不同的焊接工艺方法及接头坡口角度对焊后残余应力与变形的影响, 为等离子-MAG复合焊在构架焊接中的应用提供基础性实验依据。

1 试验材料与方法

1.1 试验材料

试验用钢为12mm厚的SMA490BW钢板材, 试板尺寸为350mm×150mm, 其化学成分及力学性能见表1。焊丝选用CHW-55CNH的实芯焊丝(直径

收稿日期: 2015-04-09

作者简介: 田仁勇(1989-), 男, 辽宁鞍山人, 硕士, 主要研究方向: 等离子-MAG复合焊工艺; 电话: 13898620520; E-mail: tianrenyonghj@163.com

表 1 SMA490BW 钢的化学成分和力学性能
Tab.1 Chemical composition and mechanical properties of SMA490BW steel

化学成分(质量分数,%)							R_{eL}	R_m	A	弯曲 180°	-40°C A_{KV}
C	Si	Mn	S	P	Cu	Cr	/MPa	/MPa	(%)	$d=4a$	/J
0.18	0.15~0.65	≤1.40	≤0.035	≤0.035	0.30~0.50	0.45~0.75	≥365	490~610	≥15	合格	≥27

1.2mm),保护气体为 Ar80%+CO₂20%混合气体。

1.2 试验方法

1.2.1 焊接工艺

分别采用 MAG 焊和等离子 -MAG 复合焊及单面 V 型坡口多层多道焊接工艺。接头形式为平板对接和 T 型接头,其中平板对接:MAG 焊接时,坡口角度取 60°,等离子-MAG 复合焊时,坡口角度分别取 30°和 60°,钝边和间隙均为 1mm;T 型接头:MAG 焊接时,坡口角度取 55°,钝边和间隙均为 1mm;等离子-MAG 复合焊时,坡口角度分别取 45°和 55°,无钝边和间隙。焊前清除试板接口附近氧化物和气体污染物,焊接过程中保持焊件呈非约束焊接。对接接头和 T 型接头的焊接工艺参数分别列于表 2、3。

表 2 对接接头焊接工艺参数
Tab.2 Welding parameters of butt joint

焊法	坡口角度/(°)	焊道数	等离子弧焊电流/A	等离子弧焊电压/V	MIG 电流/A	MIG 电压/V	焊速/(cm·min ⁻¹)	PL 气体流量/(L·min ⁻¹)	线能量/(kJ·cm ⁻¹)
等离子-MAG	30	1	180	27.2	190~200	20.6	60	6	8.8~9.0
		2	100	23	260~270	27.7	40	3	14.3~14.7
	60	1	120	24.6	180~190	19.4	60	5	6.4~6.6
2~3		80	22	255~260	26.3	35	3	14.5~15.0	
MAG	60	1	-	-	110~115	20.5	20	-	6.5~7.1
		2~3	-	-	265~270	28.1	30	-	14.9~15.5

表 3 T 型接头焊接工艺参数
Tab.3 T type welding parameters

焊法	坡口角度/(°)	焊道数	等离子弧焊电流/A	等离子弧焊电压/V	MIG 电流/A	MIG 电压/V	焊速/(cm·min ⁻¹)	PL 气体流量/(L·min ⁻¹)	线能量/(kJ·cm ⁻¹)
等离子-MAG	45	1	180	27.2	205~215	24.6	50	6	11.9~12.2
		2	50	21	235~245	25.0	40	3	10.4~10.8
等离子-MAG	55	1	120	24.6	195~200	20.5	50	4	8.3~8.5
		2~5	50	21	240~250	27.6	40	3	11.5~11.9
MAG	55	1	-	-	235~245	21.4	25	-	12.1~12.6
		2~5	-	-	255~265	27	30	-	13.8~14.3

1.2.2 残余应力测量

残余应力测量参照 CB3395-92 采用盲孔法进行。应力测点的位置示于图 1,其中沿着焊缝方向的残余应力为纵向残余应力 σ_x ,垂直于焊缝方向的残余应力为横向残余应力 σ_y 。各个残余应力测点之间的距离不小于 30mm。

