

# Experiment Study on Welded joints of Magnesium Alloy Thin Sheets by Galvo Laser Weld

Zaihang Ao<sup>1</sup> Shouwu Wang<sup>2</sup> WeiShi<sup>1</sup> Fuzhong Yin<sup>1</sup> Shuhao Fu<sup>1</sup>

1. Guizhou Aerospace Tianma Electromechanical Technology Co., Ltd., Zunyi, Guizhou, 563000, China

2. Unit of the Chinese People's Liberation Army, Zunyi, Guizhou, 563000, China

## Abstract

This study conducts experimental research on the weldability of magnesium alloy thin sheets, taking the butt welded joints fabricated by galvo laser welding of extruded magnesium alloy (AZ31B) thin sheets with a thickness of 1.5mm as the research object. This paper carries out an analysis on the causes, influencing factors and preventive measures of porosity and voids generated during the galvo laser welding process. The microstructures and defect morphologies of the welded joints were analyzed using analytical tools such as optical metallographic microscopes, scanning electron microscopes (SEM), and energy dispersive spectrometers (EDS). The experiment revealed the presence of hydrogen pores and keyholes in the welded joint. The heat-affected zone(HAZ) was relatively narrow, with significant aggregation of aluminum(Al) elements at the grain boundaries in the fusion zone. The weld metal microstructure consisted of fine equiaxed grains, and there was no obvious tendency of preferential aggregation for any elements in the weld zone.

## Keywords

Magnesium alloy thin plate; Galvanometer laser welding; Microstructure; Porosity; Preventive measures

# 镁合金薄板振镜激光焊焊接接头试验研究

敖再航<sup>1</sup> 王守武<sup>2</sup> 施伟<sup>1</sup> 尹福钟<sup>1</sup> 符书豪<sup>1</sup>

1. 贵州航天天马机电科技有限公司, 中国·贵州遵义 563000

2. 中国人民解放军 93147 部队, 中国·贵州遵义 563000

## 摘要

本文围绕镁合金薄板的焊接性开展试验研究, 采用厚度为1.5mm的挤压变形镁合金(AZ31B)薄板材料在振镜激光焊接下制得的对接焊接接头作为研究对象。针对振镜激光焊接过程中气孔、空隙的产生原因、影响因素及防止措施展开分析。利用金相显微镜、电子扫描显微镜(SEM)及能谱仪(EDS)等分析工具对焊接接头进行微观组织和缺陷形貌分析。试验发现焊接接头中存在氢气孔及空隙, 焊缝及热影响区宽度均较窄, 熔合区晶界Al元素有较大的聚集, 焊缝组织为细小的等轴晶组织, 焊缝区各元素无明显的偏向聚集倾向。

## 关键词

镁合金薄板; 振镜激光焊; 微观组织; 气孔; 防止措施

## 1 引言

随着装备轻量化的需求越来越多, 且又要保持较高的力学性能, 因此镁合金作为一种高比强度的轻量化材料, 近年来在汽车、数码等领域的应用越来越广泛。但是由于镁合金具有活性高、热导率高、密度低等特点<sup>[1]</sup>, 给镁合金的焊接带来较大的难度, 同时镁合金焊接过程中熔池变化不易观察, 这些难题都在一定程度上影响镁合金在更多领域的应用范围。因此, 为进一步了解镁合金焊接过程及相关要求, 提高焊接接头的致密性及抗裂性, 提出焊接各环节具体的控制

要求及防治措施。

## 2 试验方法及过程

### 2.1 试验方法

#### 2.1.1 试验材料

本试验所用试板材料为变形镁合金 AZ31B, 焊接材料为直径  $\Phi 1.6$  AZ31B 焊丝, 镁合金试样尺寸均为  $150\text{mm} \times 20\text{mm} \times 1.5\text{mm}$ 。

### 2.2 焊接接头设计

#### 2.2.1 焊接工艺参数选择

本试验工艺参数(激光功率: 1600W; 振荡幅度: 0.6mm; 振荡频率: 1884:HZ; 送丝速度: 1.5m/min; 电流: 100A; 焊接速度: 2m/min; 保护气体: 99.99 氩气)。

