

文章编号:1002-025X(2010)08-0023-04

薄板铝合金的 TIG 拼焊及其单向拉伸成形性能

李云涛^{1,2}, 叶娟¹, 刘宝忠³, 张建^{1,2}

(1.天津理工大学 材料科学与工程学院, 天津 300384; 2.天津市光电显示材料与器件重点实验室, 天津 300384; 3.天津百利机电控股集团有限公司研究院, 天津 300110)

摘要: 拼焊所具有的优点使其成为绿色再制造技术之一。本文首先针对汽车轻量化材料铝合金薄板制定焊接工艺、优化焊接参数, 实施 TIG 拼焊, 并对铝合金 TIG 拼焊板进行微观组织、显微硬度、单向拉伸成形性能测试及扫描电子显微镜断口形貌测试, 同时分析了焊接接头组织及硬度分布规律、焊缝位置对铝合金拼焊板成形性能的影响。研究表明: 焊缝组织是细小的等轴晶和树枝状晶, 硬度较低; 焊缝的位置不同, 拼焊板的成形性能不会有明显差异; 试样的断口形貌表明 6061 铝合金拼焊板的塑性低于母材。

关键词: 铝合金薄板; TIG 拼焊; 焊缝; 成形性能

中图分类号: TG444.74 **文献标志码:** B

其化学成分见表 1。

表 1 6061 铝合金的化学成分 (质量分数) (%)

Mg	Si	Cu	Cr	Fe	Mn	Zn	Ti	Al
0.8~1.2	0.4~0.8	0.15~0.4	0.04~0.35	0.7	0.15	0.25	0.15	其余

6061 铝合金是 Al-Mg-Si 系可热处理强化锻铝合金, 其焊接有几大难点: 气孔, 热裂纹, 软化严重, 强度系数低等。为此, 笔者采用了 TIG 拼焊以及相应的焊接工艺以控制这些焊接缺陷的产生。

(1) 气孔^[3-4] 由于铝合金采用 TIG 焊接时, 主要是熔池表面与弧柱气氛接触, 熔池比表面积小, 熔池温度低, 在弧柱温度吸附氢的条件比起其他焊接就稍差些, 所以在同样条件下, TIG 焊弧柱水分引起的气孔倾向要小些; 同时, TIG 焊一般使用交流焊机, 对焊熔池和焊丝表面都有阴极雾化作用, 具有比较好的氧化膜消除作用, 这样会减少氧化膜中吸附的水分含量, 从而减少产生氢气孔的概率。

(2) 热裂纹^[5-6] 由于 TIG 焊接时, 加热集中, 故只要采用适当的焊接电流和焊接速度, 就可防止熔池及近缝区金属过热、晶粒长大, 改善低熔共晶分布及减少焊接应力, 从而能有效防止 6061 铝合金焊接时产生热裂纹。

(3) 焊接接头不等强性^[7] 6061 铝合金是经固溶、时效后的合金, 其主要强化相是 Mg_2Si 和 Al_2CuMg 。在焊接热循环的影响下, 容易发生“过时效”, 从而

0 引言

在新的成形工艺中, 拼焊板技术得到了广泛应用, 它不仅优化工件结构, 充分发挥材料的作用, 而且满足减小工件自身质量, 节约能源要求。拼焊所具有的优点使其成为绿色再制造技术之一^[1]。与汽车用钢板相比, 铝合金板密度小、强度高、耐锈蚀, 已成为汽车轻量化技术中替代钢板的主要材料。6061 铝合金属 Al-Mg-Si-Cu 系, 是一种典型的可变形热处理铝合金, 具有良好的加工、焊接性能, 耐腐蚀性及塑性良好, 在热态和冷态都易于加工成形, 因而具有很好的综合性能, 常用于制造中等载荷零件、形状复杂锻件和模锻, 在航空、船舶和汽车等领域有着广泛的应用^[2]。但在冲压成形方面, 由于晶体结构上的差异, 铝合金板的某些特性不完全与钢板相同, 很多情况下是不能套用钢的变形规律的, 需要找到适合铝合金板材自身特点的成形方法和规律。本文针对汽车轻量化材料铝合金 (1 mm 厚 6061 铝合金) 进行了拼焊工艺及成形性能研究。