测量时,在待测部位贴上型号为 BE120-2CA-K 的三向电阻应变片,灵敏系数为 2.16。用 CCZ-1 型

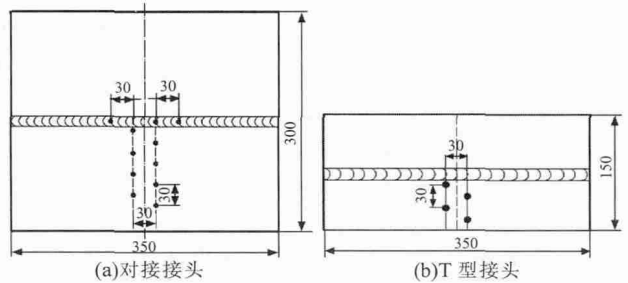


图 1 残余应力测试点位置
Fig.1 Location of residual stress measuring point

测钻设备钻一直径 22mm、深度 2mm 的盲孔。通过 YJ-25 型应变仪测量释放应变变量,应用弹性理论计算出该部位的残余应力。

1.2.3 焊接变形测量

采用 Hexagon 桥式三坐标测量机,通过触发与扫描技术,对焊件进行焊接变形的精密测量。焊接变形测点位置如图 2 所示。

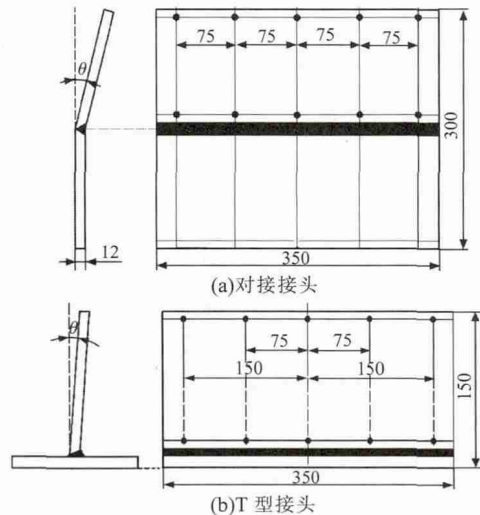


图 2 焊接变形测试点位置
Fig.2 Location of welding deformation measuring point

变形测量时首先将焊件固定在工作台上,其中对接焊件测量时,以焊缝为轴线将焊件一侧置于水平位置并压紧,使焊件另一侧自由翘起;对于 T 型接头焊件,将未变形的焊件翼板水平放置并压紧,腹板处于自由状态。选定零点位置作为基准,然后测量出焊件上各个测点的三维空间坐标,根据对应两点的坐标按照勾股定理计算出角变形量。

2 试验结果与分析

2.1 残余应力测量结果

对接接头的纵向残余应力 σ_x 和横向残余应力 σ_y 的分布规律如图3所示。可看出,无论是MAG焊还是等离子-MAG复合焊,焊缝及近焊缝区域的 σ_x 均呈拉应力状态,其应力数值达到SMA490BW屈服极限,且随着距焊缝中心线距离的增加, σ_x 逐步由拉应力变为压应力。对于横向残余应力 σ_y 来说,与 σ_x 相比都处于较低的应力水平。

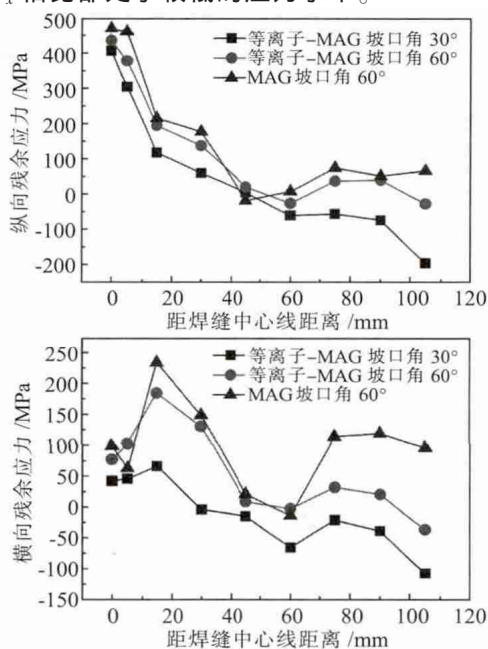


图3 对接焊件残余应力分布

Fig.3 The residual stress distribution of butt weldment

与传统的MAG焊相比,在相同的焊接工艺条件下,采用等离子-MAG复合焊接时,其纵向残余应力 σ_x 和横向残余应力 σ_y 都一定程度地降低,其中焊缝区 σ_x 降低7.5%,近缝区 σ_x 降低18.1%。等离子-MAG复合焊残余应力下降的主要原因是由于等离子-MAG复合焊比传统MAG焊的热源能量更为集中,热作用范围缩小,并且焊接速度较快,焊接热输入减小,从而缩小高温热塑性区域使残余应力降低。

