

5A06 电子束焊接 Mg 元素烧损规律及对接头力学性能的影响

汪兴均, 黄文荣, 魏齐龙, 沈显峰
(中国工程物理研究院, 四川 绵阳 621900)

摘要:研究了 5A06 合金电子束焊接时, 熔池内 Mg 元素的分布规律以及 Mg 元素烧损对焊缝力学性能的影响。结果表明: 在接头区域, 越靠近热影响区的 Mg 元素烧损程度越低; 随着焊缝深度的增加, Mg 元素烧损程度减小, 同时显微硬度增大; 烧损程度越严重的试样显微硬度越低。

关键词: 5A06; 电子束焊; 烧损

中图分类号: TG456, TG407

文献标识码: A

文章编号: 1001-2303(2006)03-0059-03

Influences of evaporation and loss of Mg element on mechanical properties in 5A06 EBW joints

WANG Xing-jun, HUANG Wen-rong, WEI Qi-long, SHEN Xian-feng
(China Academy of Engineering Physics, Mianyang 621900, China)

Abstract: The distribution of evaporation and loss of Mg element in melt pool and its effects on mechanical properties are investigated in 5A06 alloy electron beam weld joints. The results show that with the penetration depth increasing, the containment of Mg increases which the joint's microhardness increases, but with the evaporation and loss of Mg decreasing, the joint's microhardness decreases.

Key words: 5A06 alloy; electron beam welding; evaporation and loss of Mg

前言

5A06 防锈铝属于 Al-Mg 系合金, 退火时可焊性、抗蚀性良好, 冷变形可提高强度, 因此在中载构件、液体容器、管道等零件中被广泛采用。采用真空电子束焊接铝合金, 不但焊件的熔深大, 热影响区小, 焊缝纯度高, 而且变形量也小, 接头的力学性能良好。但是由于电子束焊时, 高速电子流轰击工件表面时被轰击的金属表层瞬间可达到极高的温度 (1×10^4 °C 以上), 而 5A06 合金焊接熔化过程中由于 Mg 的沸点 (1 380 K) 低于 Al (2 723 K), 且 Mg 的沸点与 Al 的熔点 (933 K) 仅差 447 K, 所以在高温熔池中, Mg 元素将有一部分成为金属蒸气并逸出熔池^[1-2]。而在 5A06 合金中 Mg 是主要强化因素, Mg 含量变化将影响合金的多方面性能。5A06 中合

金的强度随 Mg 含量的增加, 强度提高而塑性降低^[3]。Mg 含量对合金的焊接性能也有明显影响, 当 $\omega(\text{Mg}) < 6\%$ 时, 合金的焊接裂纹倾向随 Mg 含量的增加而降低; 当 $\omega(\text{Mg}) > 6\%$ 时, 则相反; 当 $\omega(\text{Mg}) > 9\%$ 时, 焊缝的强度随 Mg 含量的增加而明显提高。因此, 研究 5A06 合金电子束焊接时, 焊缝中 Mg 元素烧损规律以及对接头力学性能的影响是很有意义的。

1 试验材料与方法

1.1 试验材料

试验使用的 5A06 合金化学成分如表 1 所示。为了研究 Mg 元素烧损在焊缝深度和宽度方向的变化规律, 试验采用一块厚 6 mm 的板状试样, 其余试样结合某产品的生产均加工为环状, 厚度为 1.2 mm。

1.2 试验方法

收稿日期: 2005-11-22

作者简介: 汪兴均(1977—), 男, 重庆梁平人, 在读硕士, 主要从事高能束焊接的研究工作。

表 1 5A06 合金的化学成分 %

ω (Si)	ω (Fe)	ω (Cu)	ω (Mn)	ω (Mg)
0.40	0.40	0.10	0.50~0.80	5.80~6.80
ω (Zn)	ω (Be)	ω (Ti)	ω (Al)	
0.20	0.001~0.005	0.02~0.10	余量	

采用德国 LEYBOLD-HERAEUS 公司生产的 ESW1002/7.5-150 型高压高真空电子束焊机进行焊接试验。采用 X 射线电子能谱分析仪分析焊缝熔池不同深度位置的 Mg 元素含量及分布;用显微硬度计测试显微硬度。

2 试验结果与讨论

2.1 Mg 元素在熔池内的分布^[4]

图 1、图 2 分别为试板、试环焊缝形貌及能谱分析各采样点示意图,采样各点 Mg 含量如表 2 所示。试板 Mg 元素在焊缝深度、焊缝宽度方向的变化趋势如图 3、图 4 所示。图 5 为用 X 射线电子能谱分析仪得到的试环整个熔池 Mg 含量的面扫描分布图。由图 3、图 5 可知,熔池 Mg 含量随着焊缝深度的增加而增加,试样焊缝表面(尤其是试环)Mg 含量相对于母材有明显降低,试样焊缝区域表面的 Mg 元素烧损比内部更大。由图 4 可知,越靠近热影响区焊缝 Mg 含量越高,即在焊缝中心轴线上 Mg 含量最低。