**【作者简介】**敖再航(1990-), 男, 中国贵州绥阳人, 本科, 工程师, 从事材料成型及控制工程研究。

## 2.2.2 试验过程

焊前清理。镁合金化学性质比较活泼，材料表面容易氧化。在焊接前将母材表面的氧化膜及油污用砂纸打磨后，用酒精擦拭清洗干净。

焊接过程。由于本试验采用的母材试板比较薄，对接焊时用压块将试板固定后焊接。

金相制备。垂直于试板长度方向，用线切割设备从焊缝中心截开制取焊接接头金相试样。先后用 50 目、100 目、200 目、400 目、800 目、1000 目、1200 目的水磨砂纸依次打磨至表面无痕。打磨后在抛光机上抛光，依次选用 3 号和 1.5 号的金刚石研磨抛光膏进行抛光。试样抛光完成后进行腐蚀，本试验采用苦味酸溶液腐蚀剂（苦味酸 4.2g，酒精 70ml，蒸馏水 10ml），腐蚀时间为 30-50 秒。腐蚀完毕后用吹风机吹干。采用光学显微镜和 SEM 扫描电镜观察焊缝形貌和缺陷特征。

## 2.3 镁合金的焊缝成形

### 2.3.1 焊接接头宏观形貌

试验中得到的镁合金激光焊焊接接头成形良好，焊缝狭窄，肉眼观察下表面连续均匀，变形小，无表面缺陷。图 1.1 (a) 是焊接接头的焊缝宏观图。从图可以看出，在该工艺参数下获得的焊接接头，肉眼观察未发现任何可视裂纹和气孔。从图中可见，焊缝表面存在一定交错的纹路，这是由于引入了振荡作用产生的。焊缝细窄，焊缝熔宽小，这是因为振镜激光焊接的能量集中。图 1.1 (b) 是对接接头 50 倍下的截面图，从图中可以看出，在焊缝中部处存在有一定数量的气孔。

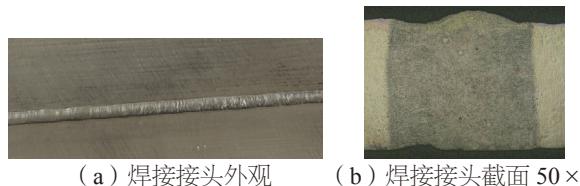


图 1.1 焊接接头宏观形貌

### 2.3.2 焊接接头微观形貌

图 1.2 是 AZ31B 镁合金激光焊对接接头下的焊缝横断面显微金相图。由图可以看出，镁合金激光焊焊缝狭窄，热影响区比较小。这是因为采用激光焊接方法时，激光束能量集中，能量密度大，焊后冷却速度快，焊接时所需要的热输入小，同时，由于焊接过程中激光与材料的作用时间大大缩短，所以形成的热影响区较小。

母材区：如图 1.2 (a) 所示，母材区均为等轴晶组织，组织中有散状分布大小不一的黑色颗粒，这些颗粒是由于合金成分偏析等原因形成的第二相粒子。

熔合区：如图 1.2 (b) 所示，熔合区的微观结构复杂，宽度较为狭窄。母材热影响区附近的晶粒较为粗大且比母材的晶粒还要大，而熔合线处又有细小的等轴晶，还有一些杂

乱的不规则晶粒组织。

焊缝区：如图 1.2 (c) 所示，焊缝区为细小的等轴晶组织。激光焊能量集中，镁合金热导率大，熔池的冷却速度和结晶速度较快，促进了焊缝区金属的细化。从组织分布来看，焊缝中的柱状组织呈交错状分布，这是由于激光振荡引入激光束的周期性摆动导致熔池温度场波动剧烈，增大了过冷度，熔池内的液态金属流动受到影响从而在凝固过程中晶粒以随机的方向生长，搅拌作用促进了非均匀形核形成方向交错的等轴晶组织。这些等轴晶的生长方向没有明显的规律性，各个方向均有分布。

