

耐候钢活性 MAG 焊接接头组织及冲击断口特征

路 浩 何建英

(青岛四方机车车辆股份有限公司, 青岛 266111)

文 摘 针对焊枪可达性差等难熔合焊接结构,提出了活性熔化极气体保护焊焊接新方法。该方法可增加焊接熔深,改善难熔焊接结构的熔合不良,获得高质量的焊接接头。采用活性熔化极气体保护焊对接耐候钢进行了工艺试验,对焊接接头组织、冲击韧性及断口形貌进行分析。结果表明,相对熔化极气体保护焊,活性熔化极气体保护焊在同等焊接热输入下熔深显著增加,焊缝表面及焊接接头内部质量高,接头组织更为细化,过热区析出碳化物相也更加细小弥散,冲击韧性提高,冲击断口韧性特征更明显。

关键词 活性熔化极气体保护焊,耐候钢,接头组织,冲击断口

中图分类号: TG431

DOI:10.3969/j.issn.1007-2330.2015.05.014

A-MAG Welding Bead Microstructure And Impact Fracture Analysis

LU Hao HE Jianying

(Qingdao Sifang CO. LTD, Qingdao 266111)

Abstract In order to solve the lack of fusion, A-MAG welding was invented, which obtained welded joints of high quality. The experiment results show that surface appearance of A-MAG weld, internal quality of welding joint and the welding operation perform very well. Experiments also show that the A-MAG welding can improve weld penetration, compared with MAG welding on the same heat input. The tensile property and bending strength of A-MAG are not reduced while impact strength is improved, especially in the HAZ. Dimples size of A-MAG welded joint fracture becomes finer. It is shown that the active MAG welding can improve the welding quality and weld penetration of weathering steel, which has the value of engineering application.

Key words Activating flux MAG welding, Weathering steel, Welding bead, Impact fracture

0 引言

国内外众多研究机构已对活性 TIG 焊接方法开展了大量研究^[1-7]。但是活性 TIG 焊接方法局限于非熔化极气体保护焊,焊接效率较低。

实际工业生产中一些复杂结构焊接熔透不足问题成为制约产品质量的瓶颈。例如在高速动车转向架结构制造中,焊接是重要的加工制作手段,存在大量的管板接头等难熔焊接接头,易发生根部未融合缺陷。本文提出的活性熔化极气体保护焊(A-MAG/MIG)焊接新方法,把活性焊接技术扩展到了熔化极气体保护焊领域^[8-10]。

文中通过对耐候钢进行活性熔化极气体保护焊焊接试验,对焊缝成形、焊接接头组织、断口组织进行研究分析,展示出 A-MAG 焊接是一种可以提高焊接效率和焊接质量,降低焊接成本的高效优质焊接方法。本方法可以改善焊接过程熔透不足的问题,极大地降低加工制造成本,提高焊接效率与产品质量。

1 焊接实验

1.1 A-MAG/MIG 焊接实施方式

通过大量试验开发了适用于熔化极气体保护焊的多组份活性剂,其成份主要由氟化物和氧化物组成。A-MAG/MIG 焊接方法通过在焊前将很薄的一

收稿日期: 2014-08-15

基金项目: 四方股份工艺开发资助项目(2012003)

作者简介: 路浩,1981 年出生,博士,高级工程师,现主要从事高速列车焊接技术开发工作。E-mail: lhht9@163.com

层活性剂涂敷在施焊工件表面、坡口或焊缝间, 然后进行 MAG/MIG 正常焊接。在保证焊缝质量的基础上, 可以增加熔深, 减少厚板的焊接层道, 进而提高效率, 降低焊接热输入。

活性剂的实施方式及实例如图 1 所示, 试件在焊前涂覆一半焊道长度的活性剂。未涂敷活性剂的一侧背部没有熔透, 涂覆活性剂一侧背部熔透程度良好, 即 A-MAG 焊背部熔透程度明显优于 MAG 焊, 如图 1(d) 所示。有活性剂一侧背部受热产生的变色区域平均宽度为 23.0 mm, 没有活性剂一侧背部受热而产生的变色区域平均宽度为 34.6 mm。在有活性剂和没有活性剂交接的地方产生了变色区域宽度的突变, 即 A-MAG 焊发生了明显收缩。试验均在相同间隙、电流等焊接工艺参数下进行。

