

5083 铝合金 TIG 焊接工艺研究

朱达新,唐菊萍

(江苏省江阴中等专业学校机电系,江苏 江阴 214400)

摘要: 为掌握 5083 铝合金的焊接特性,以获得符合中国船级社(CCS 标准)要求的焊接接头。针对 5083 铝合金焊接时易产生氧化膜、气孔、焊后变形等问题,在分析焊接性能的基础上开展 TIG 焊接工艺试验,同时对焊接方法、焊材的选择、保护气体、焊前准备、工艺要求等进行了研究,获得了最佳的焊接工艺参数。研究表明,通过采用 ER5183 焊丝、多功能氩弧焊机、开 V 型坡口、焊前预热以及采用小线能量操作,试验所获得的焊缝在无损探伤及力学性能等方面均能满足 CCS 标准的要求,通过以上研究掌握了该材料的焊接工艺及操作规范。

关键词: 预热;氧化膜;无损探伤;氢气孔;延伸率

中图分类号: TG444.74

文献标志码: A

文章编号: 1673-9981(2022)03-0449-06

引文格式: 朱达新,唐菊萍. 5083 铝合金 TIG 焊接工艺研究[J]. 材料研究与应用,2022,16(3):449-454.

ZHU Daxin, TANG Juping. Study on TIG Welding Process of 5083 Aluminum Alloy[J]. Materials Research and Application, 2022,16(3):449-454.

铝及铝合金具有优异的物理特性和力学性能,其具有强度高、密度低、热导率高、电导率高及耐腐蚀能力强等特点,目前已广泛应用于工业等领域的焊接结构产品方面。铝合金应用于船舶制造行业,与钢制船舶结构相比,其有明显的优越性:密度低,可有效地减轻船舶重量,减小发动机单机容量和油耗,可用作上层建筑的结构材料,还可以降低船体重心增加稳定性;弹性模量小,能充分吸收冲击应力,增加安全性;无磁性,减小对罗盘的干扰,还可以避免军用舰艇受到磁性水雷的攻击;耐蚀能力强,能抵抗海水和海洋大气对船体的腐蚀,延长使用年限并减少油漆和防腐等维护费用。

对船用钢材焊接检验,须符合“钢制海洋渔船建

造规范”和中国船级社“材料与焊接规范”的相关要求。以某轮船主船体为钢制材料及甲板室为铝制焊接结构项目为例,该轮要求采用的是 T8mm 型号为 5083 的铝板,对其焊接工艺进行研究。

1 焊接性能分析

1.1 材料理化性能

铝是银白色的轻金属,其特点是比重小($2.7 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$,约为钢的三分之一)、熔点低(658°C)、比热容大、热导率高(约为钢的 4 倍),因此焊接铝合金时比钢要消耗更多的热量。5083 型铝合金化学成分和力学性能列于表 1 和表 2^[1-2]。

表 1 5083 铝合金化学成分

Tab1 e1 Chemical composition of 5083 aluminum alloy

元素	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
含量 $w/\%$	≤ 0.40	≤ 0.40	≤ 0.10	$0.40-1.0$	$4.0-4.9$	$0.05-0.25$	≤ 0.25	≤ 0.15	余量

收稿日期:2020-12-09

作者简介:朱达新(1971-)男,江苏江阴人,高级讲师,硕士,主要从事机械设计与制造及相关专业的教学与科研工作,E-mail:20081971cn@163.com。

表2 5083铝合金力学性能

Table 2 Mechanical properties of 5083 aluminum alloy

屈服强度 $R_p(0.2)$ $/(N \cdot mm^{-2})$	抗拉强度 R_m $/(N \cdot mm^{-2})$	最低断面收缩率 $A/\%$
≥ 125	≥ 275	12

1.2 氧化膜问题

由于铝及其合金的化学活性强,铝和氧的亲合力很大,在空气中就能与氧气发生化学反应而生成一层致密而难熔的氧化膜 Al_2O_3 ,其厚度 $0.1\sim 0.2\ \mu m$ 、熔点高达 $2050\ ^\circ C$ 。焊接时由于氧化膜覆盖在液态铝的上面,其既阻碍填充金属与母材之间的结合,又妨碍熔融填充金属浸润。此外,氧化膜的比重 ($3.95\sim 4.18\ g \cdot cm^{-3}$) 约为铝的 1.4 倍,易形成夹渣。为了保证焊接质量,焊前必须清除焊件表面的氧化膜,并对熔化金属和处于高温下的金属进行有效的保护,防止在焊接过程中再氧化^[3]。