采用等离子-MAG复合焊接时,其它焊接工艺条件不变,减小焊缝的坡口角度,焊接残余应力也相应降低。与常用的60°坡口角度相比,采用30°坡口角度时,焊缝区 σ_x 降低6.7%,近缝区 σ_y 降低19.6%。显然,坡口角度越小,焊道数则越少,填充金属减少,焊接热输入降低,从而使接头的残余应力下降。

可见,与传统MAG焊相比,采用等离子-MAG复合焊工艺,以及减小焊缝的坡口角度,都可以减小焊缝及近缝区的残余应力,其中近缝区残余应力减

小效果更为明显。

图4为T型接头的纵向残余应力 σ_x 和横向残余应力 σ_y 的分布规律。同理,当坡口角度均为55°时,与MAG焊相比,采用等离子-MAG复合焊,焊缝附近区域的 σ_x 下降15.3%。而同为等离子-MAG复合焊工艺,当单边坡口角度为45°时,焊缝附近区域的 σ_x 仅约为坡口角度为55°时的一半。此外,相比于平板对接接头,T型接头的纵向和横向残余应力都较低。

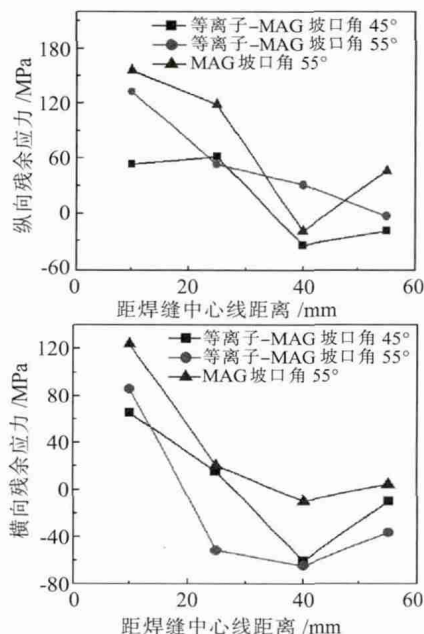


图4 T型接头残余应力分布

Fig.4 Residual stress distribution of T-type welded joint

2.2 焊接变形测量结果

焊后变形测量结果如图5所示。由图5(a)平板对接焊件残余变形可知,在坡口角度同为60°的情况下,等离子-MAG焊接的弯曲角变形比MAG焊小,平均角变形量 θ 由3.14°减小到2.69°,减小约14.3%。等离子-MAG焊接变形比MAG焊小的主要原因是焊接热输入相对较少所致。

当焊接方法均为等离子-MAG焊的情况下,坡口角度由60°减小到30°时,角变形量 θ 平均从2.69°减小到2.50°,减小7.1%。焊接坡口角度小,填充金属及焊缝横截面积小,冷却后收缩变形就小。此外坡口角度越窄,焊缝上下截面相差程度越低,弯曲变形越小。

由T型接头残余变形测量结果(图5(b))可知,当坡口角度同为55°时,等离子-MAG焊接变形也小于MAG焊。角变形量由3.61°减小到2.93°,平均减小18.8%。当均采用等离子-MAG焊工艺方法时,坡口角度由55°改变为45°,角变形量则由2.93°减

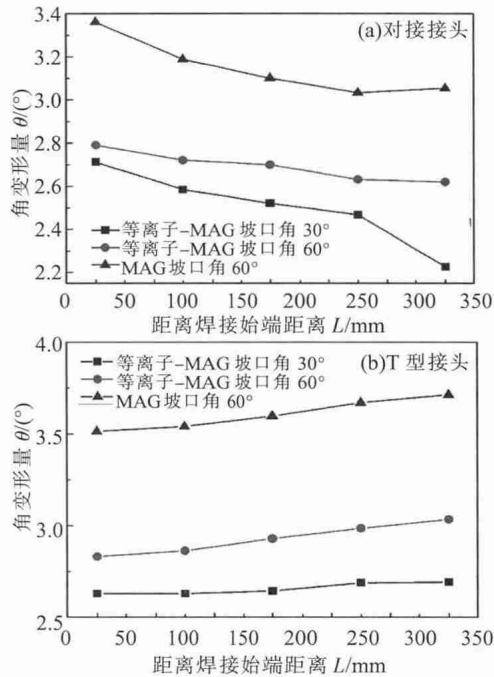


图5 焊接变形测量结果

Fig.5 The measured results of welding deformation

小至 2.66°, 平均减小 9.2%。

综上所述, 在其它焊接条件不变的情况下, 采用等离子-MAG 复合焊并施以窄坡口焊接工艺可有效地减小焊接变形。与通过减小坡口角度来减小变

(上接第 44 页)

