

镁铝异种金属激光 - TIG 复合热源焊接性分析

柳绪静, 刘黎明, 王 恒, 宋 刚

(大连理工大学 三束材料表面改性国家重点实验室, 辽宁 大连 116023)

摘 要: 采用激光 - TIG 复合热源和 TIG 焊接异种金属镁和铝, 利用 X 射线衍射仪、金相显微镜和扫描电镜研究镁和铝焊接接头的微观组织、元素分布。结果表明, TIG 焊接镁和铝形成连续的金属间化合物层, 导致镁和铝接触的界面开裂, 不能实现有效的连接。激光 - TIG 复合热源由于其焊接速度高和对熔池的快速搅拌作用, 使镁和铝形成的金属间化合物由连续的层状变成弥散的状态, 改善了异种金属镁和铝的焊接性。镁和铝激光 - TIG 复合热源焊接的焊缝成形均匀, 美观。

关键词: 激光; TIG 焊接; 异种金属; 镁; 铝; 异种金属

中图分类号: TG403 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253 - 360X(2005)08 - 31 - 04



柳绪静

0 序 言

镁合金具有比重小, 比强度、比刚度、阻尼性、切削加工性能好等优点, 因此, 在汽车工业、通讯电子业和航空航天工业等领域正得到日益广泛的应用。镁合金是常用航空金属结构材料中最轻的一类, 可用于制作各类框架、壁板、起落架轮毂; 发动机机匣、机架; 仪表电机壳体和操纵系统中的支架、摇臂等零件^[1]。众所周知, 铝合金已经广泛应用在各种工业领域, 更是飞机制造业的最主要的结构材料。随着镁的应用逐渐增多, 镁和铝的连接问题不可避免地会遇到。

镁合金与铝合金通过真空扩散焊^[2]、爆炸焊^[2]、搅拌摩擦焊^[3,4]可以实现一定强度的连接, 但是接头强度仍有待于提高。而镁合金和铝合金的熔化焊接, 如熔化极气体保护焊、电子束焊, 遇到很大的困难^[5]。

激光 - TIG 复合热源利用激光增加 TIG 能量利用率, 同时利用 TIG 增加激光的吸收率, 大大提高了焊接速度, 尤其适合于焊接高热导率的金属。在前期工作中, 利用激光 - TIG 复合热源焊接镁合金被提出, 并经试验证明, 激光 - TIG 复合热源焊接是一种理想的镁合金焊接工艺^[6]。作者提出采用激光 - TIG 复合热源缝焊异种金属镁和铝, 并讨论激光 - TIG 复合热源缝焊镁和铝的焊接接头的微观组织形貌, 为异种金属镁和铝的连接探索新路。

1 试验材料和方法

试验采用尺寸为 90 mm × 60 mm × 1.7 mm 的 AZ31B 镁合金和 100 mm × 60 mm × 1.7 mm 的 6061 铝合金板材。其化学成分见表 1 和表 2。试样焊前采用丙酮去除油脂, 干燥后用刮擦法去掉氧化膜。

采用激光 - TIG 复合热源焊接工艺, 试验装置如

表 1 AZ31B 的化学成分(质量分数, %)

Table 1 Chemical compositions of AZ31B

Al	Zn	Mn	Ca	Cu	Si	Ni	Fe	Si	Mg
2.5 - 3.5	0.5 - 1.5	0.2 - 0.5	0.04	0.05	0.1	0.005	0.005	0.1	余量

表 2 6061 铝合金的化学成分(质量分数, %)

Table 2 Chemical compositions of 6061 Al alloy

Al	Si	Cu	Mg	Mn	Zn	Ti	Fe	Cr
98.033	0.552 7	0.217 5	0.967 8	0.003 8	0.000 5	0.012 7	0.140 1	0.071 8

收稿日期: 2004 - 09 - 06

基金项目: 国家科技攻关计划资助项目(2004BA311A11); 教育部优秀青年教师资助计划

图 1 所示, 其中所用激光器型号为 LWS - 500W, TIG 焊机的型号为 Panasonic YC - 300WX3HGE。经优化后的参数为: TIG 电流 100 A, 保护气流量