1.3 气孔问题

铝及铝合金焊接所产生的气孔主要是氢气孔,高温时铝可溶解大量的氢,在凝固过程中氢的溶解度从 $6.9\ mL \cdot kg^{-1}$ 降到 $0.36\ mL \cdot kg^{-1}$,二者相差约 20 倍,原先溶于液态铝中的氢几乎全部析出而形成气泡。但由于铝及其合金的比重小,气泡在熔池中浮升的速度慢,加上铝的导热性强、冷凝快,不利于气泡浮出,因此焊接铝或铝合金时焊缝产生气孔的倾向很大。

1.4 焊接变形和裂纹

铝的线膨胀系数比钢约大一倍,而凝固时结晶收缩率又比钢大两倍,因此焊接铝及铝合金时会产生较大的内应力和焊接变形。其次,铝合金高温塑性低(在 $640\ ^\circ C$ 工业纯铝的延伸率 δ 仅为 0.6%),因此在较大的内应力下易产生热裂纹^[4]。当纯铝及大部分非热处理强化铝合金在融化时,一般是容易产生焊接裂纹的,但是当焊件的刚度较大时或合金杂质控制与工艺条件不当时,往往也会出现裂纹。

1.5 合金元素的蒸发和烧损

5083 铝合金中含有镁、锌、锰等沸点很低的元素,在电弧高温作用下他们极易蒸发和烧损,从而减少了焊缝金属合金元素的含量,降低了焊接接头的机械性能^[5]。

1.6 其他问题

铝及铝合金自固态变成液态时无明显的颜色变化,焊接时易造成烧穿和焊缝金属塌陷,打磨清根时用肉眼也很难判断缺陷是否清除干净。因此,焊接区域保护不好易造成焊接区域的腐蚀。

2 焊接工艺试验

2.1 焊接方法选择

铝及铝合金常用的焊接方法有钨极非熔化极气保焊(简称 TIG 焊)和熔化极氩弧焊(简称 MIG 焊),这两种方法均采用惰性气体进行保护,均具有阴极清理作用。TIG 焊接质量好且容易操作,适用于全位置焊接,但效率低。MIG 焊属于半自动焊,生产效率较高,但 MIG 焊缝气孔倾向要比 TIG 大些。在 MIG 焊接时,由于弧柱的温度高,焊丝以细小熔滴的形式落入熔池,因其比表面积较大而易吸氢;在 TIG 焊接时,主要是熔池表面与气体氢反应,因其比表面积较小且温度低,自然吸收氢就少些^[6]。由于 MIG 的熔池深度一般大于 TIG 的深度,这也不利于气泡的浮出。因此,根据产品结构和试验条件,选择 TIG 焊焊接工艺方法,焊接电源选用某公司 YC-500WX4 型多功能氩弧焊机。

2.2 焊接材料的选择

焊丝选择的合理与否决定着焊接接头的力学性能、耐腐蚀性能及抗裂纹性等,因此选择焊丝不仅要考虑焊缝的成分要求,还要考虑接头的力学性能、耐腐蚀性能、结构的刚性、颜色及抗裂纹性等问题,通常焊接 5083 铝合金选用 ER5356 和 ER5183 两种焊丝。采用 ER5356 焊丝焊接,获得的焊缝具有良好的塑性,并且经阳极化处理后,其颜色与基体一致。选择 ER5183 焊丝焊接,获得的焊缝具有良好的强度和抗腐蚀性能,这一点对于长期受海水腐蚀的船体结构来说尤为重要^[7]。

铝合金焊接时,采用直径粗的焊丝比直径细的好,因为粗焊丝熔滴比表面积降低,产生气孔的倾向小,并且粗直径焊丝强度高、挺度好,在高温熔池下这一优点更明显。经过多次对比试验,最终选定直径 $4.0\ mm$ 的 ER5183 焊丝作为焊接 5083 铝合金的匹配焊丝,焊缝的强度达船级规范要求。直径 $4.0\ mm$ 的 5183 铝焊丝化学成分列于表 3。

表 3 直径 4.0 mm 的 5183 铝焊丝化学成分
Table 3 Chemical composition of 5183 aluminum wire with a diameter of 4.0 mm

成分	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
含量 $w/\%$	0.40	0.40	0.10	0.58	4.55	0.11	0.10	0.15	余量

2.3 保护气体

铝合金焊接的保护气体必须采用高纯度氩气且纯度大于 99.95%，按照 GB/T10624 要求对其纯度进行定期测，同时还要保证气体传输管道的清洁^[8]。本试验的保护气体为瓶装氩气，其纯度达到 99.99%。