38J。断口左部约 1/2 面积微观形貌主要为韧窝特征, 少部分为解理。断口右部存在大量夹杂物为铁的氧化物, 这可能是导致韧性偏低的原因。在一些韧窝中可见夹杂物, 其为铁、钼、钛、锰的氧化物。3# 为 -40℃ 焊缝冲击试样断口, 冲击吸收功为 49J。缺口附近微观形貌为韧窝特征。断口中扩展区微观形貌为解理特征。在韧窝中可见夹杂物为铁、锰、硅、钛、铬的氧化物或硫化物。4# 为 -60℃ 焊缝冲击试样断口, 冲击吸收功为 54J。缺口附近微观形貌为韧窝特征。断口中扩展区微观形貌为解理特征。在一些韧窝中可见夹杂物为铁、锰、钛、硅的氧化物或硫化物。

由冲击试样断口分析, 缺口附近启裂区多为韧窝特征, 断口中扩展区多为解理特征。焊缝存在少量铁的氧化物夹杂, 是导致个别冲击吸收功低值出现的原因。韧窝中夹杂物, 一般为铁及部分合金元素的氧化物或硫化物。炼钢过程中残留在母材中的钙或稀土元素也可形成氧化物或硫化物成为断裂过程中微裂纹聚集的中心。

3 结论

(1) HG785 钢匹配 FK1000 焊丝进行了气保护

形的作用相比, 用等离子-MAG 复合焊取代 MAG 焊工艺减小焊接变形的效果更好。

3 结论

(1) 与传统 MAG 焊相比, 采用等离子-MAG 复合焊焊接 SMA490BW 钢时, 接头拉伸残余应力明显降低, 并且随着焊缝坡口角度的减小, 残余应力相应降低。

(2) 其它焊接条件不变, 用等离子-MAG 复合焊代替 MAG 焊或通过减小焊缝的坡口角度, 都可以减小焊接变形。

(3) 等离子-MAG 复合焊辅以窄坡口焊接工艺可更为有效地减小焊接残余应力与变形。

参考文献:

- [1] 刘兴龙, 李晓燕. 转向架构架焊接残余应力与变形的研究[J]. 机车车辆工艺, 2006(1): 9-11.
- [2] 庄伟. 转向架构架焊接残余应力和变形的控制[J]. 机车车辆工艺, 2013(1): 25-26.
- [3] 周杰. 焊接残余应力对构架疲劳强度的影响[D]. 成都: 西南交通大学, 2010.
- [4] 刘焕军. 转向架侧梁焊接残余应力与变形的研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2012.
- [5] 王长春, 杜兵. 等离子-MIG/MAG 复合热源焊接技术研究与应用[J]. 焊接, 2009, 10(12): 62-64.
- [6] 阙福恒, 王振民. 等离子-MIG 焊的研究进展 [J]. 电焊机, 2013, 43(3): 28-30.

焊接试验, 在等强匹配的条件下, 焊接接头强度 ≥ 805 MPa, 焊缝 -20℃ 冲击功值达到 66J, -40℃ 冲击功值达到 60J, 各项力学性能指标均满足钢种技术要求。

(2) 气保护焊接头焊缝为针状铁素体, 高强度条件下, 保证了良好的韧性; 热影响区多为贝氏体组织, 在粗晶区可能出现马氏体组织, 导致该区淬硬倾向增大, 出现一定程度硬化, 形成焊接接头韧性的一个薄弱区; 另外焊缝存在少量铁的氧化物夹杂, 是导致个别冲击吸收功低值出现的原因。

参考文献:

- [1] 栗卓新, 刘秀龙, 李虹, 等. 高强度钢焊材及焊接性的国内外研究进展[J]. 新技术新工艺, 2007(5): 32-34.
- [2] 邵国良, 宗培, 陈爱志, 等. 高强度低合金结构钢焊缝与母材的强度匹配研究[J]. 焊接技术, 2004(3): 8-10.
- [3] 罗伟中. 低合金高强度钢焊接裂纹分析 [J]. 造船技术, 1996(10): 36-38.
- [4] 陈家权, 高季明, 郭燕杰. 低碳低合金钢焊接接头的疲劳裂纹扩展性能[J]. 东北大学学报(自然科学版), 1994(3): 309-312.