7 L/min, 激光电流 180 A, 脉宽 3.5 ms, 频率 39 Hz, 离焦量为 1 mm, 焊速 1 300 mm/min。接头形式见图 2。对比试验 TIG 焊采用的是激光-TIG 复合热源中的 TIG 焊设备, 采用对接方式。

制备金相试样, 镁侧所用腐蚀剂组成为冰醋酸 20 ml + 浓硝酸 1 ml + 乙二醇 50 ml + 蒸馏水 17 ml, 铝侧所用腐蚀剂组成为氢氟酸 2 ml + 浓硝酸 5 ml + 水 95 ml。利用 X 射线衍射仪分析断口相组成, 用扫描电镜进行微观组织观察和元素分析。



图 1 激光-TIG 复合热源装置图

Fig. 1 Equipment of laser-TIG hybrid welding

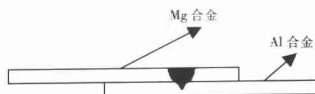


图 2 激光-TIG 复合热源焊接接头形式示意图

Fig. 2 Schematic diagram of laser-TIG hybrid welded joint

2 结果和讨论

2.1 TIG 焊镁和铝接头及断口分析

异种金属镁和铝的 TIG 焊对接很困难, 即使填充镁焊丝和铝焊丝, 在镁和铝接合处施加很小的力也会开裂, 而不能形成镁和铝的焊接接头(图 3)。图 3 中上面为铝板, 下面为镁板, 左面添加的铝焊丝, 右面添加的镁焊丝。添加的铝焊丝和上面的铝板接合得很好, 但和下面的镁板不能形成接头, 断裂出现在大量镁和大量铝接触的界面上。在镁和铝之间添加镁焊丝, 镁焊丝和镁板结合良好, 但镁和铝接触的界面也同样出现开裂, 不能形成接头。

根据异种金属的焊接性^[5]可以知道, 镁和铝不是由于固溶度小而是由于镁和铝之间形成金属间化合物导致焊接性差。结合镁和铝的二元相图^[7], 镁的质量分数在 36% ~ 56% 之间几乎完全产生金属间化合物, 并且在很大的质量分数范围内都会有金

属间化合物产生。可以推测在镁和铝的界面形成了大量的金属间化合物, 从而导致镁和铝之间 TIG 焊对接几乎不能实现。

在镁和铝 TIG 焊对接的铝板侧取样, 将断口面磨平, 并作 X 射线相分析。图 4 为镁和铝 TIG 焊接头断口的 X 射线相分析结果。根据 X 射线衍射结果, 断口由 β -AlMg 和 Al_2Mg 两相组成。 β -AlMg 相是铝和镁形成的一种非平衡相。由于焊接过程是一种极不平衡的加热冷却过程, 因此焊接接头断口处的相是非平衡的相。而且镁和铝 TIG 焊的断口基本都是由镁和铝形成的中间相构成, 没有镁相或铝相, 说明镁和铝 TIG 焊时形成的金属间化合物不但是大量的, 而且形成连续的层状。

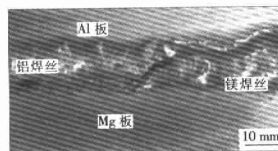


图 3 镁和铝 TIG 对接焊

Fig. 3 Butt weld of Mg and Al by TIG

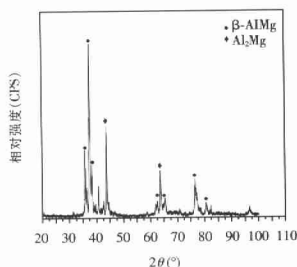


图 4 镁和铝 TIG 焊接头断口的 X 射线相分析

Fig. 4 XRD spectrum of TIG joint fracture of Mg and Al

2.2 激光-TIG 复合热源焊接镁和铝

影响异种金属焊接性的因素很多, 其中最难解决也是异种金属焊接时尽量避免的就是形成金属间化合物。利用异种金属的熔点差, 尽量保持熔点低的金属为固态是解决这类问题的一般方法。例如, 铝和铁的焊接就是典型的例子。但是, 镁和铝的熔点相差无几, 纯镁的熔点为 651 °C, 纯铝的熔点为 660 °C, 在熔焊时很难做到只熔化一种金属而使另一种金属保持固态, 因此不可避免地要发生两种金