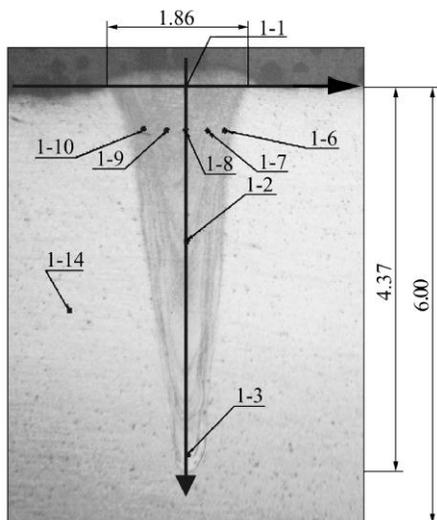


图 1 试板焊缝形貌及能谱采样点示意图

2.2 Mg 元素烧损对焊缝硬度的影响

为了考核试样焊缝的机械性能,用焊缝硬度来间接反映其机械性能,一般硬度越高,其强度越大。图 6 为一环状试样焊缝横截面显微硬度测试各点的压痕图,表 3 为各测试点显微硬度值。

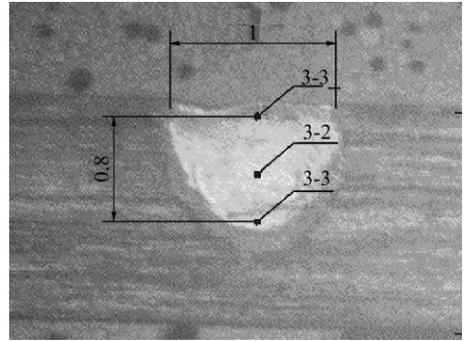


图 2 试环焊缝形貌及能谱采样点示意图

表 2 试样采样各点 Mg 含量 %

编号	1-1	1-2	1-3	1-6	1-7	1-8	1-9	1-10	母材
ω (Mg)	5.10	5.71	6.48	5.67	5.46	5.37	5.79	6.29	6.52
编号	3-3	3-2	3-1	母材					
ω (Mg)	1.43	1.47	2.57	6.35					

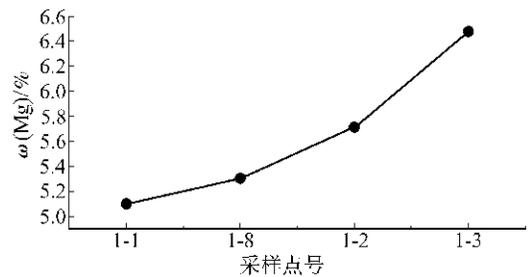


图 3 试板 Mg 含量在焊深方向的变化趋势

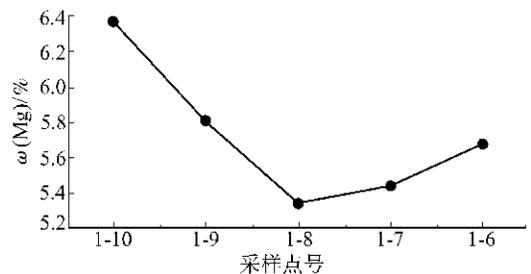
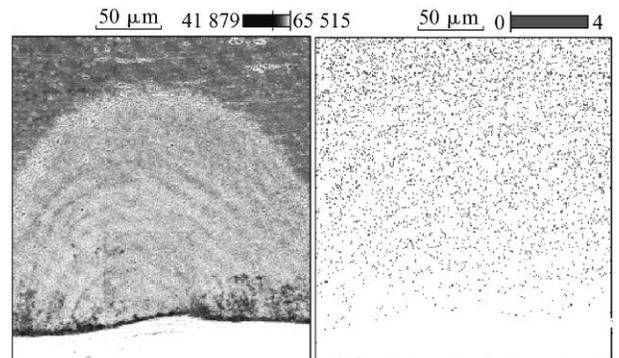


