# 红外探测器组件激光封口技术研究

孙 闻 俞 君 沈一璋 朱三根 王小坤 (中国科学院上海技术物理研究所传感技术国家重点实验室,上海 200083)

**摘 要:**高气密激光封口技术是一种可用于金属管壳的封装技术。它能在高真空环境 中使开有小孔的管壳器件实现封口密封,从而使排气工艺与封口工艺同步完成。针对 微型管壳的结构和材料特点,研究了激光焊接设备的电流和脉宽与焊接能量的关系以 及电流、脉宽和离焦量对封口质量的影响,得到了柯伐材料的激光封口参数,并将这 些工艺参数应用到了红外探测器金属管壳的激光焊接中。测试结果表明,其漏率均优 于1×10<sup>-10</sup>Torr·l/s。

关键词:管壳;激光焊接;气密性

中图分类号: TN214 文献标识码: A DOI: 10.3969/j.issn.1672-8785.2010.09.005

# Research on Laser Welding Technology of Infrared Detector Assembly

SUN Wen, YU Jun, SHEN Yi-zhang, ZHU San-gen, WANG Xiao-kun

(State Key Laberatory of Transducer Technology,

Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China)

**Abstract:** Highly hermetical laser sealing is a packaging technology which can be used for metal packages. It can achieve the sealing of a small hole of the metal package containing an infrared detector in a high vacuum environment. Thus, both the exhaust process and the sealing process of the infrared detector assembly can be finished at the same time. According to the structure and material of a micro package, the relation of the current and pulse width of a laser welding equipment to welding energy and the influence of the current, pulse width and defocusing distance on welding quality are analyzed. Proper laser welding parameters are obtained for Kovar materials. With those parameters, the laser sealing of a hole of the metal package containing an infrared detector is achieved. The test result shows that its leak rate is better than  $1 \times 10^{-10}$ Torr  $\cdot 1/s$ .

Key words: package; laser welding; air tightness

## 1 引言

红外探测器芯片需要在低温和高真空的环 境下工作。人们一般是将红外探测器芯片封装 在管壳组件中,并通过制冷装置及排气工艺为 其提供低温和高真空工作环境的。在排气工艺 中,排气口封口技术是关系到管壳气密性的关

**收稿日期:** 2010-03-30

**基金项目:**上海技物所三期创新 C2-41 资助项目

键技术,对管壳组件的真空寿命具有重要影响。

影响管壳组件真空寿命的最主要因素是管 壳的气密性。随着真空管壳技术的发展,人们对 管壳的真空封口技术也提出了更高的要求。传统 的封口方法为冷剪封口技术,该方法需要先将 一根用于排气的铜管钎焊在管壳上,待排气工作

作者简介: 孙闻(1987-),男,上海人,研究实习员,主要从事红外探测器组件封装技术的研究。E-mail: jacksun wen@yahoo.cn

INFRARED (MONTHLY)/VOL.31, NO.9, SEP 2010

结束后再用夹封钳进行夹封,从而完成管壳的 封口步骤。此种方法的缺点是需要在管壳封装 中引入多道工艺步骤。激光焊接机则是一种新 的封口方法,可以替代传统的封口方法。

用激光焊接机对管壳壳体表面的排气小孔 进行激光焊接从而实现封口的方法,是一种新 兴的管壳封口方法。激光焊接主要是针对薄壁 材料和精密零件的焊接,可实现点焊、对接焊、 叠焊和密封焊等<sup>[1]</sup>。由于激光焊接具有功率密 度高、速度快、焊斑细小、热变形小和精度高等 优点,而且其不需要填充焊料(焊点是由被焊金 属表面相互结合而成)<sup>[2]</sup>,它同样可以用来对薄 壁材料上的微小孔洞进行封口焊接。因此,激光 封口是管壳的理想封口工艺。激光焊接封口的 参数主要有:功率密度、激光脉冲宽度、激光出 光频率、离焦量、保护气体种类选择、保护气体 流量和焊接速度等<sup>[3]</sup>。

本文通过研究激光器参数与输出能量的关 系以及焊接参数对封口质量的影响,得到了管 壳组件高气密性激光封口的工艺参数,并将这些 工艺参数应用到了红外探测器组件管壳的激光 焊接工艺中。

2 焊接参数对焊斑尺寸的影响研究

#### 2.1 激光器参数与输出能量的关系

在进行正式封口实验前,我们需要根据选 用金属的光学性质(如反射和吸收)和热学性质 (如熔点、热传导率、热扩散率、熔化潜热等)来 决定激光器的激光输出功率密度和脉宽等。为 了避免焊接时产生金属飞溅或陷坑现象,需要控 制激光功率密度,使金属表面温度维持在沸点 附近。控制功率密度可以保证焊接过程中薄壁 的任何部位不出现汽化现象,但其值应大于表面 达到熔点所需要的功率密度,而小于材料表面 达到沸点时所需要的功率密度<sup>[4]</sup>。本次实验所 用的管壳材料为柯伐材料,采用的设备为武汉 楚天公司生产的JHM-1GY-300B型焊接设备。 该焊接设备中的激光器的可调参数有电流、频 率和脉宽。其中决定激光器单脉冲输出能量的 参数有电流和脉宽。我们是利用能量计来测量其 在不同电流和脉宽组合条件下的激光输出能量 大小的。

