

厚板铝合金 MIG + TIG 双枪焊接工艺

西安西电开关电气有限公司(710077) 李博强 贾昕宇 雷 强 谭茜茜

摘要 针对厚板铝合金焊接采用 MIG + TIG 双枪焊接技术,设计 V 型、X 型两种坡口形式,使用直径 $\phi 2.0$ mm 的焊丝进行了工艺研究。通过对试板力学性能、无损检测等方面检测,研究发现,在此工艺条件下,X 型坡口设计能够更好的满足检测试验,V 型坡口则存在一定的风险。X 型坡口铝合金焊缝平均抗拉强度为 295 MPa,为母材强度的 86.7%。

关键词: 铝合金焊接 MIG + TIG 双枪焊接 无损检测 工艺试验
中图分类号: TG444.72

0 前 言

近年来,随着电力行业超高压、特高压输电设备的应用与生产,对开关设备壳体的要求日渐苛刻。特高压开关设备壳体为 5083 - 0 铝合金,比强度和比刚度高,易于成型,具有良好的抗蚀性和焊接性^[1-2]。但是由于铝合金强的氧化能力、热膨胀系数在焊接过程容易形成气孔、夹渣、未熔合及未焊透缺陷^[3-4]。目前高压壳体的壁厚已经达到 20 mm,为了能够满足承压壳体的焊接要求,文中使用 $\phi 2.0$ mm 的焊丝对 18 mm 厚 5083 - 0 铝合金进行 MIG + TIG 双枪焊试验,并且从力学性能、无损检测等方面深入分析了不同坡口形式对焊接质量的影响。

1 试验材料设备及方法

1.1 试验材料设备

焊接用材料为 5083 - 0 铝合金,化学成分见表 1。试验在 Fronius 500 焊机和 Miller 700 焊机上进行。试板尺寸 400 mm $\times$ 200 mm $\times$ 18mm,坡口型式分别为 V 型和 X 型坡口,焊接填充材料采用进口的 SA15356 焊丝,焊丝直径 $\phi 2.0$ mm,试验所用保护气体为氩气,纯度大于 99.999%。对焊接接头进行无损检测,力学性能检测,经过对比研究,最终确定最佳坡口形式以及焊接规范。

试验所用的检测设备为丹东奥龙 X 射线探伤设备,HS600 数字式超声波探伤设备,WI - 60 型万能材料试验机。

1.2 试验方法

工艺方法采用 MIG 填充 + TIG 重熔整形技术,即先 MIG 打底焊及填充焊再进行 TIG 重熔整形焊接。V 型坡口焊接时,坡口角度为 80°,不留钝边,装配不留间隙。首先 MIG 打底焊,接着填充 2 道,填充完成后,正面 TIG 重熔整形,背面 TIG 重熔整形。X 型坡口焊接时,坡口角度为 70°,不留钝边,装配不留间隙。首先 MIG 打底焊,接着填充,正面 TIG 重熔整形。背面填充 2 道,背面 TIG 重熔整形。试验用焊接参数见表 2。

表 1 5083 - 0 铝合金化学成分(质量分数,%)

Cu	Fe	Si	Mg	Zn	Al
0.10	0.40	0.40	4.90	0.25	余量

表 2 焊接参数

坡口形式	焊接方法	电弧电压 U/V	焊接电流 I/A	焊接速度 $v/(\text{mm}\cdot\text{min}^{-1})$
1 号 V 型	MIG	26	330	420
	MIG	30	360	360
	MIG	30	360	360
	TIG	—	400	480
	TIG	—	400	480
	MIG	26	330	420
2 号 X 型	MIG	30	360	360
	TIG	—	400	480
	MIG	30	370	420
	MIG	30	370	420
	TIG	—	400	480

2 试验结果及分析

2.1 焊接电流、电压对试板成型影响

试验采用 MIG + TIG 双枪焊焊接工艺,焊接填充送丝采用自动 MIG 焊,填充完成后采用自动 TIG 重熔整形,TIG 整形不仅能够美观外观,而且有利于消除表面的气孔、咬边、焊缝超高等缺陷。MIG 焊填充完成后,由于铝合金散热速度快,气泡不易溢出焊缝,焊缝表面容易形成气孔,无损检测时容易发现气孔缺陷^[5-7]。经过 TIG 整形焊接完成后试板如图 1 所示。焊缝表面观察发现表面鱼鳞纹规则,成型良好,消除了焊缝表面气孔。