属液态的接触。液态金属之间的反应速度远远大于固态金属之间的反应速度,镁和铝之间生成金属间化合物是很难控制的。这就是异种金属镁和铝熔焊的最大困难,也是镁和铝直接 TIG 焊接失败的原因。

2.2.1 镁和铝激光-TIG 复合热源缝焊焊接形貌

选择缝焊的连接方式可以减少焊接中镁和铝高的线收缩率导致的焊接裂纹的产生,又在一定程度上避免了镁和铝的直接大量接触。图5为激光-TIG复合热源缝焊镁和铝焊缝表面形貌图,上面的板为镁板,下面的板为铝板。由图4可以看到,镁和铝缝焊的焊缝成形均匀、美观。激光-TIG复合热源焊接改善了异种金属镁和铝的焊接性。

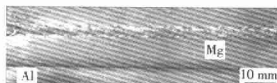


图5 激光-TIG复合热源缝焊镁和铝焊缝表面形貌
Fig.5 Hybrid weld appearance of Mg and Al

激光-TIG复合热源形成的熔池形状,可以通过激光-TIG复合热源缝焊镁和铝焊缝横断面形貌图看出来,如图6。图中上面的板为镁板,下面的板为铝板。激光和电弧从镁板一侧穿过,形成镁的熔池,在熔池底部和下面的铝板作用,并实现连接。



图6 激光-TIG复合热源缝焊镁和铝焊缝横断面形貌
Fig.6 Cross section of laser-TIG hybrid weld bead of Mg and Al

2.2.2 熔池底部的搅拌情况

搅拌作用使镁和铝之间形成的金属间化合物不再是连续的层状,而是比较弥散。如图6为镁和铝直接焊接熔池底部形貌。熔焊时由于各种力的作用,熔池的运动比较复杂,激光-TIG复合热源焊接由于激光的加入使熔池的流动更加复杂,而且激光-TIG复合热源的焊接速度相当快,焊接镁和铝时的速度达1300 mm/min,形成的熔池在很短的时间里就凝固了。因此熔池在快速搅拌的作用下更加不

均匀,尤其是在熔池底部,也就是大量镁和大量铝接触的界面。大量镁和大量铝接合的界面不再是连续的金属间化合物层,而是被各种不规则的组织 and 周围的复杂组织的界面代替。

激光-TIG复合热源作为一种熔焊方法,之所以能形成异种金属镁和铝的焊接接头,与其高的焊接速度是分不开的。高的焊接速度大大减少了形成金属间化合物的时间,也就是减少了金属间化合物的量。并且由于电弧和激光快速的复合搅拌作用使金属间化合物分布比较弥散,改变了TIG焊中金属间化合物连续层状分布的存在状态,使异种金属镁和铝的焊接成为可能。

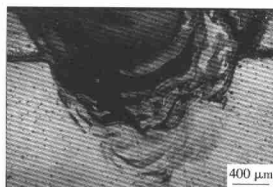


图7 镁和铝直接焊接熔池底部形貌
Fig.7 Bottom of fusion zone in hybrid welding of Mg and Al

2.2.3 熔池底部组织的微观形貌和成分分析

异种金属镁和铝作用的情况需要分析熔池底部的组织。图8为熔池底部近镁侧的组织形貌图。由能谱分析的结果可知,图8a的主要成分为Mg-26%Al(摩尔分数)。根据镁铝的二元相图^[7],Mg-26%Al近似为 $Mg_{17}Al_{12} + Mg$ 共晶体的成分,观察其形貌也具有共晶体的特征,基体上分布着析出相。图8b的成分主要为Mg,Al的含量为9%质量分数,近似为母材AZ31B的成分。整个熔池底部近镁侧的组织为图8a和图8b的混合组织。由此可见,激光-TIG复合热源缝焊镁铝的熔池底部近镁侧受到镁铝异种材料焊接的影响较小。

