

6082-T6 铝合金单脉冲 MIG 自动焊接接头焊后热处理强化

6082-T6 Aluminum Alloy Single Pulse MIG Automatic Welded Joint after Post Heat Treatment

供稿|王亚东¹, 王立刚², 孟庆刚³ / WANG Ya-dong¹, WANG Li-gang², MENG Qing-gang³

内容导读 6082-T6 为轨道、汽车等产品常用的高强度可热处理强化铝合金材料, 其接头焊后会存在时效软化的现象进而使焊接接头强度降低。本实验采用单脉冲 MIG 焊的焊接方法使用 5087 焊丝进行焊接, 焊态接头抗拉强度为 212 MPa, 焊接接头硬度最低值为 69 HV, 位于距离焊缝中心 7 mm 的热影响区 (HAZ)。在对焊接接头实施 540 °C×40 min+175 °C×8 h 的热处理制度后, 其焊接接头抗拉强度为 283 MPa, 提升了 71 MPa, 焊接接头硬度最低值为 100 HV, 位于焊缝金属区 (WZ)。

在可热处理铝合金中, 6082-T6 铝合金具有密度低、强度高、塑性好等特点, 在化工、船舶、轨道车辆等领域广泛应用^[1]。在对其进行 MIG 焊时, 5087 焊丝由于含有一定量的 Zr, 可使焊缝金属抗裂性得到提升, 故受各焊接生产厂所青睐。6082-T6 铝合金强度虽高, 但在进行 MIG 焊后存在热影响区过时效软化现象, 使接头性能大幅下降。本文针对使用 5087 焊丝焊接的 6082-T6 焊接接头来进行焊后热处理强化, 研究其焊接接头在特定热处理制度下的力学性能及显微组织变化。

实验

实验材料

实验选用 6082-T6(300 mm×150 mm×4 mm) 铝合

金挤压板材作为母材进行焊接, 母材的成分及力学性能分别满足 GB/T 3190—2008 以及 GB/T 6892—2006 标准要求, 如表 1 及表 2 所示。

表 1 6082-T6 铝合金化学成分 (质量分数, %)

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Ni	Cr	Zn	Ti	Al及其他
1.040	0.147	0.022	0.451	0.637	0.004	0.014	0.018	0.016	Bal.

表 2 6082-T6 铝合金力学性能

抗拉强度/MPa	屈服强度/MPa	断后伸长率/%
≥290	≥250	≥6

焊接实验

焊接设备为 Fronius TPS 5000, 焊接方法为单脉冲 MIG 焊。填充金属选用 EN ISO 18273:S Al 5087 焊丝, 焊丝直径为 1.2 mm(3/64"), 保护气体为

作者单位: 1. 本钢板材股份有限公司, 辽宁 本溪 117000; 2. 营口理工学院材料科学与工程学院, 辽宁 营口 115014; 3. 本钢板材技术研究院, 辽宁 本溪 117000

99.99% 纯氩。填充金属的化学成分如表 3 所示，力学性能如表 4 所示。

表 3 5087 铝合金焊丝化学成分 (质量分数, %)

Si	Mg	Fe	Cu	Mn	Cr	Ti	Zn	Zr	Al
0.04	4.7	0.12	0.01	0.8	0.08	0.08	0.01	0.11	Bal.

表 4 5087 铝合金焊丝力学性能

抗拉强度/MPa	屈服强度/MPa	断后伸长率/%
≥280	≥130	≥30

焊接接头形式为 V 形坡口对接接头，实验时进行单面焊双面成形焊接，背部置有非永久衬垫，其坡口尺寸及焊道分布如图 1 所示。

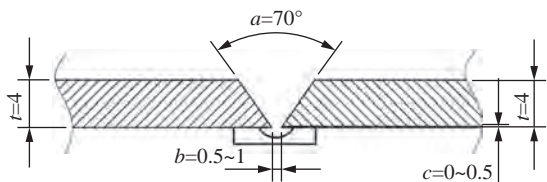


图 1 焊接接头形式

实验时的焊接参数如表 5 所示。焊后进行目视检测、渗透检测以及射线检测，检测结果表明目视检测以及射线检测满足 ISO 10042 B 级标准要求，渗透检测满足 ISO 23277 1 级标准要求。焊接接头横截面形貌如图 2 所示。