1 6061 铝合金拼焊焊接工艺制定

1.1 6061 铝合金的焊接性分析

该试验选用的材料是 1 mm 厚的 6061 铝合金板,

对焊接接头产生软化作用。而采用 TIG 焊时, 只要采用较小的焊接热输入或焊后重新进行固溶和人工时效处理, 就可减轻软化现象的产生。

(4) 耐蚀性 薄板铝合金 TIG 焊, 热源能量集中, 故选用较小的热输入, 以减小热影响区宽度并防止过热, 改善接头组织和成分的不均匀性; 同时由于焊接速度快, 母材热影响区温度梯度大, 焊缝金属柱状晶方向不是指向焊缝表面 (平行于焊缝表面) 的腐蚀介质, 故耐腐蚀性强。

1.2 6061 铝合金拼焊工艺参数

通过以上分析, 本试验针对 1 mm 厚 6061 铝合金板材实施 TIG 拼焊, 焊接工艺参数见表 2。

表 2 焊接工艺参数

板号	试板规格/mm	焊接电流/A	氩气流量/(L·min ⁻¹)	两夹具间间隙/mm
1	133×100×1	60	12	无间隙
2	133×100×1	60	11	1.0
3	133×100×1	60	12	2.0
4	133×100×1	50	11	1.0~2.0

采用 TIG 焊按表 2 工艺参数焊接所得到的拼焊板如图 1 所示, 焊缝外观成形良好。

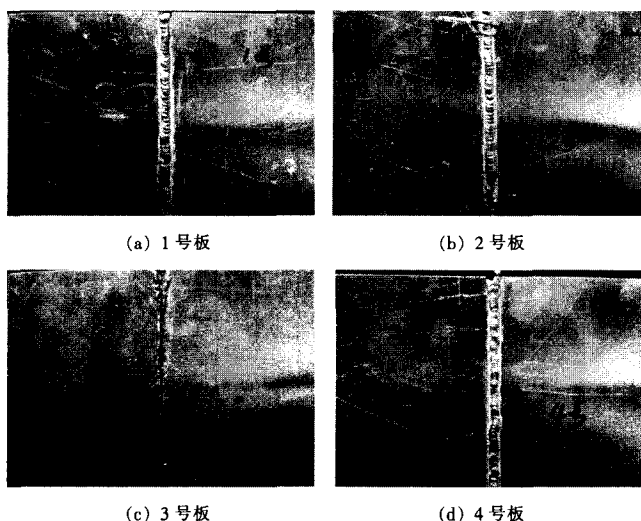


图 1 拼焊板焊缝外观

2 薄板铝合金 TIG 拼焊焊接接头微观组织及硬度

2.1 微观组织测试分析

针对 1 mm 厚 6061 铝合金 TIG 拼焊板, 进行焊缝微观组织观察, 结果如图 2, 3 所示。从图 2 焊缝接头的微观形貌图中可以看到: 焊缝组织是细小的等

轴晶和树枝状晶, 在电弧热作用下, 晶粒间有大量的黑色的 Mg_2Si 相析出, 使晶界模糊。

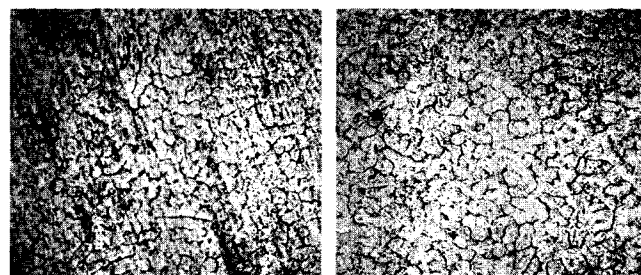


图 2 焊缝区组织 (焊缝中不同位置)

图 3 是热影响区组织。由于受到焊接热循环的作用, 晶粒变得粗大。在熔合线附近开始向焊缝中心生长的是方向性很强的柱状晶, 在焊缝中心是等轴晶。在整个柱状晶树枝状晶的宽度上, 均是一次枝晶的铸造组织。