(1) 如图 1 所示,在电流不变的情况下,激 光器的输出能量与脉宽大小近似呈线性关系。

(2) 如图 2 所示,在脉宽一定的情况下,随 着电流的增加,激光器的输出能量明显增加。

因此,电流的增加对本激光器设备输出能 量的增加具有显著的效果。





#### 2.2 激光焊接参数对焊斑尺寸的影响

在进行激光焊接时,除了电流和脉宽以外, 离焦量和频率等参数对焊接封口的质量也具有 很大的影响。对于激光封口,焊斑宽度与焊斑深 度是首先要考虑的两个因素。焊斑大可以保证完 全覆盖小孔,使激光能量将小孔周边材料熔化; 焊斑深则可以保证达到较好的封口质量和较好 的密封效果。

2.2.1 电流和脉宽对焊斑宽度的影响

实验中,激光器的焊接焦距为 100mm,离 焦量为 0mm。图 3 和图 4 所示分别为电流与脉

http://journal.sitp.ac.cn/hw

宽对焊斑宽度的影响。从图中可以看出,电流对 焊斑宽度的影响要比脉宽更加明显,也就是说 通过增加电流值更容易得到较大的焊斑宽度。



2.2.2 电流和脉宽对焊斑深度的影响

实验中选取的焊接焦距和离焦量同上,拼 缝间隙为 0.02mm ~ 0.05mm。如图 5 所示,电流 的增加对焊斑深度的影响很小,而脉宽对焊斑 深度的影响比较大。也就是说,通过增加脉宽更 容易得到较大的焊斑深度。



#### 2.2.3 离焦量对焊斑宽度的影响

激光是方向性很好的光,但并非平行光,它 在平面上的能量分布为高斯函数。脉冲激光焊

Infrared (monthly)/Vol.31, No.9, Sep 2010

接通常需要一定的离焦量,因为激光焦点处光 斑中心的功率密度过高,容易引起蒸发成孔。在 离开激光焦点的各平面上,光斑的能量分布相对 均匀。因此,人们在实际焊接时总要选取一定的 离焦量。离焦分正离焦和负离焦两种。正离焦是 指焊缝在远离焦点的上方;反之为负离焦<sup>[5]</sup>。

我们可通过改变离焦量来研究其对焊斑宽 度的影响。如图 6 所示,当离开焦点相同的量 时,正离焦状态下的焊斑宽度要比负离焦状态下 的小。因此,当需要较大的熔深时,可选用负离 焦,而当焊接薄壁件时,则应选用正离焦<sup>[6]</sup>。



- 图 6 焊斑直径随离焦量的变化曲线
- 3 管壳激光封口实验

### 3.1 常压下的管壳激光封口实验

实验中使用的激光装置为武汉楚天公司生产的 JHM-1GY-300B 型焊接设备。如图 7 所示, 先将需要焊接的管壳密封在高真空腔体内,通 过排气口将腔体抽真空,然后由激光器透过腔体 玻璃窗口对内部管壳进行焊接。实验材料为柯 伐圆片(为了便于实验,采用柯伐圆片代替管壳 组件,其排气小孔尺寸与管壳组件上的一致), 其厚度为 2mm,排气小孔的直径为 0.5mm。



http://journal.sitp.ac.cn/hw

根据上述激光焊接机的各参数对焊接效果 的影响,并结合排气小孔尺寸,通过不断改变实 验参数,最终成功完成了常压环境下的封口实 验。图 8 为封口前的小孔状态,图 9 为小孔成功 封口后的状态。常压下成功实现封口时所用的激 光器参数为:电流为双丝 205A,脉宽为 15ms, 频率为 2Hz,离焦量为正离焦 15mm。



图 8 封口前柯伐材料上的小孔状态



图 9 封口后柯伐材料上的小孔状态

需要说明的是,封口实验的过程是漫长的。 当设置的激光器参数不能实现封口时,激光只 能熔化小孔周边材料。图 10 为反复实验中未封 口的小孔状态。导致封口实验失败的因素有很 多,下面给出几个主要的影响因素。由于用不同 参数的激光焊接无效时小孔的封口状态基本没 有变化,所以很难找到激光参数对封口效果的 影响规律,只能通过反复实验来选择合适的参 数。根据激光焊接参数对焊斑尺寸有影响的研究 结论,经过反复实验,我们确定了合适的参数, 最终在常压环境下对柯伐材料上的小孔成功地 进行了封口。常压环境下小孔的成功封口为在高 真空环境下实现柯伐材料上小孔的封口打下了 基础。经过多次实验证明,采用该激光器参数可

http://journal.sitp.ac.cn/hw

以有效地完成小孔封口。图 11 所示为多次成功 封口的照片。



图 10 封口失败时的小孔状态



图 11 多次成功封口的实验照片

在实验过程中,我们发现离焦量的选取对 封口效果的影响非常大,而且在负离焦状态下 基本不能完成封口。经过研究分析,我们对这一 现象的形成原因给出了以下解释:

