

金属激光振镜扫描焊接工艺研究

杨科林, 张森, 胡超, 郭景文, 赵奎波, 杜明怡

陕西理工大学 陕西汉中 724000

摘要: 针对动力锂电池导电转接片焊接工艺要求, 采用激光扫描振镜对电池盖板和转接片进行焊接, 通过调整不同焊接参数, 对导电转接片正负极不同金属的焊缝外观和焊接熔池的宽度、深度进行观察分析。结果表明: 正极铝合金在焊接功率为2400W时、负极铜在焊接功率为5100W时, 焊接结果都能满足设计要求。振镜摆动焊缝宽度由2mm逐步增加至4mm过程中, 焊接质量都能满足设定值。随着振镜摆幅的变大, 金属铜和铝合金焊接熔池的熔宽也随之增大, 熔深同比略有减小, 但是总体还是比较稳定; 表明在焊接功率、焊接速度等不变的情况下, 增加摆幅可提高导电转接片的有效过流面积。

关键词: 激光焊接; 振镜; 熔深熔宽

DOI:10.16173/j.cnki.ame.2025.05.011

动力电池是新能源汽车的核心零部件之一, 其占据整车成本的近40%, 重要性堪比汽车的“心脏”, 在“双碳”目标驱动的产业变革中, 动力电池的性能直接决定新能源汽车的市场核心竞争力^[1, 2]。

目前动力电池盖板与导电连接片的主要连接方式是采用激光焊接, 许多场合要求锂电池具有大倍率的放电能力, 这就要求激光焊接面积能满足大倍率放电的过流面积要求。随着工艺技术发展, 电池能量密度的逐步提高, 要求导电连接片尺寸相对较小, 激光焊接的区域也随着变小。传统激光焊接采用准直头, 其焊缝面积较窄, 需要焊接多条焊缝才能满足过流面积要求, 多条焊缝容易导致焊接空间避让不足, 使激

光焊线偏移至转接片边缘位置, 引起虚焊或者过流能力不足。同时, 不同焊缝之间还需要有足够大的间距以免焊缝重叠产生的焊接爆点, 因此需要寻找新的焊接方式来增加焊缝的过流面积。

激光振镜扫描焊原理

激光焊接是利用高能量密度的激光束作为热源, 通过高能量密度的激光使金属局部融化, 形成有效的熔池从而将金属焊接在一起。激光焊接技术具有热输入量少、熔池深宽比大、热影响区小、操作连续性和可重复性以及容易实现自动化等特点, 因此适用于很多行业^[3]。激光器出光通常采用准直头和振镜这两种方

文章参与项目:

- 陕西省大学生创新训练项目, 《铜铝异种金属激光焊接研究》(项目编号: S202410720092)。
- 陕西省大学生创新训练项目, 《四机驱动双质体振动系统数学建模》(项目编号: S202310720065)。

式,振镜具有响应速度快、定位精准的特点,若激光焊接设备采用振镜扫描,其焊接的精度、速度、效率及灵活性等方面也将会大大提高^[4, 5]。

振镜扫描系统主要由振镜和场镜组成,是一种操作性能良好的矢量扫描元器件^[6],其操作方式是通过电动机的旋转带动振镜角度的摆动。基本原理是通电线圈在磁场中产生力矩,但与旋转电动机不同,其转子上通过机械扭簧或电子的方法加有复位力矩,大小与转子偏离平衡位置的角度成正比。当线圈通以一定的电流而转子发生偏转到一定的角度时,电磁力矩与回复力矩大小相等,因此旋转电动机不能像普通电动机一样旋转,只能产生一定角度的偏转,其偏转角与电流成正比。基于振镜扫描式的激光焊接的工作原理是将激光束入射到两组反射镜(振镜)上,这两个反射镜可分别沿X、Y轴旋转扫描,通过计算机控制反射镜的反射角度,实现激光束的偏转^[7],使具有一定功率密度的激光聚焦光斑在加工材料上按所需的要求运动,从而达到焊接加工的目的,振镜扫描焊接原理如图1所示。

