

文章编号: 1672-8785(2020)03-0028-05

## 激光抛光技术在红外探测器组件封装中的应用探索

方志浩 付志凯 张 磊 李胜杰 孙亚京

(华北光电技术研究所, 北京 100015)

**摘 要:** 目前红外探测器杜瓦封装中激光焊焊缝的粗糙度大, 探测器组件在长时间使用过程中杜瓦焊缝强度和内部真空度欠佳, 进而影响探测器寿命和使用性能。为解决这些问题, 提出将激光抛光技术应用于杜瓦部件激光焊焊缝的抛光处理中。通过实验研究了主要参数对抛光质量的影响规律, 并利用激光共聚焦显微镜等设备测试了激光抛光结果。结果表明, 激光抛光技术可使激光焊焊缝的表面粗糙度  $R_a$  从 0.25 mm 降低到 0.03 mm。这充分证明利用绿色高效、非接触的激光抛光可以实现红外探测器杜瓦组件外表面激光焊焊缝的高质量抛光, 因此在红外探测器制造领域具有重大的潜在应用价值。

**关键词:** 激光抛光; 红外探测器; 激光焊焊缝; 表面质量

**中图分类号:** TG665 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2020.03.004

### Application Exploration of Laser Polishing Technology in Package of Infrared Detector Assembly

FANG Zhi-hao, FU Zhi-kai, ZHANG Lei, LI Sheng-jie, SUN Ya-jing

(North China Research Institute of Electro-Optics, Beijing 100015, China)

**Abstract:** At present, the roughness of the laser welding line of the dewar package of the infrared detector is large. The strength and internal vacuum of the dewar welding line during the long-term use of the detector components are not good, which affects the life and performance of the detector. In order to solve these problems, it is proposed to apply laser polishing technology to the polishing treatment of laser welding line of dewar components. The experiment investigated the influence of main parameters on the polishing quality, and the laser polishing results were tested using the laser confocal microscope. The results show that the laser polishing technology can reduce the surface roughness  $R_a$  of the laser welding line from 0.25 mm to 0.03 mm. This fully proves that the use of green, efficient, non-contact laser polishing can achieve high-quality polishing of the laser welding line of the outer surface of the infrared detector dewar components, which has great potential application value in the field of infrared detector manufacturing.

**Key words:** laser polishing; infrared detector; laser welding line; surface quality

收稿日期: 2020-03-11

作者简介: 方志浩(1994-), 男, 山西忻州人, 硕士生, 助理工程师, 主要从事红外探测器封装结构设计工作。E-mail: f\_zhi\_hao@163.com

## 0 引言

随着红外技术的不断发展, 红外焦平面探测器被广泛应用于医疗、航空航天、大气环境监测以及安防等多个领域。对于在 77 K 深低温环境下工作的制冷型红外焦平面探测器组件来说, 杜瓦是匹配红外芯片与制冷机的关键电真空器件。它对确保芯片可靠性和整机寿命具有重要意义<sup>[1-3]</sup>。

作为一种具有高效、绿色、精确、热输入小、材料适应性强等诸多优点的先进焊接技术, 激光焊接技术已被应用到航空航天、汽车、船舶和电子器件等众多高精尖制造领域<sup>[4-5]</sup>。在红外探测器制造领域, 激光精密焊接已应用于杜瓦冷指、杜瓦外壳、过渡环、引线环、隔热屏和窗座等多种零部件的焊接。由于激光焊接时使用千瓦级脉冲激光, 焊缝区域存在瞬时大量的热输入, 导致焊缝冷却后表面粗糙, 并可能伴有微裂纹。这将降低杜瓦组件的焊缝强度, 也可能导致焊缝位置出现渗漏, 组件内部的真空度下降, 组件寿命缩短。

传统的抛光方法如机械抛光、化学抛光、电解抛光和电化学抛光等<sup>[6-7]</sup>由于自身的各种缺点, 无法对已封装芯片的探测器杜瓦组件的激光焊焊缝进行抛光, 因此开发一种可实现杜瓦组件激光焊焊缝抛光的技术迫在眉睫。