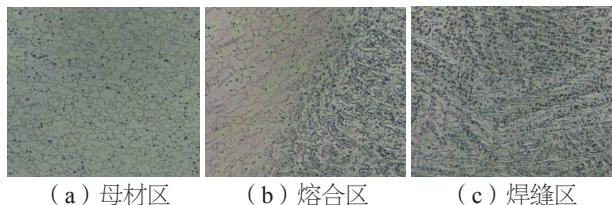


图 1.2 焊接接头组织图 500×

### 2.3.3 焊接接头化学成分分布

采用 SEM 扫描电镜 + 能谱 (EDS) 对母材区、熔合区及焊缝区开展成分扫描及分析。

母材区：如图 1.3 (a) 所示，母材区主要是  $\alpha$ -Mg 基体。图中出现有亮点，其大小不一，形状不定，在晶界以及晶内均有分布。从元素分布来看，Zn 元素分布均较为均匀，Al 及 Mn 元素整体分布均匀，但是在局部几个点出有一定的聚集，且聚集处均在亮点处，因此可以认为亮点处应当是 Al-Mn 相。通过分层面扫总数谱图结果表明，Mg、Al、Mn、Zn 的原子比为 95.67:3.69: 0.28:0.36，在母材材料的成分范围内。

熔合区：如图 1.3 (b) 所示，从元素分布来看，Al 元素在熔合线处较其它区域相比有一定的增多，Mg、Zn 及 Mn 元素整体分布均匀无明显聚集。在熔合区晶界上点扫发现，Mg、Al、Mn、Zn 的原子比为 55.59: 34.00: 9.38: 1.03，元素原子比发生较大的变化，Mn、Al 元素含量明显提升；而晶界上 Mg、Al、Mn、Zn 的原子比为 95.61:3.77:0.10:0.52，与母材材料成分接近。

焊缝区：如图 1.3 (c) 所示，在焊缝区可以看到组织类似于无规律的分布，在晶界处有白色亮点或线状分布。在母材中出现的亮点 (Al-Mn 相) 消失，Al、Mg、Mn、Zn 元素整体分布均匀，这是由于高频振荡作用对焊缝区进行搅拌，各类元素在凝固前被打散。通过分层面扫总数谱图结果表明，Mg、Al、Mn、Zn 元素的原子比为 95.43:3.86:0.30:0.41，Al 元素含量略高于母材。对晶界处进行点扫发现，Mg、Al、Mn、Zn 元素的原子比为 92.51:6.66:0.21:0.62，Al 元素在晶界上的含量高于母材材料的成分，因此在晶界处 Al 元素仍有聚集倾向。

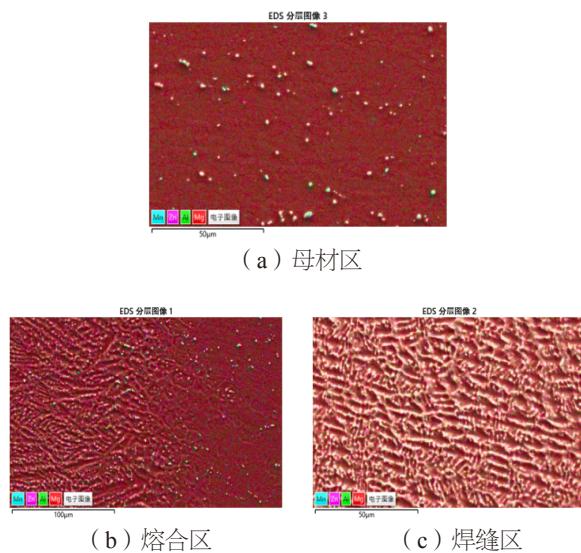


图 1.3 焊接接头 SEM-EDS 图像

### 3 镁合金振镜激光焊气孔问题分析

#### 3.1 焊缝气孔特征

对镁合金振镜激光焊的试验中发现,在焊接接头焊缝区存在气孔。气孔形态主要为椭圆形和不规则空穴状。从气孔在焊接接头中的分布位置来看,气孔主要出现在焊缝中心区域(如图1.1(b)所示),根据气孔的形状推断出图1.4(a)中是氢气孔,通过尺寸测量直径约为10 μm;而图1.4(b)中是匙孔,其形状不规则,从外观上看类似于坍塌状,通过尺寸测量直径约为20 μm。相较于传统激光焊接,振镜激光焊制得的焊接接头中气孔数量较小及尺寸较小<sup>[2]</sup>。