如图 12 所示,在负离焦状态下,激光器形成的光束在照射至小孔时为会聚状态,绝大部分激光光线直接从小孔中穿过,只有很少一部分激光照射到焊接材料上,造成能量大量流失,从而导致激光焊接封口无法完成。



INFRARED (MONTHLY)/VOL.31, NO.9, SEP 2010

如图 13 所示,在正离焦状态下,激光器形成的光束已经会聚在小孔上方,当它照射至小孔时便处于发散状态,所以绝大部分激光光线能照射到焊接材料上,因此在正离焦状态下比较容易完成焊接封口。



## 3.2 高真空下的管壳激光封口实验

本实验的目的是要在高真空环境下(真空度 优于1.0×10<sup>-3</sup>Pa)完成封口,实验装置和柯伐圆 片材料与常压下封口实验所用的一致,如图7所 示。将整套装置置于高真空环境后,先使用常压 下成功封口时的激光器参数值进行实验。结果 实验失败。这说明常压下的激光封口参数并不 适用于高真空环境下的激光封口。我们对在只 改变环境气压的情况下无法正常完成激光封口 的原因进行了分析。

实验表明,被激光加热 50µs ~ 200µs 后,材 料开始熔化,形成液相金属并出现部分汽化,形 成高压蒸汽,并以极高的速度喷射,发出耀眼的 白光<sup>[7]</sup>。当在常压环境下进行封口时,材料受 激光光束照射后会因温度升高而熔化,有一部分 甚至会汽化并形成高压蒸汽。在常压下,高压蒸 汽会向外喷射,同时环境中的气体会对熔融状 态下的材料产生反作用力,将熔融状金属材料 向下推挤,从而使得金属材料能够熔合并将小 孔封住。在真空环境下,由于焊接环境中的气体 稀薄,产生的金属蒸汽马上就会扩散,不能形成 足够的反作用力,因此无法将熔融状态下的金 属材料推挤熔合到一起,导致封口实验失败。

经过以上分析,并结合焊接参数对焊斑尺 寸影响的研究结果,我们增加了激光焊接机的

Infrared (monthly)/Vol.31, No.9, Sep 2010

真空下成功实现封口所采用的激光器参数为: 电流为双丝 210A,脉宽为 20ms,频率为 4Hz, 离焦量为正离焦 15mm。

我们将管壳组件替代柯伐圆片后进行了上述实验。在采用以上激光器参数时,同样成功实现了激光封口,并由此得到了高真空环境下对2mm厚的柯伐材料上直径为0.5mm小孔应采用的激光封口参数。经过封口检验,管壳组件的漏率小于1×10<sup>-10</sup> Torr·l/s,符合管壳组件的真空设计要求。

4 结论

从实验中我们发现,在激光焊接的各个参数中,离焦量的选取对激光封口具有较大的影响,同时稀薄的真空气体对激光封口也有较大的影响。前期获得的焊接参数对焊斑尺寸影响的研究结果对封口实验中激光器的参数设置起到了很好的指导作用。通过研究激光器参数对焊接效果的影响,我们掌握了不同激光器参数所产生的焊接效果,最终成功完成了高真空环境下管壳器件激光封口的研究。

#### 参考文献

- [1] 杨春燕. 激光焊接技术的应用与发展 [J]. **西安航空** 技术高等专科学校学报, 2008, **26**(5): 18-20.
- [2] 方鸣岗. 激光焊接钛金属 [J]. 激光与红外, 1996, **26**(3): 185-186.
- [3] 乐子玲,梁坤. 微型金属杜瓦的激光焊接技术 [J]. 低温与超导, 1997, 25(1): 13-16.
- [4] 张柏忠.自动控制技术在不锈钢激光焊接中的应用
  [J].科学大众·科学教育, 2009 (7): 148-149.
- [5] 史晓强.激光焊接合金钢的实验研究 [J]. 实验室研 究与探索, 1997, 16(5): 51–53.
- [6] 陆斌峰, 芦凤桂, 唐新华, 等. 激光焊接工艺的现 状与发展 [J]. **焊接**, 2008, **52**(4): 53-57.
- [7] 翟晓莉, 付魁军, 吕冬, 等. 激光焊接技术研究 [J]. 鞍钢技术, 2007, 44(5): 15-18.

http://journal.sitp.ac.cn/hw