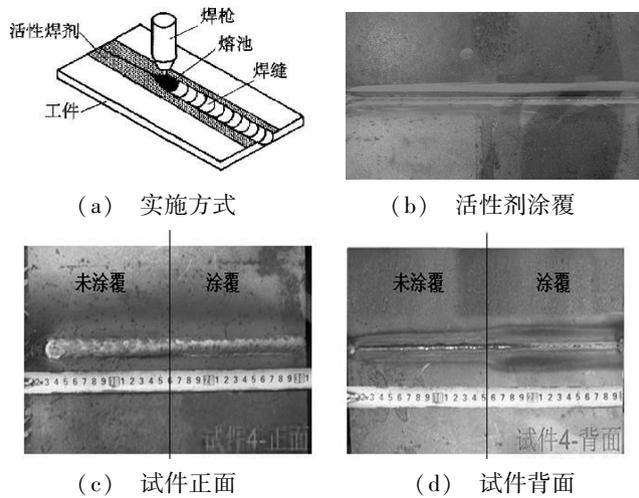


图 1 活性 MAG 焊接实施方式及实例

Fig. 1 A-MAG welding method

1.2 耐候钢 A-MAG 焊接工艺

钢的活性熔池气体保护焊接试验选用 12 mm 厚 SMA490 耐候钢板, 保护气体选用 80% Ar+20% CO₂ 的混合气体, 直径为 1.2 mm 的 CHW-55CNH 焊丝, 焊接电源采用松下 YD-500GL3 型气体保护焊电源, 保护气体流量范围 18~24 L/min。试板坡口角度为 60°, 焊接位置为 PA, 焊接电流极性为直流反接, 焊道分布示意图如图 2 所示。焊接工艺参数如表 1 所示。

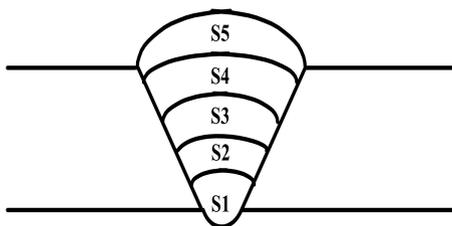


图 2 焊接坡口及焊道布置图

Fig. 2 Welding groove and bead

表 1 焊接工艺参数

Tab. 1 Welding parameters

接头形式	活性剂	焊接层数	焊接速度 /mm·min ⁻¹	焊接电压 /V	焊接电流 /A
对接	1(打底) 打底、 填充涂、 3(填充2) 盖面未涂 4(填充3) 5(盖面)	1(打底)	3	22.6	178
		2(填充1)	5	26	244
		3(填充2)	5	25.6	240
		4(填充3)	2.9	25.8	244
		5(盖面)	3	26	246

2 结果与讨论

2.1 焊缝组织

焊接接头中心组织如图 3 所示。可以看到无论有没有添加活性剂, 焊缝中心组织都为: 铁素体和其间弥散地分布着尺寸细小珠光体以及少量的粒状贝氏体。在焊缝中心, 打底焊道焊缝中心的铁素体尺寸较小, 盖面层的铁素体最大, 且大多为沿晶界析出的先共析铁素体, 并出现羽毛状及三角形的魏氏组织。