#### 3.2 气孔形成机理分析

氢气孔产生的原因:在焊接过程中母材及焊丝表面吸附的水汽在焊接过程中带入熔池中,水汽在高温下分解为氢原子和氧原子并有一部分溶解在熔池中,随着焊接过程的推移,镁合金焊接接头熔池因为导热率快的原因,快速由液态逐步转变为固态,但镁合金密度非常低,因此其对H原子的排斥能力较弱,氢原子来不及逃逸就聚集形成氢气孔。

空穴产生的原因:在振镜激光焊接过程,高能量的激光束就向高压水枪冲洗的水池一样,会将金属熔池冲击向下坍塌、回卷,熔化的金属汽化形成金属蒸汽不断排开液态金属,当空穴内部与外部压力平衡时,熔池凝固后就形成空穴。

#### 3.3 镁合金振镜激光焊气孔防止措施

氢气孔及空穴的的防止措施:①焊前保温预热:焊前对母材及焊材低温烘烤保温,使其表面的水汽充分散去;②焊前去氧化膜:焊接前采用钢丝球、锉刀等对待焊处进行清理;③合适的工艺参数:本试验采用的1884HZ振荡频率过高,热源的作用时间过短,空穴来不及充分暴露,采用合适的工艺参数(振荡参数、焊接电流、振荡幅度、保护措施)

对气孔的产生有较大的影响。

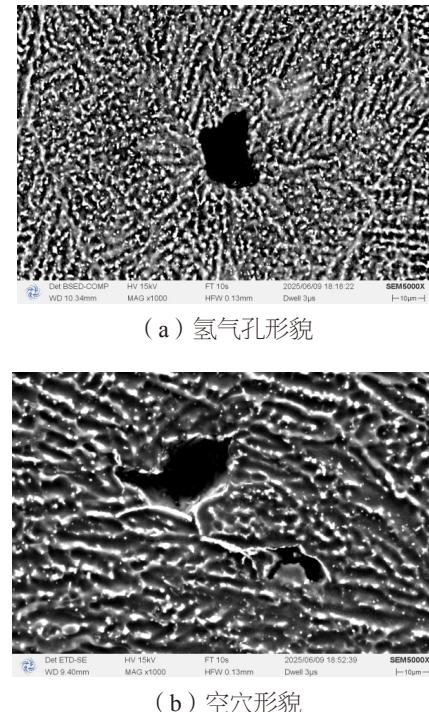


图 1.4 气孔形态特征 5000 ×

### 4 结语

本文以变形镁合金AZ31B薄板材料为研究对象,采用振镜激光焊方法,围绕焊接过程中气孔的产生原因、影响因素及防止措施。得出的结论如下:

采用振镜激光焊焊接变形镁合金AZ31B薄板,在理想试验参数下得到的接头肉眼观察下焊缝表面及背面连续、均匀,无可视裂纹和气孔。对接头试样进行剖面高倍显微镜观察,焊缝及热影响区窄均很窄,熔合区晶界Al元素有较大的聚集,焊缝组织为细小的等轴晶组织,焊缝区无明显的偏向聚集倾向。观察发现在该焊接条件下得到的AZ31B焊缝内部有气孔存在,未发现裂纹存在。

AZ31B中焊缝中的气孔均分散存在,气孔大多出现在焊缝中心区域。气孔呈圆形,也有少数不规则空穴,气孔内壁光滑,呈现出氢气孔的特征,观察到匙孔引起的气孔。分析认为,激光焊中气孔主要是氢气孔和匙孔空穴,振镜激光焊的振荡作用对匙孔的出现有一定的影响。

### 参考文献

- [1] 邓玉勇, 朱江, 李立. 新型金属材料镁合金的发展前景分析[J]. 化工技术经济, 2002 (8), 20 (4): 9-13.
- [2] 邓彩萍. 镁合金薄板激光焊气孔及裂纹形成机理研究[D]. 硕士学位论文. 重庆: 重庆大学, 2010 (5): 20-21.