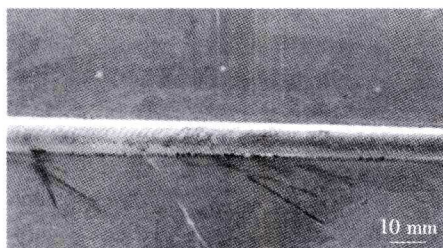


图 1 典型试板焊缝外观

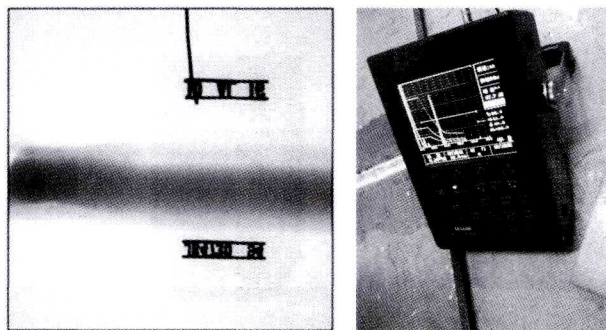
试验中发现,在进行 MIG 填充时,当其它参数不变,焊接电流增加到 350 A 以上时,焊接熔池时常有翻腾和剧烈搅拌现象发生,焊缝表面起皱,焊缝表面有一层灰粉,焊缝内部缺陷较少。但是经过 TIG 表面整形之后,表面缺陷得以弥补。这是因为 MIG 焊接电流超过一定的临界值时,阴极斑点不能扩张,被限制在凹坑内,失去了阴极清理作用。同时,较大且很集中的电弧力(等离子流力和斑点压力)直接作用在熔池底部,使液态铝冲向后方。由于剧烈的扰动,破坏了气体保护,氧的混入将使阴极斑点稳定在凹坑内,其后连续发生这一现象,使氧化物与金属混杂在一起,形成起皱缺陷^[8-10]。

电弧电压和弧长是一个简单的线性函数关系,即在一定的电流和电极材料条件下,电弧电压变化时,弧长也随着改变,基本成正比关系。弧长长时,电弧飘散无力,熔池很大,不易成形,而电弧电压低时,弧长较短,不但利于熔滴过渡,同时电弧比较集中,熔池也小,有利于熔池的保持。试验中发现,电压略低,将发生短路现象,飞溅较大;而电压过高时将破坏焊缝成形。电弧电压影响熔宽的主要因素,电弧过程的稳定性,取决于焊接电流及电弧电压这两个参数的匹配^[11]。在试验中,为了保证焊接成形,焊接电流超过 350 A 后,电压

保持在 30 V。

2.2 试板探伤分析

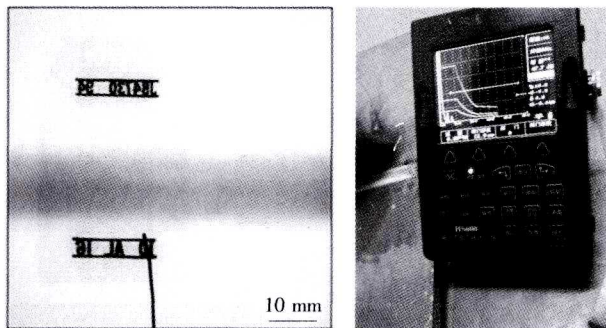
试验分别对 1 号、2 号试板进行了 X 射线探伤,通过观测 1 号试板射线探伤照片,发现整条焊缝中有点状气孔,而且局部区域存在咬边现象,如图 2a 所示。但是整条焊缝质量符合 JB/T 4730.2《承压设备无损检测——射线检测》中规定的 II 级标准。对 1 号试板进行了超声波探伤,除一点处在 III 级区,如图 2b 所示。其余焊缝符合 JB/T 4730.3《承压设备无损检测——超声检测》中规定的 II 级标准。通过观查 2 号试板射线探伤照片,发现整条焊缝良好,如图 3 所示。整条焊缝质量符合 JB/T 4730.2《承压设备无损检测——射线检测》中规定的 II 级标准。对 X 型坡口试板进行了超声波探伤,符合 JB/T 4730.3《承压设备无损检测——超声检测》中规定的 II 级标准。



(a) X 射线探伤

(b) 超声波探伤

图 2 1 号试样探伤结果



(a) X 射线探伤

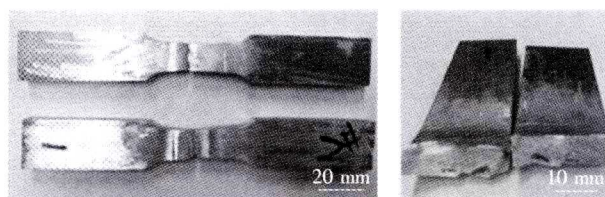
(b) 超声波探伤

图 3 2 号试样探伤结果

2.3 试板力学性能分析

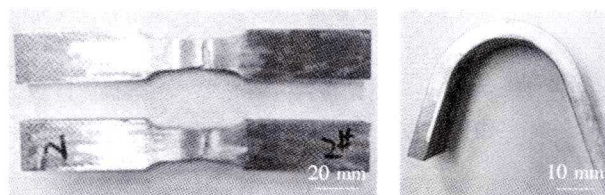
基于以上无损检测方法,对 1 号试板、2 号试板按照 JB/T 4734《铝制焊接容器》中规定的试样制取方法进行了拉伸、弯曲试样制作。并按照 NB/T 47014《承