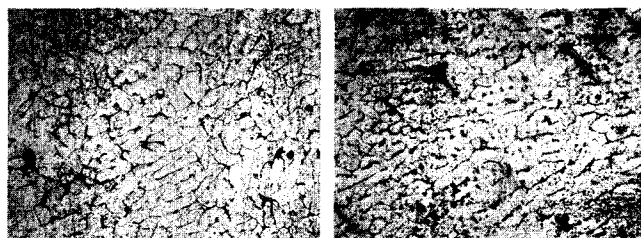


图 3 热影响区组织 (热影响区中不同位置)

2.2 硬度测试及分析

针对 1 mm 厚 6061 铝合金 TIG 拼焊板, 对焊缝金属进行硬度测试, 采用 HMV-2T 型数显显微硬度计 (日本岛津) 测定, 硬度测试结果如图 4 所示。

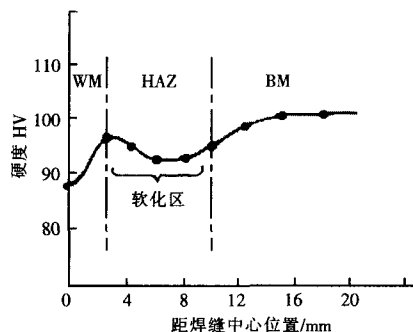


图 4 焊接接头硬度分布图

图 4 中横坐标 0 处为焊缝中心, 纵坐标为硬度值。从图 4 中可以看到, 整个焊接接头的硬度值均比母材的偏低, 焊缝中心位置处的硬度最低。随着距焊缝中

心的距离增大, 硬度升高。但在热影响区中, 硬度再次降低, 形成软化区, 此后, 硬度逐渐升高, 直至达到母材 6061 铝合金的硬度。这是由于焊缝中心处温度很高, 在冷却过程中沉淀强化相 Mg_2Si 在一定程度上聚集长大, 对位错运动的阻碍作用减小了, 从而导致硬度降低。软化区最高温度比焊缝中心的温度低, 沉淀强化相聚集长大的倾向比焊缝中心处的小, 所以该处硬度比焊缝中心硬度高。随着距焊缝中心距离的增大, 由于母材的散热作用加强, 又因冷却速度快, 形成的晶粒尺寸比焊缝中心的小, 所以硬度有所提高, 所以, 接头上从焊缝至母材的硬度分布如图 4 中所示结果^[8]。

3 薄板 6061 铝合金 TIG 拼焊板单向拉伸成形性能测试

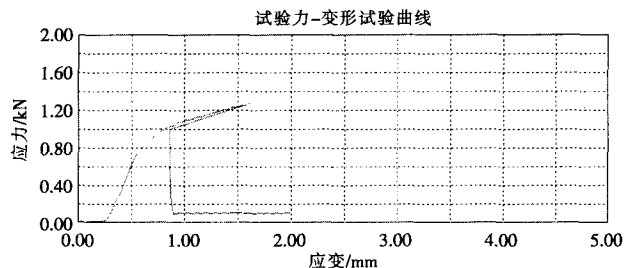
3.1 试样制备及测试

针对 1 mm 厚 6061 铝合金 TIG 拼焊板, 对焊缝进行单向拉伸试验, 共加工 4 个拼焊板试样进行单向拉伸试验, 各试样情况见表 3。其中试样 1, 2 焊缝方向为横向, 并且焊缝位于试样的中心, 与拉伸方向垂直; 试样 3, 4 焊缝方向也为横向, 只是焊缝在距试样中心 5 mm 处, 与拉伸方向垂直。

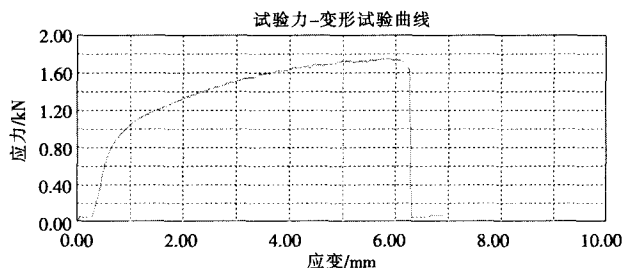
表 3 试样的分类及编号

试样序号	材料
1, 2	拼焊板 (焊缝垂直拉伸方向, 焊缝在试样中心)
3, 4	拼焊板 (焊缝垂直拉伸方向, 焊缝在距试样中心 5 mm 处)