激光抛光技术作为一种新的可获得高光洁度表面的加工方法, 已被世界范围内的专家学者广泛重视和研究<sup>[8-9]</sup>。目前, 针对这项技术的理论研究并不详细。但研究者们基本认为, 该工艺的内在本质是激光加热导致材料表层重熔, 此时粗糙的熔池表面在表面张力和重力的多向作用下峰谷之间的液态金属因流动而重新分配。当激光离开后被重新分配的金属快速凝固, 形成新的平滑表面<sup>[10]</sup>。激光抛光法具有快速高效、绿色环保、零部件和材料适应性强、非接触、微区选区以及可使材料表面增加抗疲劳抗腐蚀性能等多种优势<sup>[11]</sup>。

本文拟采用激光精密抛光技术对已搭载芯片的红外探测器杜瓦结构的激光焊焊缝进行抛

光。通过大量实验和宏微观测试表征来研究焊缝区域的激光抛光效果, 并讨论影响激光抛光质量的主要因素及其对结果的作用规律, 为激光抛光技术在红外探测器制造中的应用开辟道路。

## 1 实验材料与方法

采用现有某型号红外探测器杜瓦组件进行实验, 即对杜瓦冷指和过渡环两部件之间的典型激光焊焊缝进行激光抛光处理。两部件的材料均为机加工后的 TC4 钛合金, 激光焊接设备为德国 Rofin-Sinar 公司的 NEL-2000SM 激光器。

冷指和过渡环在激光焊接前用丙酮溶液在 100 W 功率下超声清洗 10 min, 吹干后更换清洗液, 二次超声清洗 10 min。将清洗吹干后的零件置于真空排气台中, 设置程序, 进行 6 h 高温除气处理。待被除气零件的温度降至室温后, 对两部件进行激光焊接。焊接完成后的部件形状和焊缝形貌如图 1 所示。

为了减少工艺复杂性, 保证生产效率和节约生产成本, 本文中激光抛光工艺所采用的激光器与激光焊工艺所用的激光器相同。该激光的光斑直径约为 1 mm, 最大输出功率为 2000 W。激光抛光时采用离焦 -1 mm 进行加工, 以避免高斯光斑中心能量过高导致表面过度烧蚀, 从而获得更加平滑的焊缝表面。为保证环形焊缝被 100% 抛光, 工作转台完成一道焊缝抛光后将旋转角度设置为 385°, 整个加工过程需旁轴通入氩气以进行抗氧化保护。由于抛光质量是最重要的结果评价指标, 本实验采用基恩士激光共聚焦显微镜对被抛光焊缝区域进行粗糙度值  $R_a$  的测量和微观表面形貌的表征。

激光抛光是一种基于金属表层的快速重熔凝固原理的方法。由文献 [10-11] 可知, 激光抛光的效果主要取决于材料表面接收到的激光能量密度和激光光斑的搭接率。因此, 基于控制变量的实验方法, 本文着重分析上述两个主要因素的变化对激光抛光质量的影响规律。