2.4 焊前准备

铝合金板的尺寸为 8 mm×250 mm×300 mm，其坡口形式见表 4。铝合金材料可采用机械或等离子方法进行切割，而坡口一般可采用刨或磨等机加工方法。通常清洁部位应在 4 h 内施焊，否则应对该部分采取有效的保护或重新进行清洁。铝合金焊接场地应有防潮、防尘、防寒和防风设施，施焊时的风速应小于 0.5 m·s⁻¹，空气湿度控制在 70% 以下。

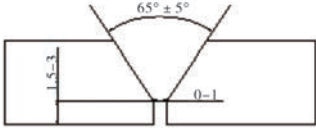
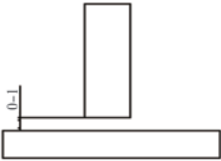
2.5 工艺要求

2.5.1 焊前处理

焊前需对 5083 铝合金母材表面的污物、尘土、金属微粒、油污、水汽及氧化皮等进行清除，先用肥皂水清洗以清除表面的油渍，再用清水冲洗，晾干。焊前可用细钢丝刷对近缝区全面刷一遍，并用刮刀刮削坡口端面 and 焊缝两侧 20 mm 范围的母材，将坡口下端(根部)刮去一个倒角，成为倒 V 形小坡口(铲根，防止根部氧化膜引起的气孔)，最后在坡口两侧 20 mm 范围内，用电动刮刀、不锈钢丝刷去除表面氧化膜。禁止用砂轮，因为砂轮的微粒嵌入铝中很难清除，会形成焊缝中的不良夹杂物。

由于 5083 铝合金焊丝亦有较厚的氧化膜，焊前先用沙皮打磨，然后用丙酮清洗，清洗后的焊丝必须保持干燥。

表 4 坡口形式
Table 4 Welding grooves forms and types

接头形式	焊缝位置	坡口形式
对接焊缝	平、横、立对接	
角接焊缝	横、立角焊	

2.5.2 预热

5083 铝合金最容易出现焊接缺陷就是氢气孔，尤其在潮湿季节或湿度大的地区进行焊接时，焊缝中的扩散氢含量更应加以认真分析和仔细控制。因此，增加焊前预热工艺措施，预热温度为 90℃、道间温度为 60℃，预热位置距离焊道 50 mm。同时，需对焊接材料进行干燥处理以降低水分。使用的焊接材料如保护气体、焊丝、焊条等要严格限制含水量，使用前需对它们进行干燥处理。焊丝领取时保

持密封，焊前应烘干，在烘干温度为 120℃下保温 2 h 后使用，未用完的焊丝重新放回烘干箱。

2.5.3 装配定位焊

拼装时不留间隙，在试板反面定位，定位焊缝长度 30 mm、间距 100 mm。为防止焊后产生错边，反面再安装 2 块马板(图 1)。正面焊接结束后，用电动铣刀对背面焊缝进行清根后再进行焊接，反面清根时一定要清理干净，同时注意坡口的宽深比不能太小，否则极易产生未熔合。