压设备焊接工艺评定》试验标准进行了面弯、拉伸试验。1号试板拉伸试验照片如图4a所示,典型试样背弯照片如图4b所示。拉伸试样断裂均发生在焊缝处,焊缝颈缩不明显,这说明由于V型坡口在多层焊接后,焊缝组织受热严重,塑性变差。面弯时沿焊缝断裂,从断口可以看出在焊缝底层存在大量夹杂。X型坡口试板拉伸试验照片如图5a所示,弯曲试验照片如图5b所示。拉伸试样断裂均发生在焊缝处,焊缝颈缩明显。这说明X型坡口在焊接后,焊缝组织塑性良好。试样强度及弯曲结果见表3。1号试样的平均抗拉强度为289 MPa,面弯试样符合NB/T 47014《承压设备焊接工艺评定》标准规定,但是背弯试样全部断裂,这说明对于厚板铝合金焊接,采用目前的焊接方法,坡口设计为V型时,由于连续的多道焊,层间容易产生夹杂,会存在断裂的风险。2号试样的平均抗拉强度为295 MPa,面弯、背弯试样符合NB/T 47014《承压设备焊接工艺评定》标准规定。这说明对于厚板铝合金焊接,坡口



(a) 拉伸试板 (b) 面弯试板

图4 1号试样力学测试结果



(a) 拉伸试板 (b) 面弯试板

图5 2号试样力学测试结果

设计为X型采用MIG+TIG双枪焊接工艺方法是可行的。

表3 拉伸强度及弯曲结果

坡口型式	抗拉强度 R_m /MPa	面弯观察	背弯观察
1号V型	288	焊缝有裂纹2.5 mm	焊缝区断开
	290	未发现裂纹和缺陷	焊缝区断开
2号X型	297	未发现裂纹和缺陷	未发现裂纹和缺陷
	293	未发现裂纹和缺陷	有裂纹2.5 mm

3 结 论

(1) MIG+TIG双枪焊接工艺适用于 $\phi 2.0$ mm焊丝的厚板铝合金焊接。

(2) 采用MIG+TIG双枪焊接工艺,坡口为X型时焊接接头稳定性高,V型坡口焊接接头存在风险。

(3) X型坡口铝合金试板无损检测良好,抗拉强度平均为295 MPa,为母材强度的86.7%。

参 考 文 献

- [1] 颜晨光. 不等径双枪MIG同步焊工艺研究与应用[J]. 焊接, 2014(9): 56-59.
- [2] 张健, 程石来, 张永杰, 等. 铝合金车体双脉冲仰焊焊缝气孔的讨论与控制[J]. 焊接, 2013(7): 59-62.
- [3] 周振丰. 金属熔焊原理及工艺[M]. 北京: 机械工业出版社, 1981.
- [4] 刘军华. 铝合金粗丝MIG焊焊接工艺[J]. 焊接技术, 2012(41): 26-27.

- [5] 许芙蓉, 杨立军, 李恒, 等. 双丝MIG焊焊缝成形试验研究[J]. 焊接, 2008(4): 11-14.
- [6] 李敬勇. 铝合金MIG焊焊缝中气孔的控制[J]. 华东船舶工业学院学报, 2004: 78-80.
- [7] 吕世雄. ZL101A和6082异种铝合金TIG焊工艺在摩托车上的应用[J]. 焊接, 2011: 34-36.
- [8] 司子华, 张明新. 2219铝合金厚板MIG焊的工艺研究[J]. 航天制造技术, 2009(12): 33-34.
- [9] 庄凯. 耦合状态下激光对MIG焊熔滴过渡及焊缝成形的影响[J]. 焊接, 2009: 42-44.
- [10] 方喜凤. 高速列车6N01铝合金型材激光-MIG复合焊研究[J]. 焊接, 2015: 54-58.
- [11] 宋东明. 粗丝自动MIG焊双面单层焊道成形研究[J]. 航天制造技术, 2002(1): 30-31.

作者简介: 李博强, 1987年出生, 硕士, 工程师。主要从事焊接方面技术研究, 已发表论文3篇。