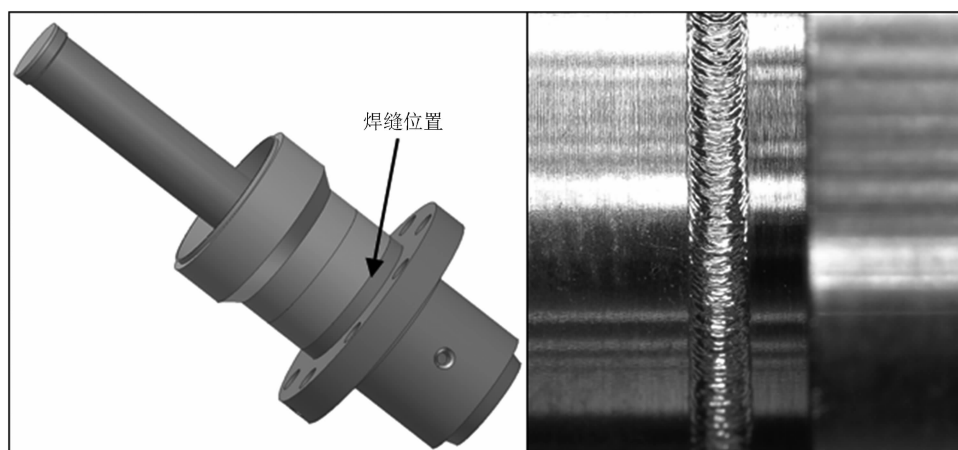


图1 冷指和过渡环的焊缝

## 2 实验结果

### 2.1 激光能量密度对抛光质量的影响

保持激光抛光工艺的其他实验条件不变,只调节激光器输出的激光能量密度,制备不同的抛光区域,并对样品的表面粗糙度进行测量。图2所示为焊缝表面粗糙度随激光能量密度的变化趋势。可以看出,当激光能量密度较低时,抛光后的焊缝粗糙度较大;随着激光能量密度的增大,焊缝表面的粗糙度逐渐降低;当激光能量密度约为  $1.25 \times 10^5 \text{ J}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$  时,抛光质量最佳;继续增加时表面粗糙度不降反升。形成该变化趋势的原因是,当激光能量密度低时,材料吸收的能量不足,无法使原始粗糙表面各处都充分熔化;随着能量密度增至适当值,焊缝表面的高低峰谷全部熔化和流动,使表面粗糙度达到最佳值;继续增加激光能量密度会引起材料吸收的能量过剩,对焊缝表面产生强烈的烧蚀作用,导致表面粗糙度不降反升。

### 2.2 光斑搭接率对抛光质量的影响

保持激光抛光工艺的其他参数不变,抛光质量随激光光斑搭接率的变化趋势如图3所示。可以看出,随着激光光斑搭接率的增大,激光抛光后表面粗糙度先降后升。当光斑搭接率在60%左右时,激光抛光的质量最佳。这是因为当光斑搭接率比较低时,相邻光斑之间存在无法被光斑覆盖的空隙,导致焊缝表面只

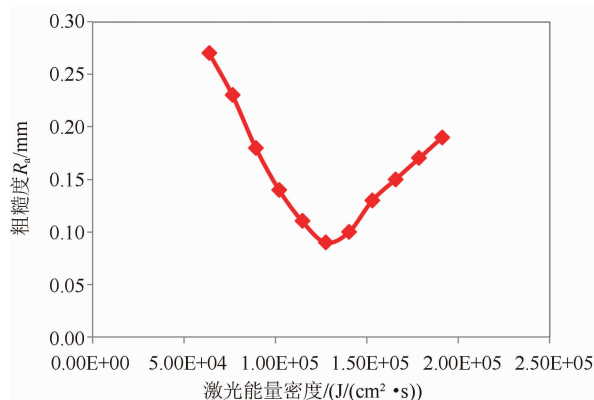


图2 焊缝粗糙度随激光能量密度的变化规律

被局部抛光。随着搭接率的提升,空隙区域越来越少,抛光质量稳步上升,表面粗糙度逐步下降。当搭接率达到最佳值(约60%)后,随着搭接率的进一步增大,两个相邻光斑将过度重合;在过度重合区域,激光能量输入增加,导致抛光效果开始下降。由此可见,本工艺要获得最佳的抛光质量,应将光斑搭接率选在60%左右。

### 2.3 抛光前后的表面形貌对比

通过大量实验优化后得到了最佳抛光工艺参数。制备实物抛光样品,并将其与原始焊缝进行宏微观的表面形貌对比。图4为激光抛光前后的宏观对比图。图5为激光抛光前后三维共聚焦形貌的对比图。激光抛光后,图4(b)中的焊缝区域更加光滑致密,抛光前的鱼鳞形波纹起伏明显被消除,焊缝的外观质量得到了显著提升。图5所示的共聚焦结果直观地展示