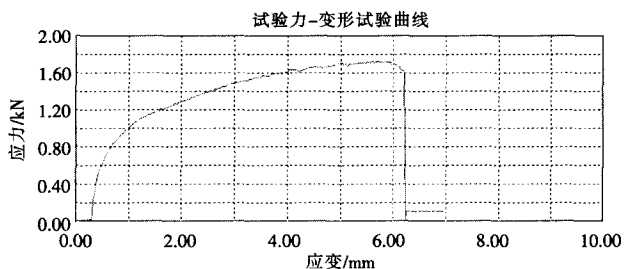
在 WDW-100 型微机控制电子式万能试验机上, 对应用 TIG 焊获得焊缝质量良好的 6061 铝合金对接焊接接头进行静态拉伸试验, 夹头移动速率 1 mm/min, 所得到的试样工程应力-应变曲线如图 5 所示。试验测试结果见表 4。从试验结果中可以看出, 试样大多断裂在距焊缝熔合线边缘 7~9 mm 处的热影响区, 整个焊接接头强度均低于母材的强度。因为 6061 铝合金属于可热处理强化铝合金, 采用 TIG 焊进行焊接时, 由于焊接速度相对较慢, 焊接热输入较大, 在焊缝及其附近产生了较高的峰值温度和较宽的热影响区^[9], 造成焊接接头的晶粒粗化, 使焊缝金属和附近母材产生“过时效”, 从而导致焊接接头强度降低。同时, 由表 4 可知: 对 2 组试样抗拉强度对比可知, 焊缝位置对抗拉强度并无大的影响。



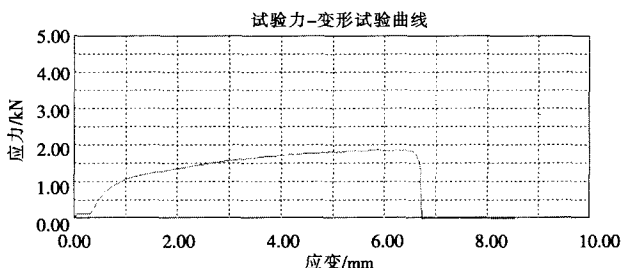
(a) 试样 1



(b) 试样 2



(c) 试样 3



(d) 试样 4

图 5 拼焊板试样焊接接头的室温工程应力-应变曲线

表 4 拼焊板试样拉伸试验结果

试样序号	抗拉强度 /MPa	屈服强度 /MPa	断后伸长率 (%)	硬化指数 n	断裂位置
1	127	98.7	2	0.203	焊缝中心
2	175	100	6.8	0.211	热影响区
3	172	91.4	7.0	0.209	热影响区
4	187	110	8.9	0.218	热影响区

6061 铝合金拼焊接头的伸长率略低于母材的伸长率, 表明该合金焊后塑性降低, 造成这种结果的原因是由于沉淀强化相在晶界析出, 使晶界相对滑移变形能力降低。

n 值是材料的应变强化指数, 由于焊缝的影响产

生了不均匀变形,使 n 值低于母材。从表4中可以看出,拼焊板整体 n 值与母材相比会有所下降,说明整体成形能力有所降低。

3.2 断口形貌分析

本试验利用JSM-6700F型场发射扫描电镜(日本电子)对6061铝合金拉伸试样的断口形貌进行观察,结果如图6,7,8所示。

图6为6061铝合金母材的拉伸试样断口,断口形貌分析表明,6061铝合金断口属于韧窝型开裂,表面存在大量撕裂韧窝。断口表面的韧窝呈现出一定的方向性,表现出良好的韧性断裂特征,说明其具有良好的塑性。

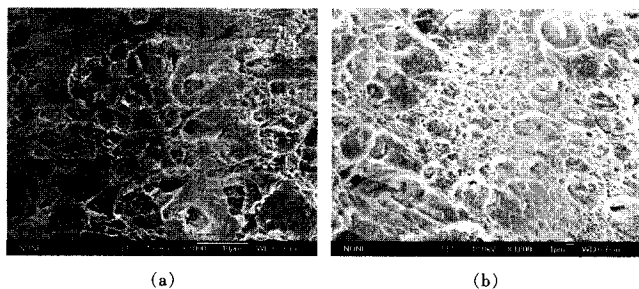


图6 母材6061铝合金的拉伸断口形貌(拉伸断口不同位置)