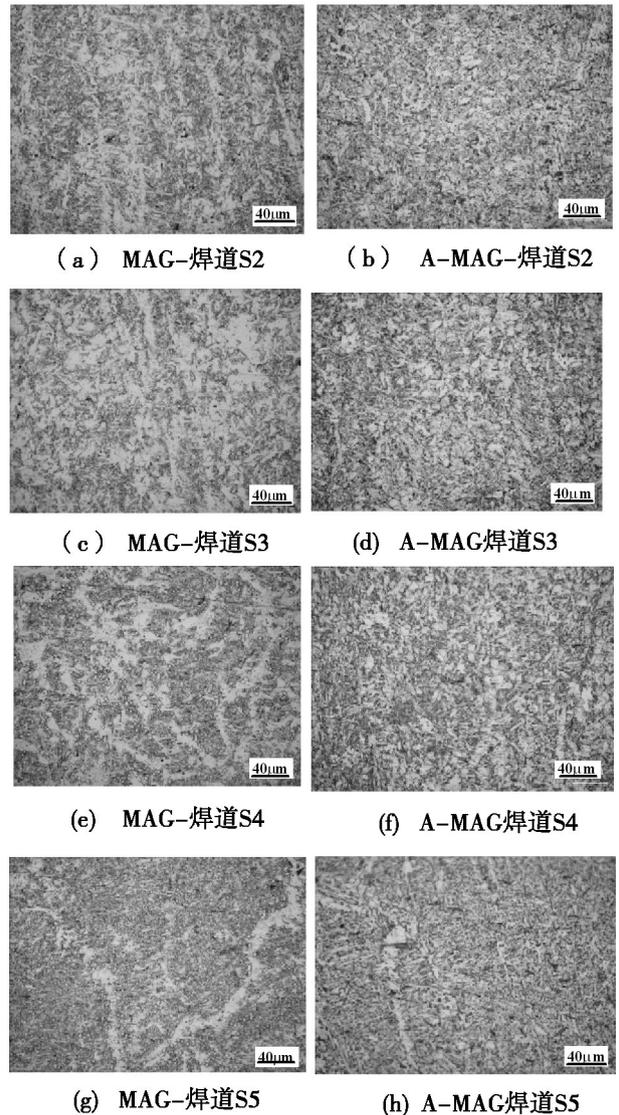


图 3 焊接接头组织对比

Fig. 3 Microstructure of A-MAG and MAG weld center

添加活性剂之后,焊缝中心的组织变化如下:活性剂的添加对于第一层(打底层)组织的影响不大,均为细小的铁素体、弥散分布的珠光体及少量贝氏体。对于填充层来说,活性剂添加之后,铁素体更加细小均匀,不再是之前的大块状及柱状,珠光体也更加弥散均匀;对于盖面层来讲,活性剂添加之后的铁素体尺寸明显细化,不再有粗大的沿晶界分布的柱状先共析铁素体并且基本上没有魏氏体组织。

A-MAG 方法焊缝区域铁素体细化是因为活性剂可以使电弧收缩,提高电弧的能量密度,增加电弧力,提高了过渡熔滴的动量,增加电弧对熔池的搅拌作用及熔滴对熔池的冲击震荡作用,此外,活性剂还可以改变熔池的流动状态,增加熔池的流动性,使熔池结晶组织更加细小均匀化。

2.2 热影响区组织

焊接接头熔合线外侧过热区组织如图 4 所示,活性剂添加之后过热区铁素体明显细化,且分布更加均匀;析出碳化物相也更加细小弥散。

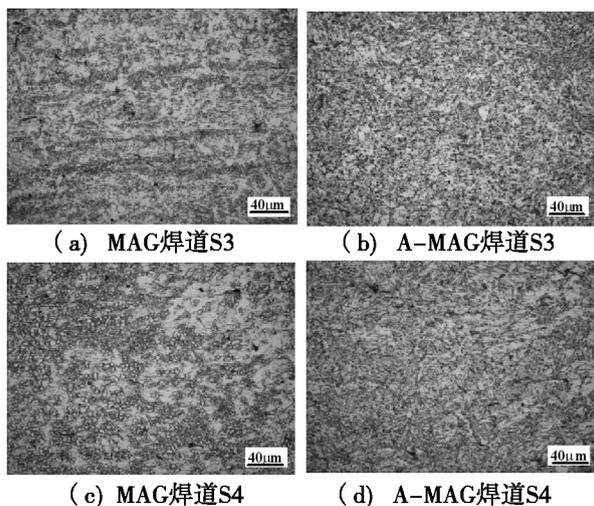


图 4 焊接接头过热区组织对比

Fig. 4 HAZ Microstructure of A-MAG and MAG

A-MAG 焊接方法通过活性剂的添加使得电弧收缩,增加电弧能量密度,减小电弧的加热区域面积,进而减小对附近区域组织的影响,因此过热区铁素体细化。

2.3 接头冲击韧性

对耐候钢 MAG 焊和 A-MAG 焊的焊接接头、热影响区进行冲击试验。冲击试样按照标准《金属材料焊缝的破坏试验—冲击试验—取样位置、缺口定位和检验》EN 875 进行,试验温度为 -40°C ,试验结果见表 2 所示。有、无活性剂试样的冲击功都高于母材标准要求的 27 J(-40°C),这表明即使是在 -40°C 条件下,接头仍具有良好的韧性储备。对于 12 mm 板材来说,焊缝冲击韧性高于热影响区;对于 16 mm 板