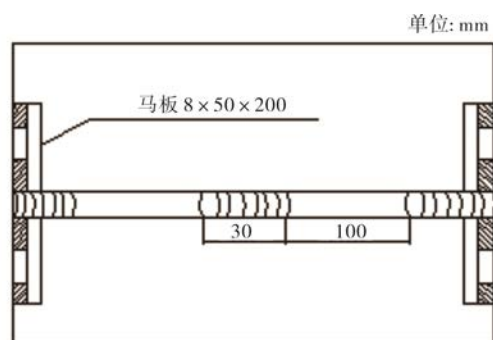


图1 铝合金试板装配图

Figure 1 Aluminium alloy test plate assembly drawing

采用TIG焊时,如发现钨极氧化或形状不良,应及时更换钨极或进行修磨。焊接时若钨极触及熔池或焊丝则应立即停止焊接,对夹钨焊缝进行彻底

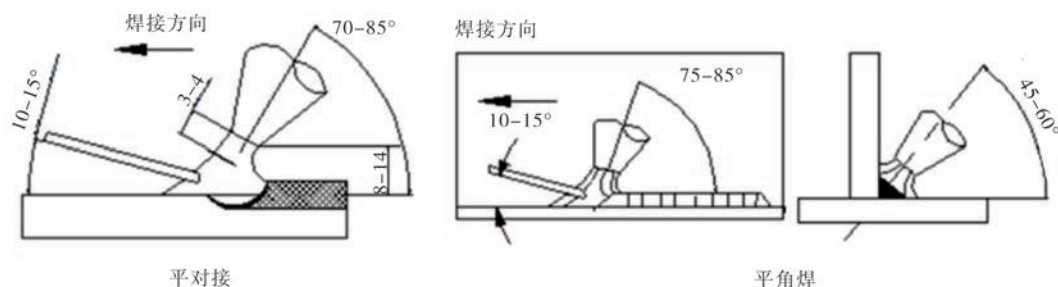


图2 氩弧焊焊枪、焊丝与焊件之间的相对位置

Figure 2 The relative position of TIG welding torch, welding wire and weldment

引弧一般采用高频或脉冲两种方法。引弧时先将焊枪中的钨极端部与焊件之间保持一定距离,然后接通引弧器,在高频电流或高压脉冲电流作用下使氩气电离而引燃电弧。

2.6.3 焊枪运行及送丝方式

焊枪采用等速送丝,尽量地连续送丝,焊接电流要尽可能地加大,送丝时要向熔池持续不断地送给,并且尽可能多送焊丝,这是因熔敷速度快,需得到足够的填充金属来避免气孔产生。同时,为了减小焊接热输入及防止焊接热影响区软化,要求焊接速度要快,不能停留(因为枪头一旦停在某处不动,熔池温度就会急剧上升),焊丝端部要一直在氩气的保护中。

为防止在收弧处产生严重的缩孔及弧坑裂纹等缺陷,一般采用引出板将弧坑引出焊件。对于中断处或不能安装引出板的焊件,可以采用填加焊丝来填满弧坑,或者采用电流衰减方法。

2.6.4 焊接规范选择

在TIG焊接时,焊接工艺参数的选用应尽量采

清除,沾污的焊丝和钨极也应清洁^[9]。

2.6 焊接操作技术要求

2.6.1 焊接方向及焊前检查

焊接铝及铝合金采用钨极手工氩弧焊,焊接的方向通常采用左焊。焊前需检查焊机清洗状况及焊机、氩气皮管和冷却水系统是否正常,然后预放氩气15 s左右,以驱除管路中的空气,并在试板上调整焊接规范。

2.6.2 焊枪与焊件间的相对位置及引弧要求

焊接时焊丝、焊枪与焊件之间相对的位置如图2所示。焊接过程中要求焊枪运行平稳,焊丝均匀,保持电弧稳定燃烧。送丝时不能搅乱气体对熔池的保护,焊丝端部不要离开气体保护。由于接头处很容易产生气孔,所以焊接过程中应避免中途停顿,尽量减少不必要的焊接焊头。

用小线能量,以减少熔池的存在时间,从而减少气氛中的氢的溶入,并且又要能充分保证根部熔合,以利根部氧化膜上的气泡浮出。图3为焊接工艺参数对气孔倾向的影响(TIG)。从图3数据可以看出,采

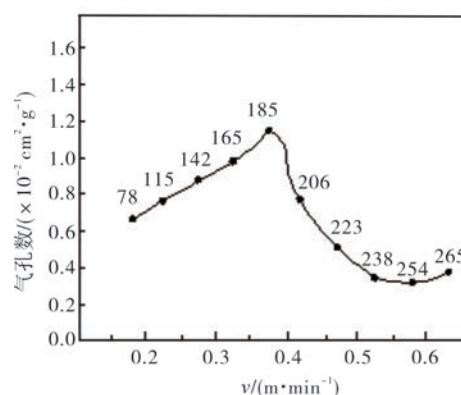


图3 焊接工艺参数对气孔倾向的影响(TIG)

Figure 3 The influence of welding process parameters on stomatal tendency(TIG)

用大的焊接电流同时配合较高的焊接速度是比较有利的。

3 焊缝无损探伤及力学性能

在TIG焊接规范条件下(表5),对铝合金试板进行焊接,待焊缝成形后对其外观检查发现,外观成形良好,无裂纹、咬边、气孔、焊瘤等缺陷。

3.1 无损检测

焊缝质量按CB/T3747船用铝合金焊接接头质量要求进行检验,X射线检测按CB/T3929铝合金船体对接接头X射线照相及质量分级进行检验。对

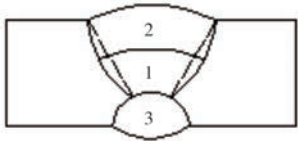
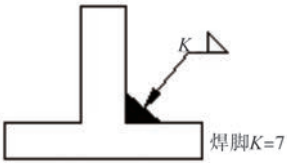
于船体上层建筑的一般铝合金焊缝,焊缝探伤验收只要求Ⅲ级,并且是1%抽查率。检测结果表明,最终焊缝质量PT检测达到Ⅱ级合格指标,RT检测达到Ⅲ合格指标。