图 4 试板 Mg 含量在焊宽方向的变化趋势



a 熔池被扫描区域形貌 b 被扫描区域 Mg 含量分布

图 5 试环熔池 Mg 含量面扫描分布图

焊缝的横向、纵向硬度分布示意图分别如图 7、图 8

所示。由图 6、图 7、图 8 可知:焊缝熔化区硬度明显低于母材,随着焊缝深度的增加其显微硬度增加,在离表面同一深度上,熔池中心轴线上显微硬度最低,愈靠近焊缝两边热影响区,显微硬度越高。结合图 3、图 4 可知:焊缝显微硬度在横向与纵向的变化规律与焊缝在熔宽与熔深方向的 Mg 含量变化规律极为相似,即随着 Mg 含量的增加,其显微硬度也相应增加,原因是由于 Mg 元素在合金中起主要强化作用,熔化区内 Mg 元素存在一定程度的烧损导致了显微硬度的下降,Mg 元素烧损程度越高,硬度降低越明显。

表 3 测试各点显微硬度值

测试点号	横向测试点						
	1	2	3	4	5	6	7
显微硬度值/HV	77.2	78.8	69.2	61.4	65.6	60.3	67.6

测试点号	横向测试点		纵向测试点					
	8	9	10	11	12	13	14	
显微硬度值/HV	78.6	78.4	64.2	65.9	67.1	67.1	67.8	

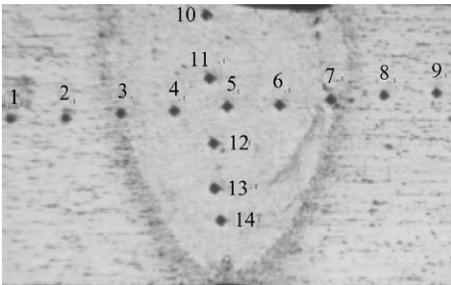


图 6 显微硬度测试各点压痕图

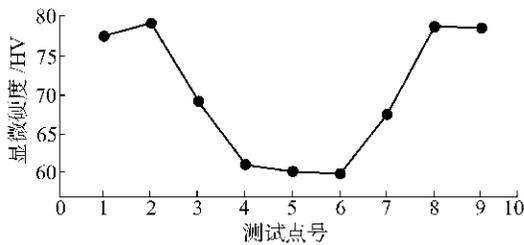


图 7 焊缝横向显微硬度分布

本研究在比较不同试样烧损情况时,为了减小不同试样母材 Mg 含量的差异对试验结果的影响,采用了烧损率来表征不同试样 Mg 的烧损情况,计

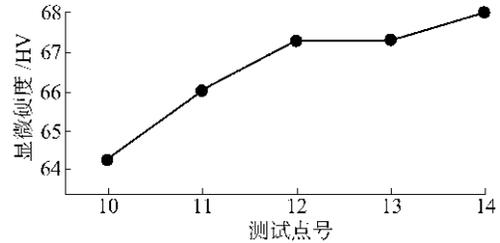


图 8 焊缝纵向显微硬度分布

算公式为

$$\text{烧损率} = \frac{\text{母材 } \omega(\text{Mg}) - \text{焊缝 } \omega(\text{Mg})}{\text{母材 } \omega(\text{Mg})} \times 100\%$$

且在比较时均以烧损最严重区域烧损率作比较。

表 4 为 3 个尺寸、焊接位置、显微硬度测试位置相同时,焊接参数与焊深不同的试样烧损率与焊缝显微硬度的对比表。由表 3 可知,随着焊缝 Mg 元素烧损率的增加,试样焊缝的硬度降低,其原因也是 Mg 元素烧损程度差异造成的。

表 4 不同试样烧损率与显微硬度对比

试样号	I	II	III
烧损率/%	50.02	63.90	88.30
显微硬度平均值/HV	63.37	60.77	49.83

3 结论

a. 同一试样焊缝熔池内,在熔深方向上,随着熔深的增加 Mg 元素烧损降低,显微硬度增加;在熔宽方向上,愈靠近焊缝两边热影响区 Mg 元素烧损程度越低,显微硬度越高。

b. 不同试样的焊缝比较,烧损率越低的试样焊缝显微硬度越高。

参考文献:

- [1] 王宝瑞,雷华东,黄文荣,等. LF6 铝镁合金电子束焊接接头的性能与组织初探[J].现代制造工程,2004(10):59-61.
- [2] 王之康,高永庆,徐 宾.真空电子束焊接设备及工艺[M].北京:原子能出版社,1990.
- [3] 肖亚庆.铝加工技术实用手册[M].北京:冶金工业出版社,2005.
- [4] 周 琦,刘方军.电子束深熔焊熔质密度分布与熔池流动行为[J].焊接学报,2001,22(5):17-20.

更正

由于我刊编辑失误,2005 年第 12 期 44 页有一处刊误,现刊正:“图 5 不同激光功率堆焊重熔层表面组织(OP)”应为“图 5 不同激光功率堆焊重熔层表面组织(SEM)”。

给作者和读者带来的不便,尽请原谅!