材来说,热影响区冲击韧性高于焊缝。添加活性剂试样的冲击韧性有一定程度提升,是因为活性剂的添加细化焊缝及 HAZ 过热区组织。

表 2 对接冲击试验结果

Tab. 2 Results of impact test

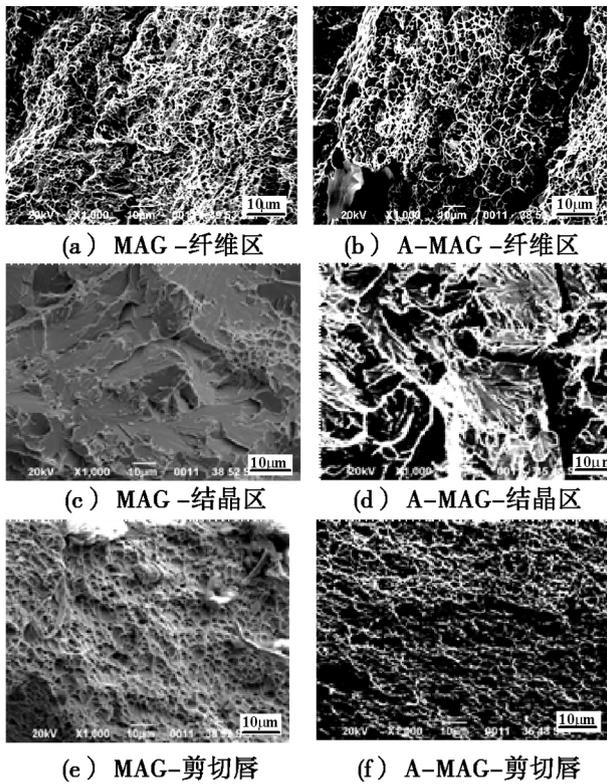
焊接方法	板厚/mm	缺口位置	A_{k1} 均值/J
MAG 焊	12	HAZ	31.82
	12	WM	55.7
A-MAG 焊	12	HAZ	33.86
	12	WM	57.1
MAG 焊	16	HAZ	136
	16	WM	75.33
A-MAG 焊	16	HAZ	184.67
	16	WM	76.3

通过前述组织观察可知,活性剂添加之后焊缝的铁素体更加细小均匀,珠光体分布更加弥散,盖面层焊缝的魏氏体组织数量也减少。此外,活性剂的使用也使热影响区过热区的铁素体和珠光体更加细小均匀。因为晶界是裂纹扩展的阻力,晶粒越细小,晶界就越多,裂纹扩展的阻力也越大;除此之外,晶界越多,晶界前塞积的位错数量就越少,晶界应力集中就越小,也能减小裂纹扩展的倾向。所以,添加活性剂之后冲击韧性有一定程度的提升。

2.4 焊缝及热影响区冲击断口

焊缝冲击断口形貌扫描电镜观察如图 5 所示。MAG 焊的焊缝冲击断口剪切区和纤维区均布满尺寸不均且深度较浅的剪切韧窝和等轴韧窝,结晶区断裂模式为解理断裂,断口为带有河流花样的解理刻面。A-MAG 焊的焊缝冲击断口纤维区韧窝尺寸稍大于 MAG 焊的韧窝断口尺寸,且深度更深,结晶区断裂模式呈现准解理断裂特征。冲击实验时,裂纹扩展功主要消耗在经过塑性变形而形成的纤维区,因此添加活性剂之后冲击韧性有一定程度提升。

焊接接头热影区冲击断口形貌扫描电镜观察如图 6 所示。可以看到 HAZ 冲击断口纤维区和剪切唇形貌差别不大。MAG 焊的接头热影区冲击断口结晶区呈现明显河流花样,解理裂纹通过了较大角度晶界,形成近似解理扇形花样。在结晶区,活性剂的存在可以改善结晶区的塑性,A-MAG 焊的结晶区断裂模式为准解理断裂,断口上具有被拉长的、深度较浅的韧窝及大量解理小刻面。但是这种脆断过程消耗的能量是比较小的,因此只能认为活性剂的添加对 HAZ 区的冲击性能没有不利影响。