3.2 力学性能

按照CCS标准^[10]中的规定进行弯曲性能检查及力学性能试验。拉伸性能检测结果表明,焊接接头强度与原始母材的强度基本相当。横向弯曲试验时横向正反弯12组,试样厚度8 mm、弯轴直径 $D=60$ mm、弯角 180° 。试验结果显示,弯曲到规定的角度后焊缝没有出现开口缺陷。表明,焊缝拉伸性能、力学性能均满足CCS标准要求。

表5 5083铝合金TIG焊接规范(平对接、角接)

Table 5 Specification for TIG welding of 5083 aluminum alloy

类别	焊接道数	焊丝/钨极	电流/A	焊接速度/ (mm·s ⁻¹)	保护气体
	1	ER5183($D=4.0$ mm)/ 钨极($D=3.2$ mm)	230	3.0	Ar气大于99.99%,流量 15 L·min ⁻¹
	2		204	3.0	
	3		173	3.4	
	1	ER5183($D=4.0$ mm)/ 钨极($D=3.2$ mm)	188	—	Ar气大于99.99%,流量 15 L·min ⁻¹

根据CCS规范要求,铝合金对接缝焊接工艺不能覆盖角焊缝,因此需同时进行角焊缝焊接工艺。角焊缝破断试验结果显示,焊缝没有气孔、夹渣及未熔化等缺陷。

4 结论

5083铝合金焊接属于特种材料的焊接,手工钨极氩弧焊(TIG)焊接铝合金属于高难度、高附加值的特种作业。通过大量试板的焊接及相关试验,逐步寻找到能有效消除铝合金焊缝中气孔的焊接工艺的要点和操作技巧。对于5083铝合金的焊接,焊接接头形式、焊材选择、焊接工艺制定、焊接高温区控制、惰性气体保护和焊接顺序等工艺措施,都需要认真对待和正确处理。只要将所有控制程序都做好,

焊缝质量才能满足规范要求。

参考文献:

- [1] 芮树祥,忻鼎乾.焊接工艺学[M].哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2004.
- [2] 周振华,张文钱.焊接冶金与金属焊接性:第2版[M].北京:机械工业出版社,1988.
- [3] 中国船检社.材料与焊接规范[M].北京:人民交通出版社,2012.
- [4] 周万盛,姚君山.铝及铝合金的焊接[M].北京:机械工业出版社,2006.
- [5] 纪晓峰.5083与6N01铝合金焊接工艺实验与分析[J].华东科技(学术版),2015(1):349-349.
- [6] 翟立颀.5083铝合金焊缝开裂的原因分析及预防措施[J].热加工工艺,2014(3):224-226.
- [7] 张志毅,王勇,齐维闯,等.不同焊接工艺条件对A5083铝合金焊接接头疲劳性能的影响[J]电焊机,2015,45

- (12):88-92
- [8] 付宁宁,夏宁,王未,等.焊接环境温度对铝合金焊接接头疲劳性能的影响[J].电焊机,2014,44(2):80-83
- [9] 高玉龙,马传平,宋波.环境温度对铝合金 5083H111 焊接接头组织及性能的影响[J].热加工工艺,2015
- (11):37-40
- [10] 吴业振,古力,杨菩泽,等.热处理温度对船用 5083-H116 铝合金焊件力学性能及抗腐蚀性影响研究[J].热加工工艺,2016(21):56-60

Study on TIG Welding Process of 5083 Aluminum Alloy

ZHU Daxin, TANG Juping

(Department of Electrical and Mechanical Engineering, Jiangyin Technical Secondary School, Jiangyin 214400, China)

Abstract: In order to master the welding characteristics of 5083 aluminum alloy, to obtain welded joints that meet the requirements of the requirements of China Classification Society (CCS standard). To address the issues of oxidation film, porosity and post-weld deformation in 5083 aluminum alloy welding, the TIG welding process test is carried out on the basis of analyzing the welding performance. Meanwhile, the welding method, welding material selection, protective gas, welding preparation and process requirements were studied. The best welding process parameters were obtained. The results show that by using ER5183 welding wire, multi-functional argon arc welding machine, opening V-shaped groove, preheating before welding and using small line energy operation, the weld obtained by the test can meet the requirements of nondestructive testing and mechanical properties. According to the requirements of the CCS standard, the welding process and operating specifications of the material have been mastered through the above research.

Keywords: preheating; oxide film; nondestructive testing; hydrogen pore; elongation

(学术编辑:黎小辉)