

文章编号:1002-025X(2013)04-0031-03

5A05 铝合金-917 低磁钢爆炸焊复合板的 MIG/MAG 焊试验

陈倩清

(浙江国际海运职业技术学院 船舶工程学院, 浙江 舟山 316021)

摘要: 通过对异种金属 5A05 铝-917 低磁钢爆炸焊复合金属板 MIG/MAG 焊焊接工艺试验和力学性能试验, 解决了我国某新型舰船生产中因焊接热循环及焊接热应力对复合面强度影响的关键问题, 研发了适合 5A05 铝-917 低磁钢爆炸焊复合板的焊接工艺, 在该工艺条件下其结合面强度能够满足标准要求, 可用于指导产品生产建造中的焊接施工。

关键词: 5A05 铝镁合金; 917 低磁钢; 爆炸焊复合板; 焊接试验

中图分类号: TG456.6 **文献标志码:** B

某船舶是我国自行研制的新型舰船, 该船舶的上层建筑采用 5A05 铝合金, 而主船体采用 917 低磁钢建造, 铝质上层建筑与钢质主船体的连接采用 5A05 铝-917 钢爆炸焊复合金属板过渡接头形式焊接连接, 代替铆接连接, 从而提高了结构的耐腐蚀性和水密性, 并缩短其建造周期。由于爆炸焊接属于冷焊, 在高压下, 使其接触面上产生一薄层金属的塑性变形, 在此十分短暂的冶金过程中形成冶金结合。铝的线膨胀系数远大于钢的, 铝的熔点仅为 660 °C, 远低于钢的。据资料, 当铝材受热温度高于 300 °C 时, 其复合面的强度基本失效。所以, 焊接热循环及焊接热应力对其爆炸复合面强度的影响问题是其过渡接头必须解决的首要问题。

1 试验用材及性能

1.1 过渡接头形状与关键尺寸的确定

资料表明, 铝-钢爆炸复合材料的抗剪强度和拉脱强度在 70~120 MPa, 国外制订的最低验收标准为 60 MPa, 我国《HG-JT 铝-钢过渡连接接头供货及检验技术条件》中也定为 ≥ 60 MPa。某研究所为本舰船制订的复合板过渡接头检验技术规定为: 卧式接头拉脱强度 ≥ 60 MPa, 立式接头抗剪强度 ≥ 60 MPa。

由于该船舶上层建筑采用厚 6 mm 的 5A05 铝镁

合金, 其抗拉强度 ≥ 275 MPa, 故单位长度承受的最小拉力为 1 650 N。为了使过渡复合板所能承受的拉力不小于铝镁合金所受拉力, 据如上数据, 立式过渡接头复合面长度应 $\geq 1\ 650 \div 60 = 27.5$ mm, 取整数为 30 mm; 因卧式过渡接头采用填角焊, 主要连接型材和支柱下, 故其复合面长度取整数 25 mm。在立式过渡接头中, 延长边取 12 mm, 并有 5 mm 的削斜。

5A05 铝合金-917 低磁钢复合板过渡接头有立式和卧式 2 种, 按上述计算尺寸经机械加工后分别如图 1 所示。图中 1060 号钝铝过渡层厚为 1~2 mm, 5A05 铝合金板厚 6 mm, 917 低磁钢板厚 8 mm。

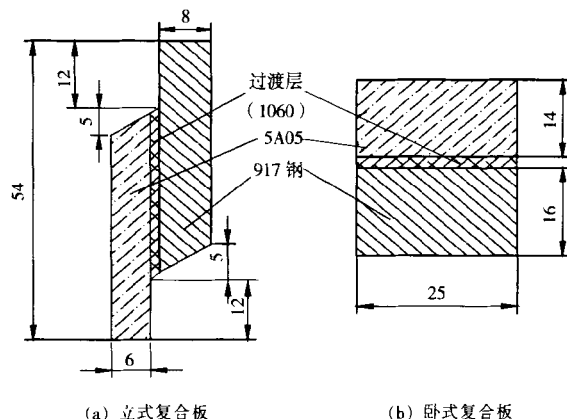


图 1 立式复合板及卧式复合板过渡接头

1.2 焊材

填充材料采用美国 AlcoTec 公司生产的 5183 焊丝, $\phi 1.2$ mm; 天泰焊材有限公司生产的 $\phi 1.2$ mm MIG-307Si 焊丝。保护气体为 $\varphi(\text{Ar}) \geq 99.99\%$ 。

1.3 试验用材料的化学成分

试验用基材与焊材的化学成分分别见表1和表2。

表1 试验用基材的化学成分(质量分数)(%)