(a) MAG-纤维区

(b) A-MAG-纤维区

(c) MAG-结晶区

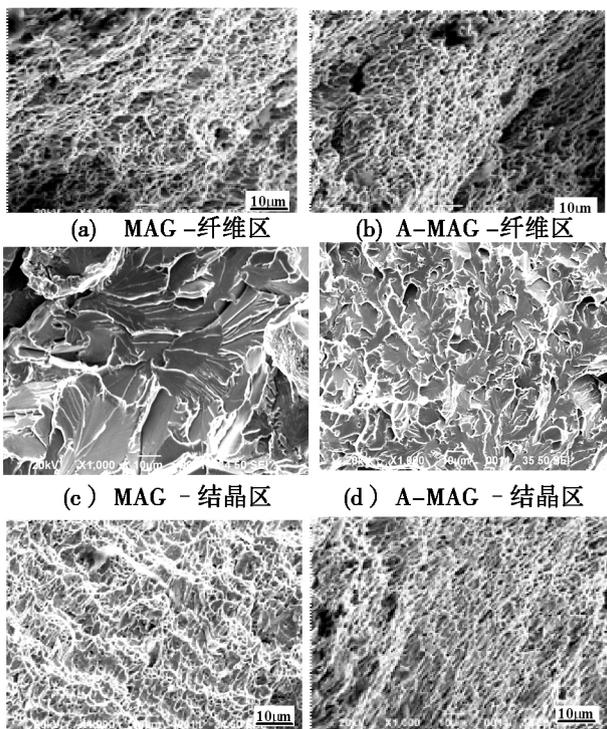
(d) A-MAG-结晶区

(e) MAG-剪切唇

(f) A-MAG-剪切唇

图5 焊缝中心冲击断口形貌

Fig. 5 Impact fracture morphology of weld seam



(a) MAG-纤维区

(b) A-MAG-纤维区

(c) MAG-结晶区

(d) A-MAG-结晶区

(e) MAG-剪切唇

(f) A-MAG-剪切唇

图6 热影响区冲击断口形貌

Fig. 6 Impact fracture morphology of HAZ

3 结论

(1) A-MAG/MIG 焊接方法是一种可以提高焊接效率,提高焊接质量,降低焊接成本的高效优质焊接方法。

(2) 活性熔极气体保护焊相对熔极气体保护焊接头组织更为细化,过热区析出碳化物相细小弥散,冲击韧性提高,冲击断口韧性特征更明显。

参考文献

[1] 刘凤尧, 杨春利, 林三宝, 等. 活性化 TIG 焊熔深增加机理的研究[J]. 金属学报, 2003, 39(6): 661-665

[2] 黄勇, 樊丁, 樊清华. 活性剂增加铝合金交流 ATIG 焊熔深机理研究[J]. 机械工程学报, 2006, 42(5): 45-49

[3] 杨春利, 牛尾诚夫, 田中学. 表面活性剂对 TIG 焊电弧现象及焊接熔深的影响[J]. 机械工程学报, 2000, 42(5): 43-46

[4] 张瑞华, 樊丁, 余淑荣. 低碳钢 A-TIG 活性剂的研制[J]. 焊接学报, 2003, 24(2): 16-18

[5] 吴军, 邹增大, 王新洪, 等. SiO₂ 活性剂对不锈钢钨极氩弧焊电弧现象的影响[J]. 焊接学报, 2007, 28(4): 85-88

[6] Fan Chenlei, Yang Chunli, Liang Yingchun, et al. Optimality analysis multiplex A-TIG welding for nickel-base superalloy[J]. China Welding, 2007, 16(2): 46-50

[7] 张瑞华, 王海涛, 王荣, 等. 低碳钢管子全位置 ATIG 焊接法[J]. 焊接学报, 2010, 31(6): 13-16

[8] 路浩, 邢敬伟, 邢立伟, 等. 活性 MAG 焊接电弧特征及熔池流动分析[J]. 焊接学报, 2014, 35(10): 41-46

[9] 路浩, 邢立伟, 梁志敏. 铝合金活性 MAG 焊接电弧行为及微观组织分析[J]. 焊接学报, 2014, 35(11): 1-4

[10] 路浩, 邢立伟, 陈大军. 高速列车用耐候钢活性 MAG 焊接技术[J]. 焊接学报, 2013, 31(11): 105-108

(编辑 任涛)