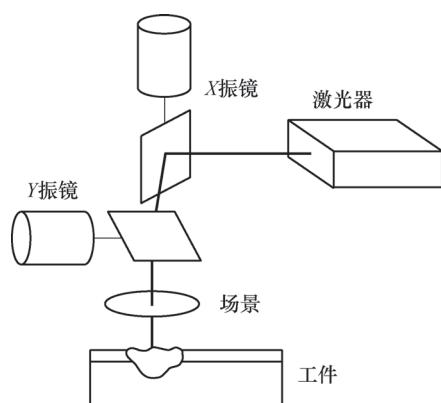


图1 振镜工作原理

实验条件及方法

1.实验设备及材料

本实验焊接设备采用IPG激光振镜扫描焊接机,激光器最大输出功率为6000W。激光焊接样品选用8个动力电池盖板及16导电转接片,正极为6061系列铝合

金,化学成分组成见表1^[8];负极为金属铜,其中电池导电转接片厚为1mm,为保证焊接质量在焊接前彻底去除焊接材质表面的油污和氧化膜。

2.实验方法

1) 实验采用控制变量法,通过设置2mm、2.4mm、3mm及4mm的焊接宽度,观察铝合金和金属铜激光振镜扫描焊接焊缝的外观质量,探索激光振镜扫描焊接的振镜扫描的摆动范围及焊接效果。

2) 铝合金激光振镜扫描焊接采用焊接功率2400W、焊接速度350mm/min、离焦量0.9,振镜摆幅分别设置为1.0mm、1.2mm、1.5mm及2.0mm,观察焊缝熔池的熔深熔宽尺寸,研究激光振镜摆幅对铝合金的焊接质量影响规律。

3) 金属铜激光振镜扫描焊接采用焊接功率5100W、焊接速度350mm/min、离焦量0.9,振镜摆幅分别设置为1.0mm、1.2mm、1.5mm及2.0mm,观察焊缝熔池的熔深熔宽尺寸,研究激光振镜摆幅对铜的焊接质量影响规律。

实验结果与讨论

1.焊接外观

焊接外观是焊接质量最直接的表现形式,焊接外观质量可以直观的表现出工艺参数的有效与否,焊接面积决定了导电转接片的过流量,在焊接长度一定的情况下,焊缝越宽导电片的有效过流量也就越大。通过设置不同的焊接宽度,可以测试激光器振镜的有效摆动范围,为激光振镜扫描焊接工艺参数优化提供一定的参考依据,铝合金与铜不同宽度焊缝焊接质量如图2和图3所示。

观察分析可得:铝合金和铜两种金属导电转接片采用激光扫描焊接,不同宽度的焊缝焊接外观质量目测良好。焊缝平整光滑,无断焊、爆点等情况出现,表明激光振镜扫描焊接工艺满足焊接外观质量控制要求。

表1 6061铝合金的化学成分组成

(质量分数 w_i : %)

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Al
0.4~0.8	≤0.7	0.15~0.4	≤0.15	0.8~1.2	0.04~0.8	≤0.05	≤0.25	Bal

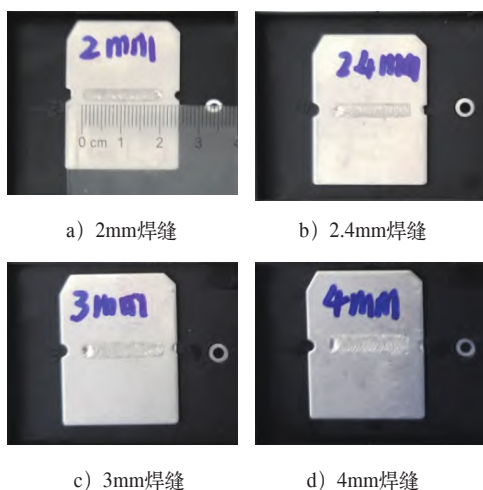


图2 铝合金激光振镜扫描焊接外观

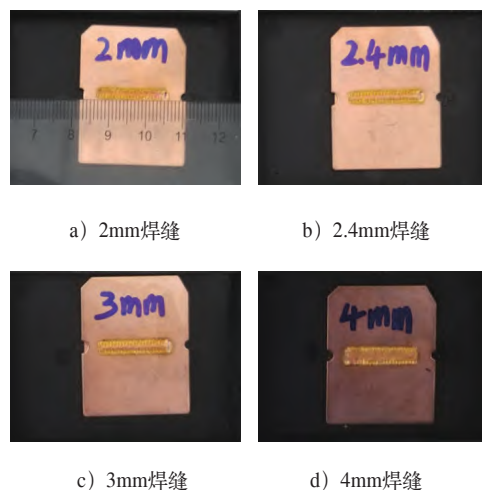


图3 金属铜激光振镜扫描焊接外观

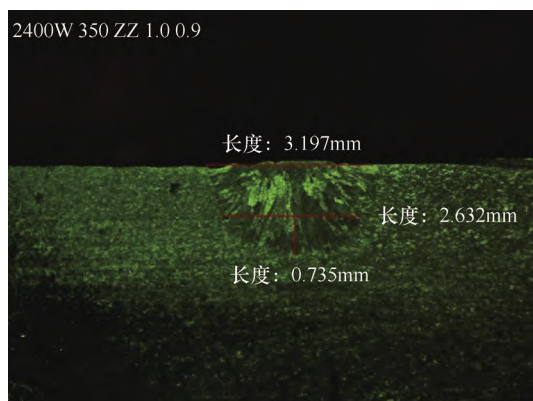
2.金相结果

在显微镜下可以观察金属的微观焊接质量，通过测量焊缝的熔池尺寸，分析焊接质量是否满足焊接工艺设计标准，同时可以观察焊缝内部是否出现气孔、爆点等焊接缺陷。铝合金的激光扫描焊接金相结果如