图9为镁和铝直接焊接熔池底部近铝侧的暗场像图。图中a处成白色,成分分析铝的含量占主导,镁的含量为33%(质量分数),铝的含量为64%(质量分数)。b处为针状组织,成分为Mg-26%Al(摩尔分数)。从相图分析为 $Mg_{17}Al_{12} + Mg$ 共晶体成分。c处的成分主要为Mg,Al含量为9%(质量分数),近似为母材AZ31B的成分。b和c处组织与熔池底部近镁侧的组织类似,这些组织是由熔池的搅拌使下部的铝与熔和区的镁快速混合,然后快速

凝固而形成的。

3 结 论

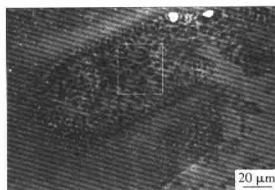
(1) 异种金属镁和铝直接 TIG 焊接由于镁和铝之间形成连续的金属间化合物层, 不能形成镁和铝的焊接接头。

(2) 激光-TIG 复合热源的快速搅拌使得镁和铝界面的组织成混合状态, 这样的状态使较硬的组织和较软的组织相互交错, 改善了异种金属镁和铝的焊接性。

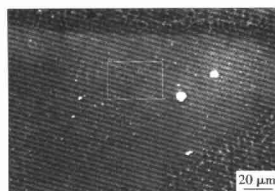
(3) 镁和铝激光-TIG 复合热源焊接熔池底部的组织为镁母材、共晶体和富铝的组织。

参考文献:

- [1] 陈长军, 王东生, 郭文渊, 等. 镁合金激光表面改性研究进展[J]. 材料保护, 2003, 36(1): 25-26.
- [2] 里亚博夫 B P. 铝及铝合金与其它金属的焊接[M]. 第一版. 王义衡, 赵瑞湘译. 宇航出版社, 1990. 212-215.
- [3] Sato Yutaka S, Park Seung Hwan C, Michiuchi Masato, et al. Hiroyuki. Constitutional liquation during dissimilar friction stir welding of Al and Mg alloy[J]. Scripta Materialia, 2004, 50(9): 1233-1236.
- [4] Somasekharan A C, Murr L E. Microstructures in friction-stir welded dissimilar magnesium alloys and magnesium alloys to 6061-T6 aluminum alloy[J]. Materials Characterization, 2004, 52(1): 49-64.
- [5] 中国机械工程学会焊接学会. 焊接手册[M] (第2卷, 第2版). 北京: 机械工业出版社, 2001.
- [6] Song Gang, Liu Liming, Wang Jifeng, et al. Laser tungsten inert-gas arc hybrid welding processing on wrought magnesium alloy AZ31B[J]. Transaction of the China Welding Institution, 2004, 25(3): 31-34.
- [7] Smithells, Colin James. Smithells metals reference book[M]. The Sixth Edition. London: Butterworths, 1983.



(a)



(b)

图8 熔池底部近镁侧的组织形貌

Fig.8 Microstructure of fusion zone bottom at Mg side

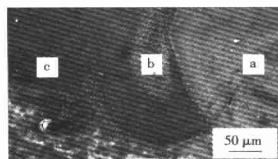


图9 镁和铝直接焊接熔池底部近铝侧组织

Fig.9 Microstructure of fusion zone bottom near Al side

综上所述, 激光-TIG 复合热源的快速搅拌使得大量镁和大量铝接触界面附近的组织成混合状态, 这样的状态使较硬的组织和较软的组织相互交错, 改善了异种金属镁和铝的焊接性。

作者简介: 柳绪静, 女, 1980年1月出生, 博士研究生。现主要从事镁铝异种金属焊接性的研究工作。

Email: liulm@dlut.edu.cn