图7a, b为焊缝垂直于拉伸方向且焊缝在试样中心的拉伸断口不同位置的形貌。断口形貌分析表明,断口表面分布有少量的等轴韧窝,同时也存在抛物线形韧窝,从局部放大图7b来看韧窝不是很深,并且基本上大小均匀,未发生明显的塑性流动。

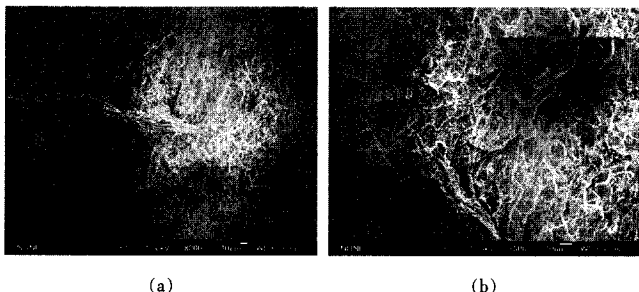


图7 焊缝垂直拉伸方向试样断口形貌(焊缝在试样中心)

从图8a, b看出,焊缝在距试样中心5 mm处试样的扫描断口形貌与焊缝在距试样中心处试样的断口形貌基本一致。对断口上不同位置的微观形貌观察可看到,断面上分布的为大小均匀的等轴韧窝、尺寸较小、深度较浅,且韧窝的大小接近,在表面分布均匀。与母材相比,其韧窝深度较浅,说明其塑性不如母材。

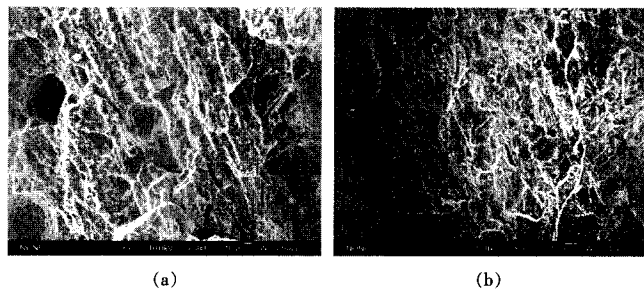


图8 焊缝垂直拉伸方向试样断口形貌(焊缝在距试样中心5 mm处)

4 结论

本文针对1 mm厚的6061铝合金薄板进行TIG拼焊,测试结果如下:

(1) 焊缝组织是细小的等轴晶和树枝状晶,在电弧热作用下,晶粒间有大量黑色的 Mg_2Si 相析出,使晶界模糊。热影响区组织中晶粒变得粗大。

(2) 整个拼焊接头硬度值均比母材偏低,焊缝处中心部位硬度最低,稍远离焊缝中心,硬度提高。

(3) 整个焊接接头强度均低于母材的强度;焊缝的位置不同,拼焊板的单向拉伸试验结果不会有明显差异;试样的断口形貌分析结果表明,6061铝合金拼焊板的塑性低于母材的塑性。

参考文献:

- [1] Azuma K, Ikemoto K, Arima K, et al. Press formability of laser welded blanks[J]. In: Proc. 16th IDDRG Biennial Congress, 1990: 305-311.
- [2] Botter H, Junai A A. Laser welding of heat-treatable aluminum alloys used in aircraft and aerospace industries[J]. Proceedings of SheMet '94, 1994: 355-363.
- [3] 孟庆森, 王文先, 吴志生. 金属材料焊接基础[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.
- [4] 于增瑞. 钨极氩弧焊实用技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [5] 李淑华, 王申. 焊接工程组织管理与先进材料焊接[M]. 北京: 国防工业出版社, 2006.
- [6] 张文钺. 焊接冶金学(基本原理)[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- [7] 中国机械工程学会热处理分会. 热处理工程师手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.
- [8] 屈金山, 邓江. 车辆用铝合金6061焊接接头性能探讨[J]. 西南交通大学学报, 1994, 29(4): 223-228.
- [9] 赵勇, 付娟, 张培磊, 等. 焊接方法对6061铝合金接头性能影响的研究[J]. 江苏科技大学学报, 2006, 20(2): 90-94.

作者简介: 李云涛(1971—), 女, 副教授, 主要从事材料成型及材料表面技术研究。