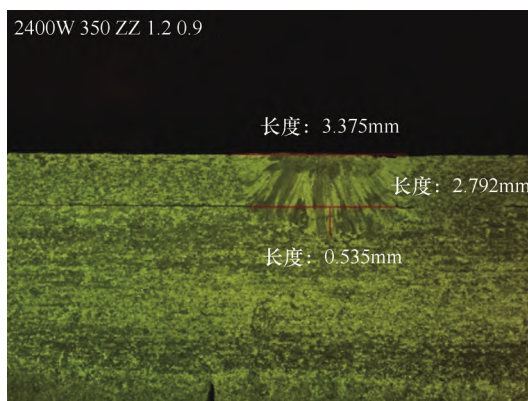
图4所示，金属铜的激光扫描焊接金相结果如图5所示。

对比不同摆幅铝合金和铜的焊接熔深熔宽，如图6所示，分析可得：

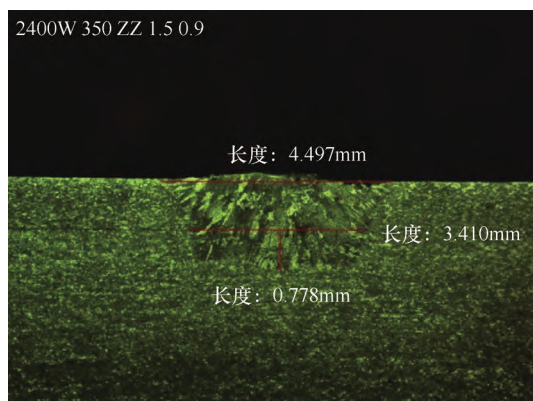
1) 振镜摆幅在1.0~2.0mm，铝合金和铜两种金属



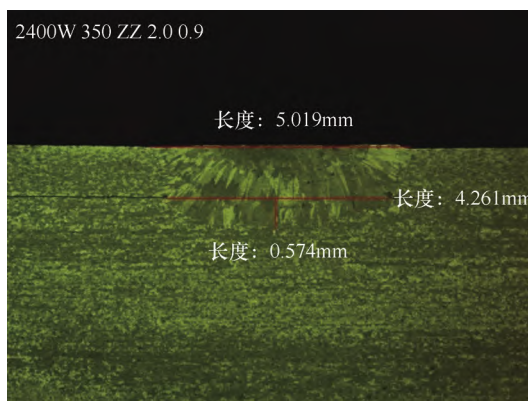
a) 摆幅1.0mm



b) 摆幅1.2mm



c) 摆幅1.5mm



d) 摆幅2.0mm

图4 不同摆幅铝合金焊接金相结果



图5 不同摆幅金属铜焊接金相结果

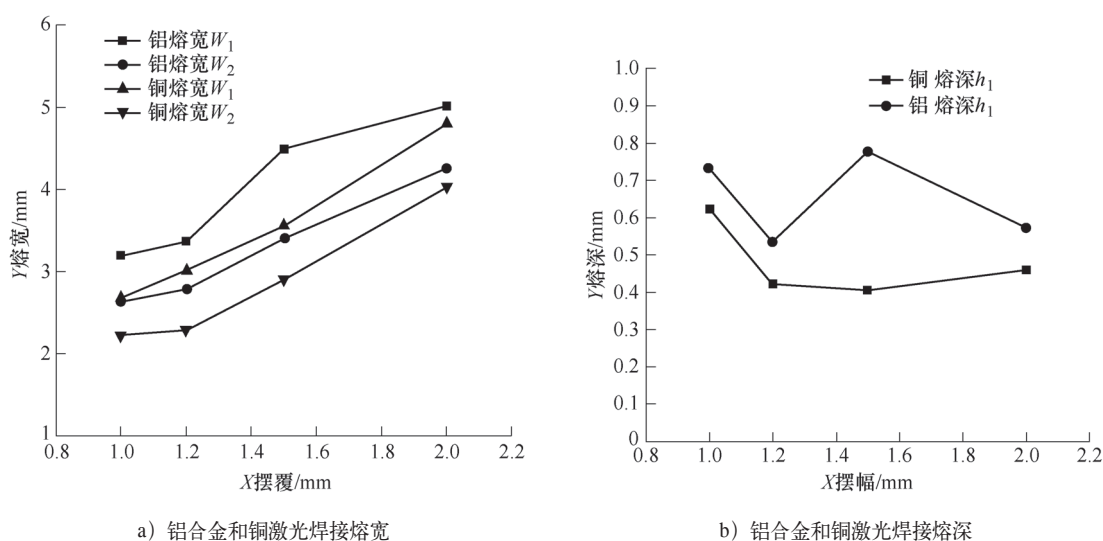


图6 不同摆幅铝合金和铜的焊接熔深熔宽

材质导电转接片激光振镜扫描焊接的熔池效果良好，未出现气孔、爆点等焊接缺陷。

2) 随着振镜摆幅的变大，金属铜和铝合金焊接熔

池的熔宽也随之增大，表明通过增大摆幅可以有效地增加熔池的熔宽，该方法可提高导电转接片的有效过流面积。

(下转第47页)

两种安装方式试验结果相对比：在两种不同试验方法下，两种试验的试验结果平均数相差0.0067，证明样品在这两种试验方式下做耐久试验，对于高压密封性试验结果并无影响。

结语

通过工作耐久试验数据显示，实车制动器总成装配和标准规定夹具装配试验方式对试验结果并不会造成影响。

首先，从试验方法的科学性而言，两种试验方法都是基于合理的科学原理，制动轮缸在做工作耐久试验时，最好的工作状态就是实车工作状态，这样才更能贴合实际应用。

其次，在试验设计过程中，样品选择的是市场成熟产品生产企业生产的同一批产品，尽可能缩小了产品差异，试验前的密封性试验结果也证明了样品的一

致性非常好。在控制变量阶段除了试验夹具不同外，所有试验均在同一条件下进行，保证了试验过程的一致性。

最后，试验设备、各传感器都在校准有效期内，且精度范围大，试验结果可重复性强。

按QC/T 77-2015《汽车液压制动轮缸技术要求及台架试验方法》执行试验时，推荐使用实车装配，在不影响试验结果的前提下，实车装配的安装方式能节省大量的试验时间和试验成本。

参考文献：