牌号	标准	C	Si	Mn	P	S	Al
917	GJB 934	0.40~0.50	≤0.60	16.0~18.0	≤0.040	≤0.030	2.4~3.6
5A05	GB/T 3190	—	≤0.50	0.30~0.6	—	—	余量
1060	—	—	≤0.25	≤0.03	—	—	99.60
牌号	标准	Fe	Cu	Mg	Zn	V	Ti
917	GJB 934	余量	—	—	—	—	—
5A05	GB/T 3190	≤0.50	≤0.10	4.8~5.5	≤0.20	—	—
1060	—	≤0.35	≤0.05	≤0.03	≤0.05	≤0.05	≤0.03

表2 试验用焊材的化学成分(质量分数)(%)

牌号	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Fe	Mg	Ti
MIG-307Si, φ1.2 mm (复验值)	0.077	0.84	6.75	19.0	9.0	0.06	余量	—	—
5183, φ1.2 mm (复验值)	—	0.08	0.51	0.09	—	余量	0.11	4.69	0.02

1.4 试验用基材的室温力学性能

依相关标准,试验用基材的室温力学性能见表3。

表3 试验用基材的室温力学性能

牌号	标准	厚度/mm	抗拉强度 R_m /MPa	屈服强度 $R_{p0.2}$ /MPa	伸长率 A(%)
917	GJB 934	—	≥600	≥400	≥25
5A05	GB/T 3190	4.5~10.0	≥275	≥125	≥16
		12.5~25.0	≥265	≥115	≥14
1060	—	—	85~120	≥65	≥5

1.5 焊接设备

试验采用LUD 450W脉冲MIG焊机。

2 焊接工艺试验

先期对铝镁合金5A05和917低磁钢的焊接进行了试验研究,试验结果满足相关标准要求,然后对过渡接头进行焊接试验。主要研究:所采用的立式、卧式过渡接头焊接后能否满足某研究所为本船舶制订的复合板过渡接头检验技术规定,即:卧式接头拉脱强度≥60 MPa,立式接头抗剪强度≥60 MPa。

2.1 过渡接头坡口形式

过渡接头坡口形式分为立式、卧式2种,如图2所示。立式过渡接头采用对接形式,坡口角度70°~80°,正面焊2道,反面进行机械清根后焊1道;卧式过渡接头采用角接形式,双面单道填角焊。焊后取力学试样如图3所示。

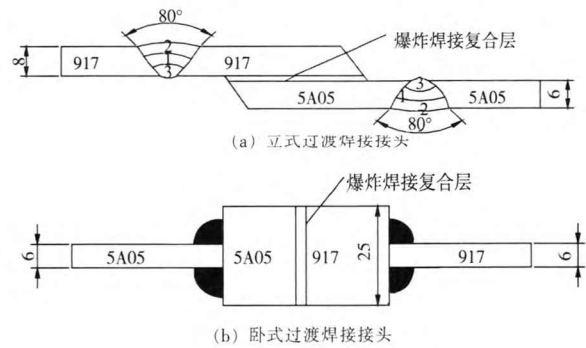


图2 不同形式过渡焊接接头

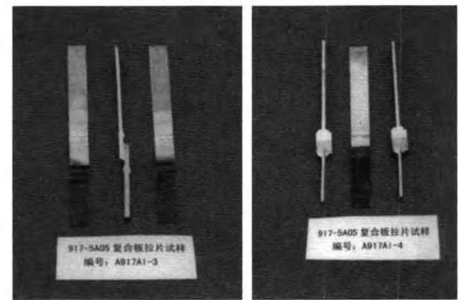


图3 过渡接头焊后力学性能试样

2.2 MIG焊接工艺试验

2.2.1 焊接工艺参数

采用MIG-307Si焊丝及5183焊丝焊接时,保护气体流量均为20 L/min,焊接工艺参数见表4。

表4 采用2种焊丝的焊接工艺参数

母材	板厚/mm	焊丝牌号及规格/mm	焊接电流/A	电弧电压/V	焊接速度/(cm·min ⁻¹)	气体种类
5A05	6	5183, φ1.2	150~160	20~22	40~60	φ(Ar)100%
917	8	MIG-307Si, φ1.2	140~150	22~24	20~40	Ar+CO ₂ (4:1)

2.2.2 焊接工艺要点

从图1可见,立式、卧式接头焊缝仍分别是917钢、5A05铝合金同种金属的连接焊缝,但因热影响区距复合层太近,所以过渡接头的焊接无论对接焊缝、角焊缝均应尽量减小其热影响区对5A05铝合金复合部位的热影响。焊接时采取以下工艺措施:

在整个焊接过程中,要防止骤冷骤热,以减小因铝合金膨胀过大引起的热应力。A505铝合金焊前预热50~80℃,提高焊接初始温度,以免其骤热。

道间温度控制在70℃左右,在保证焊缝致密的前提下,焊接热输入尽量小,试验中检测铝-钢界面上个别处的温度峰值为296℃,一般在200~220℃。

先焊接917钢一侧,待冷却至室温时,再焊A505铝合金一侧。尽量减小焊缝尺寸,对接焊缝余

高 0~1 mm, 角焊缝焊脚约 5 mm, 从力学性能试验结果可见, 5 mm 的焊脚可保证接头的力学性能。

另外, 因复合板由三家供应商供货, 先后对此 3 家的来料进行了 3 批试验, 第 1 批在焊接过程中, 复合面发出较大的剥离声, 焊接未结束铝与钢就出现裂缝而脱开; 第 2 批发出轻微剥离声, 在力学性能取样的机械加工中脱离; 第 3 批未发出剥离声, 且焊后的力学性能合格。经分析, 前两批母材在爆炸焊过程中, 由于炸药当量不精确, 炸药当量过小时撞击速度低于临界值, 其结合面为直线形, 导致结合不牢, 而撞击能量过大时产生连续的几乎直线的熔化层, 使双金属的结合强度大为降低。对第 3 批母材焊后力学性能合格的复合板切片进行观测, 其结合面为明显的波浪形, 并伴有漩涡区, 它们断续地分布在界面上, 是理想的爆炸焊接结合面。

对于上述现象, 笔者认为: 虽然 3 批复合板均检验合格, 但目前所有标准的检验方法都是局部取样, 不能代表整体, 特别是其力学性能试验时是冷态, 当采用焊接方法加工时, 会对复合板的复合面质量产生很大的影响, 所以, 在复合板的焊接过程中, 必须使用焊接时无剥离现象的复合板, 并须有听剥离声的意识。在焊接施工过程中发出轻脆声, 则应高度警惕, 并对爆炸焊的结合面严格检查。

3 力学性能试验

由第 3 批复合板制作的立式、卧式过渡接头焊后分别取 3 个力学性能试样, 为了计算其强度, 立式过渡接头将其复合面长度加工至 15 mm; 卧式过渡接头将其复合面宽度加工到 10 mm。

在拉力试验中, 立式过渡接头均在铝-钢复合面处拉脱, 计算其抗剪强度分别为 69, 72, 64 MPa; 卧式过渡接头均在铝合金填角焊处拉脱, 试验机记录的最大拉力分别为 26.15, 36.20, 38.20 kN, 爆炸焊复合板结合面处的尺寸分别为 30.0 mm×9.7 mm, 30.0 mm×9.6 mm, 29.7 mm×9.9 mm, 此时计算卧式过渡接头的拉脱强度分别为 90, 12, 130 MPa。

此外, 对爆炸焊复合面宏观金相分析, 未见结合

不良、鼓包、大面积熔化、表面烧伤等爆炸焊缺陷。

4 试验结果分析

铝镁合金 5A05 与 917 低磁钢爆炸焊接后, 其结合面为波浪形, 由此复合板制作的过渡接头 (立、卧式), 其抗剪强度和拉脱强度均满足本舰船检验技术规定的 60 MPa, 并有足够的裕量。

受剪切的立式过渡接头, 因无专用试验机, 在拉伸试验机上因拉伸力的偏心作用, 爆炸焊复合面还受一定的剥离力, 其试验结果平均值为 68.3 MPa; 而卧式过渡接头拉脱强度平均值大于 115 MPa。

5 结论

(1) 虽经常规检验合格的 5A05 铝合金-917 低磁钢爆炸焊复合板, 也一定要在进行 MIG/MAG 焊接后无剥离现象才能制作过渡接头。

(2) 必须经过计算并考虑焊接热影响及其他因素, 确定各过渡接头的尺寸、形状, 以保证其满足相关技术规定强度标准要求。而焊接关键在于保证焊缝致密性的前提下, 尽量减小对复合面的热影响, 所以必须采用小的焊接热输入。

(3) 爆炸焊复合板的过渡接头在严格执行适用的焊接工艺并按合理的焊接工艺参数施焊时, 其结合面的强度能够满足标准要求。

(4) 本研究成果填补了铝-钢复合板过渡焊接技术上的空白, 并成功应用于某新型舰船建造。

参考文献:

- [1] 李晓杰, 闫鸿浩, 王小红. 爆炸焊接技术回顾与展望[C]//第三届层压金属复合材料开发与应用学术研讨会论文集, 2012: 132-139.
- [2] 王建民, 王艳芳, 张燕. 爆炸焊数值模拟研究进展[J]. 焊接技术, 2010, 39(4): 16-18.
- [3] 郑远谋. 爆炸焊与异种金属的焊接[J]. 焊接技术, 2001, 40(5): 25-26.
- [4] 郑远谋. 爆炸焊接金属复合材料的腐蚀与防护[J]. 腐蚀与防护, 2002, 23(2): 68-72.
- [5] 郑远谋, 高健, 刘胜利. 爆炸焊接在能源技术中的应用[J]. 能源技术, 2004, 23(2): 64-68.