表 5 MIG-P 焊接参数

焊道	焊接电流/A	焊接电压/V	焊接速度/(cm/min)	弧长修正/%
打底焊道	95	19.0	50.0	-2
盖面焊道	100	19.2	37.5	-2

将同一块焊后试板平分为两部分，其中一部分依次进行 550 °C×40 min 的固溶处理、空冷至室温、175 °C×8 h 的时效处理之后，再进行拉伸实验的取

样、硬度实验的取样以及金相观察的取样。另外一部分直接进行拉伸实验的取样、硬度实验的取样以及金相观察的取样，之后对实验结果进行对比及分析。

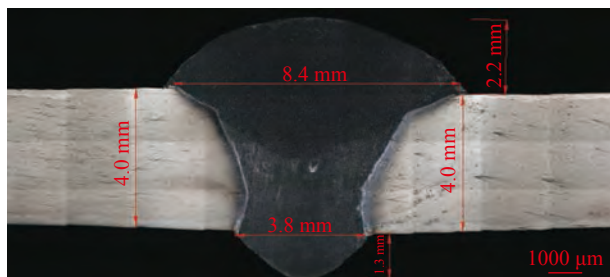


图 2 焊接接头横截面形貌

实验结果

拉伸实验

使用 AG-X 100KN H 电子万能实验机，对焊接接头进行力学性能的检测，拉伸后断裂位置如图 3 所示，检测结果如表 6 所示。由检测结果可知，在焊态下的焊接接头抗拉强度平均值为 213 MPa，焊缝金属区域为抗拉强度最低的区域，这是由于该区域受焊接热循环的影响而发生了过时效所致^[2]；在对接头进行焊后热处理后抗拉强度平均值为 284 MPa，较接头热处理前抗拉强度提高了 71 MPa，抗拉强度最薄弱的区域由热影响区转移至焊缝金属区。

微观金相组织观察

使用光学金相显微镜分别对焊态下的焊接接头以及经过焊后热处理的焊接接头进行微观金相组织观察，如图 4 所示，其中焊缝区观察位置为焊缝中心，而热影响区观察位置为距焊缝中心 7 mm 处。可见焊缝熔合边界均有粗大等轴晶的存在，且由热影响区向焊缝区域生长，这是由于垂直于熔池边界的方向温度梯度最大、散热最快而导致的^[3]。焊缝金属

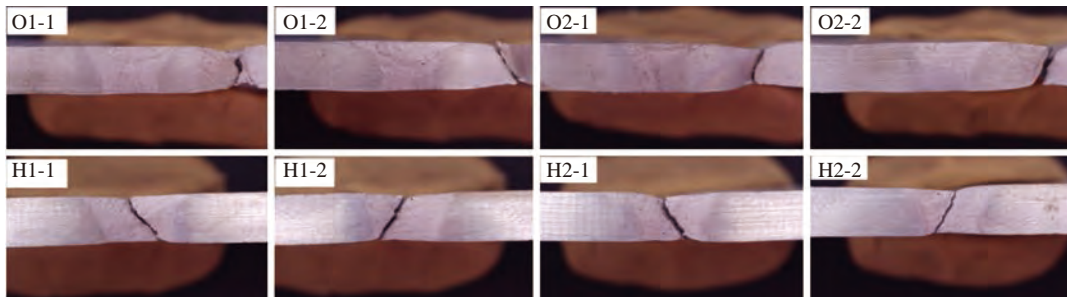


图 3 试样拉伸后断裂位置

表 6 焊接接头力学性能 (HAZ: Heated Zone; WZ: Welded Zone)

编号	抗拉强度/MPa	断裂位置	
焊态	O1-1	210	HAZ
	O1-2	211	HAZ
	O2-1	215	HAZ
	O2-2	217	HAZ
	O组平均值	213	—
焊后热处理	H1-1	282	WZ
	H1-2	280	WZ
	H2-1	286	WZ
	H2-2	286	WZ
	H组平均值	284	—

区在热处理前后均为典型的铸态组织，内部无大尺寸气孔的存在。熔合线处熔合良好，也无缺陷的

存在。

通过相关学者的研究可知，当固溶温度为 540 °C 时，母相中 Mg₂Si 粒子基本在基体中溶解^[4]。在 175 °C×8 h 的时效制度下，稳定的 β(Mg₂Si) 相粒子以弥散的形式析出，并会起到强化的作用^[4]。故推测图 4(c) 及图 4(f) 析出的黑色物质即为 β(Mg₂Si) 强化相。由图 4(c) 可知，未进行焊后热处理的接头热影响区 β 相分布相对不均，且有个别粗大的 β 相个体的存在。由图 4(f) 可知，进行焊后热处理的接头热影响区 β 相分布相对较均，且几乎无粗大 β 相个体的存在。因此，在 550 °C×40 min+175 °C×8 h 的焊后热处理制度下，接头热影响区组织均匀性的改善可能是导致接头强度上升的原因之一。