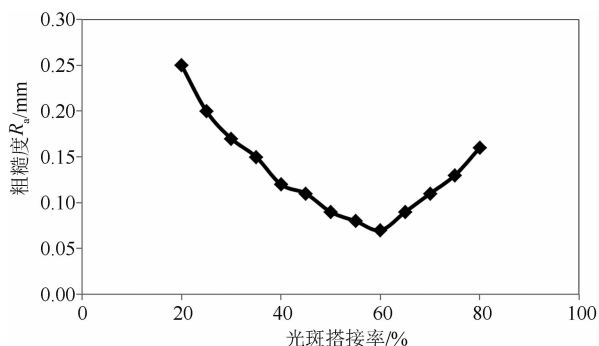


图 3 焊缝粗糙度随激光光斑搭接率的变化规律

了激光抛光前后焊缝微观形貌的明显改善。同时, 通过激光共聚焦设备的软件辅助分析得到, 表面粗糙度  $R_a$  从抛光前约 0.25 mm 降到 0.03 mm 左右, 可见激光抛光将红外探测器杜瓦组件激光焊焊缝的表面质量提升了 8 倍以上。

由廖聪豪等人的研究成果可知, 抛光后的 TC4 钛合金抛光层材料会发生显微组织变化, 表面硬度提升约 32%, 同时由于抛光层金属材料在快速熔化和凝固过程中会导致晶粒细化和宏观表面粗糙度急剧下降, 材料表面的抗腐

蚀性能大幅提升<sup>[10,12]</sup>。通过将激光抛光应用于红外探测器杜瓦组件的激光焊焊缝抛光, 还可以改善高功率激光在焊接过程中产生的局部焊接缺陷。以上这些性能的优化对红外探测器真空杜瓦组件抵抗振动冲击载荷时的强度、对复杂恶劣工作环境的适应性、更长的组件真空保持特性以及产品外观等方面具有重要意义。

### 3 结束语

本文尝试将先进的激光抛光技术引入红外探测器制造领域, 即利用其绿色快速、无接触、无污染的优势实现红外探测器杜瓦结构激光焊焊缝的抛光处理。大量实验研究表明:

(1) 激光抛光后, 焊缝的表面粗糙度随激光能量密度先减小后增大。本工艺中最佳的激光能量密度约为  $1.25 \times 10^5 \text{ J}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$ 。