- [1] 庞剑, 湛刚, 何华. 汽车噪声与振动: 理论与应用 [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2006.
- [2] Zhuravlev V P, KLIMOV D M. The Causes of the Shimmy Phenomenon[J]. Doklady Physics, 2009, 54 (10) : 475-478. **AUTO1950**
- [3] 杨彪, 刘福运, 檀财旺, 等. 动力电池激光焊接技术的应用现状与展望[J]. 焊接, 2022 (9) : 1-9.
- [4] 陶汪, 陈彦宾, 李俐群, 等. 304不锈钢激光点焊工艺研究[J]. 应用激光, 2005 (4) : 233-236.
- [5] 黄冬林. 基于振镜扫描的激光焊接技术研究[D]. 华南理工大学, 2010.
- [6] 师文庆. 振镜扫描式激光点焊技术中扫描路径的优化[J]. 应用激光, 2008 (4) : 332-335.
- [7] 谢树茂, 雷广玉, 郑绍唐. 聚焦强激光束大气传输的数值模拟[J]. 强激光与粒子束, 1996 (3) : 407-412.
- [8] 闫胜鸿. 铝/铜异种金属激光焊接技术研究[D]. 长春理工大学, 2020. DOI:10.26977/d.cnki.gccgc.2020.000722. **AUTO1950**

(上接第43页)

3) 随着振镜摆幅的变大，金属铜和铝合金焊接熔池的熔深略微少有降低，但是总体还是比较稳定，表明在焊接功率、焊接速度不变的情况下，增加摆幅对焊缝熔池熔深的影响不大。

结语

激光扫描焊接铝合金和铜两种金属导电转接片，焊缝宽度在2~4mm焊接外观质量目测良好，焊缝平整光滑，无断焊、爆点、气孔等焊接缺陷出现，表明激光振镜扫描焊接工艺满足焊接外观质量控制要求。

同样情况下随着振镜摆幅的变大，金属铜和铝合金焊接熔池的熔宽也随之增大，熔深同比略有减小，但是总体还是比较稳定；表明在焊接功率、焊接速度不变的情况下，增加摆幅可提高导电转接片的有效过流面积。

激光振镜扫描焊接相比于传统激光准直头焊接方式，在不改变焊接工艺和焊接装置的情况下，可以有效地增大焊缝宽度，相比传统工艺可以提高生产效率，提升设备产能。

参考文献：

- [1] 杨忠阳, 刘瑾. 动力电池产业调查[N]. 经济日