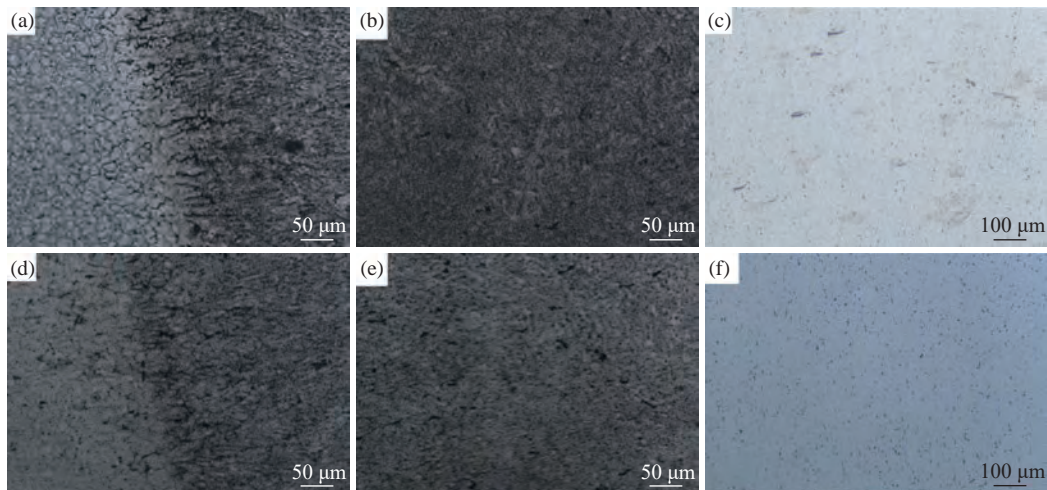


图 4 金相组织: (a) 焊态下的熔合区; (b) 焊态下的焊缝区; (c) 焊态下的热影响区; (d) 热处理后的熔合区; (e) 热处理后的焊缝区; (f) 热处理后的热影响区

接头硬度

使用 FV-810 维氏硬度计进行接头硬度的检测，检测结果如图 5 所示。焊态下的接头硬度最低值位于热影响区远离焊缝的区域，最低值为 69 HV，距离焊缝中心 7 mm。这是由于该区域受焊接热循环作用的温度较低，产生过时效现象，进而致使硬度急剧下降。而热影响区靠近焊缝的区域硬度却略有上升，这是因为近缝区温度较高，使 β(Mg₂Si) 相回溶，即起到固溶作用，因此硬度上升。

在对其进行焊后热处理后，焊接接头硬度最低值转移至了焊缝金属区域且最低值为 100 HV，而热影响区硬度值平稳且相对较高，说明该区域的强度

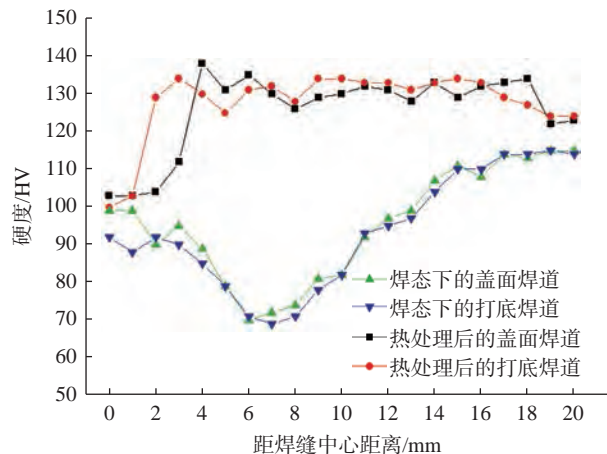


图 5 焊接接头硬度分布

已得到提升,与拉伸断裂结果相符。

结束语

(1)采用单脉冲MIG焊的焊接方法,焊态接头抗拉强度为212 MPa,由于距离焊缝中心7 mm的热影响区区域焊接热循环温度较低,产生过时效现象,导致实验测得该区域硬度数值最低。

(2)对焊接接头实施540 °C×40 min+175 °C×8 h时效处理制度后,其焊接接头抗拉强度提高至283 MPa,较焊态提升了71 MPa,接头的硬度最低值由热影响区变为焊缝金属区域。

参考文献

[1] 王元良,周友龙,胡久富,等. 铝合金运载工具轻量化及其焊接新

技术的发展. 电焊机, 2005, 35(9): 14

[2] 吕晓春,雷振,张健,等. 高速列车6005A-T6铝合金焊接接头软化分析. 焊接学报, 2014, 8(35): 25

[3] 刘春宁,王秀义,钮旭晶,等. 补焊对6082铝合金焊接接头组织和性能的影响. 焊接技术, 2012, 1(41): 5

[4] 刘胜胆,陈小连,张端正,等. 固溶温度对6082铝合金显微组织与性能的影响. 中国有色金属学报, 2015(3): 582

作者简介:王亚东(1983—),男,辽宁本溪人,研究员,2009年毕业于东北大学材料学专业,主要研究方向:先进高强钢组织性能优化及应用技术研究。参与及负责科研攻关项目10余项,其中3项获省、市级科技进步奖一、二等奖,发表论文20余篇,其中8篇获得省、市级科技论文一等奖、二等奖,拥有授权专利2项。通信地址:117000辽宁省本溪市平山区氧气路6号,E-mail:yadongkongling@126.com。