(2) 激光抛光后, 焊缝的表面粗糙度随光斑搭接率先下降后升高。所得的最佳光斑搭接率约为 60%。

(3) 通过不断优化参数, 最终可实现激光抛光后焊缝的表面粗糙度  $R_a$  从 0.25 mm 降低

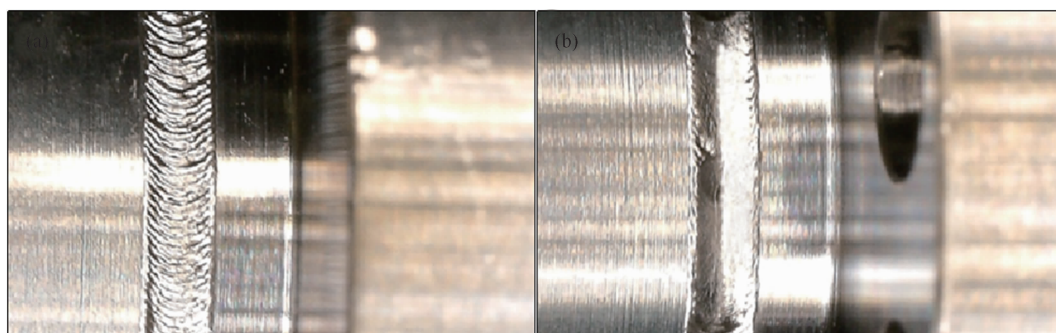


图 4 焊缝表面形貌的宏观对比: (a)激光抛光前; (b)激光抛光后

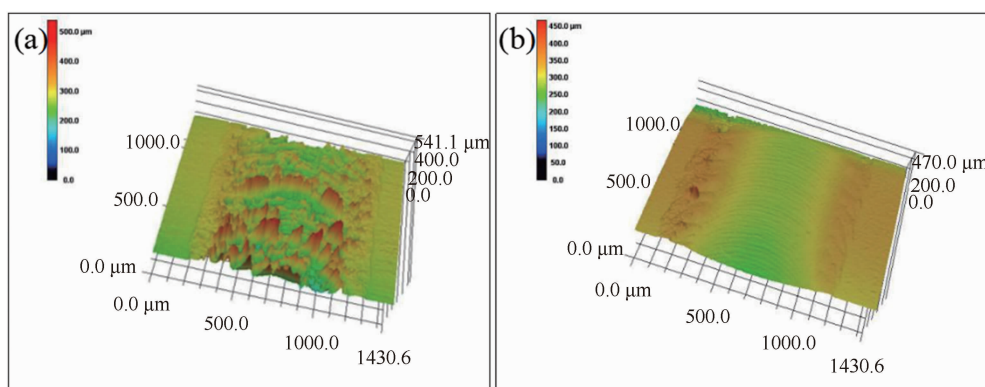


图 5 共聚焦对比: (a)激光抛光前; (b)激光抛光后

到 0.03 mm。由照片对比可见,抛光后表面质量显著提升。

因此,激光抛光技术在红外探测器组件激光焊焊缝的抛光方面具有巨大的潜在应用价值,其对红外探测器杜瓦组件真空寿命及焊缝疲劳性能的影响还有待进一步研究。

### 参考文献

- [1] 李维,武腾飞,王宇. 焦平面红外探测器研究进展[J]. *计测技术*, 2016, **36**(1): 1-4.
- [2] 朱宪亮. 红外探测器组件可靠性试验研究[D]. 上海:中国科学院上海技术物理研究所, 2014.
- [3] 余利泉,莫德锋,王镇,等. 制冷焦平面探测器组件冷平台材料研究进展[J]. *红外*, 2019, **40**(4): 1-11.
- [4] 段东磊. 激光焊接技术在汽车制造中的应用现状及发展趋势 [J]. *世界制造技术与装备市场*, 2019, **32**(5): 38-44.
- [5] 丁旭,罗海龙. 激光技术在材料加工领域的应用探究 [J]. *信息记录材料*, 2019, **20**(9): 34-37.
- [6] 魏德强,李新凯,王晓冰. 电子束抛光技术的研究进展 [J]. *表面技术*, 2016, **45**(4): 175-182.
- [7] 李思,张雨. 化学机械抛光技术发展及其应用 [J]. *电子工业专用设备*, 2019, **48**(5): 1-6.
- [8] 李健,杨叶,金卫凤,等. 激光抛光表面形貌的误差复映规律 [J]. *表面技术*, 2020, **49**(2): 309-315.
- [9] 周泳全,张卫,肖海兵,等. 连续激光高速抛光冷作模具钢的表面粗糙度及性能[J]. *表面技术*, 2020, **49**(2): 347-353.
- [10] Ma C P, Guan Y C, Zhou W. Laser Polishing of Additive Manufactured Ti Alloys [J]. *Optics and Lasers in Engineering*, 2017, **93**: 171-177.
- [11] Fang Z H, Lu L B, Chen L F, et al. Laser Polishing of Additive Manufactured Superalloy [C]. Tianjin: Procedia CIRP, 2018.
- [12] 廖聪豪,周静,沈洪. 增材制造 TC4 钛合金在激光抛光前后的电化学腐蚀性能 [J]. *中国激光*, 2020, **47**(1): 89-95.