

# 影响杜瓦激光焊接质量的几个主要因素

赵 森 范 翔 宁晋杰  
华北光电技术研究所 北京 100015

**摘 要：**激光焊接是红外焦平面探测器杜瓦工艺的关键技术。本文针对杜瓦高气密性的工艺要求和材料特点，分析了影响杜瓦激光焊接质量的主要因素。对不锈钢零件表面镀镍后进行焊接实验，结果表明镀镍溶液中添加光亮剂容易产生裂纹。

**关键词：**激光焊接；杜瓦；影响因素；镀镍

## 引言

杜瓦为红外焦平面探测器的低温工作提供良好的光、机、电、热传输通道，是红外焦平面探测器的封装和保护装置。为了获得较低的热负载和较长的真空寿命，其主体材料主要有不锈钢和表面镀镍或镀金的柯伐材料。

杜瓦的焊接质量直接影响红外焦平面探测器组件的使用寿命。激光焊接是以细聚焦高能激光束辐射焊件进行焊接的方法，具有功率密度高、速度快、焊缝深宽比大、焊件热变形小、易柔性化且不需要真空环境等特点，在杜瓦封装工艺中，显示出独特的优越性<sup>[1]</sup>。

本文针对杜瓦高气密性封装的实际要求，根据杜瓦结构和材料的种类特点，分析了影响激光焊接质量的主要因素。

## 1 影响焊接性能的主要因素

激光焊接按照功率密度的大小分为热传导型焊接（功率密度小于 $10^4\sim 10^5\text{W}/\text{cm}^2$ ）和激光深熔焊接（功率密度大于 $10^5\sim 10^7\text{W}/\text{cm}^2$ ）。杜瓦激光焊接大部分属于薄壁深熔焊接，零件厚度在 $1\sim 2\text{mm}$ 。要求焊接表面平滑，具有较高的气密性。为达到高气密性激光焊接的目的，需要研究影响焊接质量的关键因素，以得到最佳的工艺参数。

### 1.1 激光功率

激光功率是影响焊接质量的一个主要参数。增大激光功率可提高焊接速度、增大熔深。功率选择的基本要求是：保证被焊材料表面的熔化温度，应维持在高温不锈钢的熔点与沸点之间。功率太小，将会导致材料熔化不够充分，易出现焊不透现象，降低焊缝强度；一般选用激光功率 $1.5\sim 1.8\text{kW}$ 即可。

### 1.2 脉冲波形

当高强度激光束射入材料表面，会有 $60\%\sim 98\%$ 的激光能量反射而损失掉，尤其是金、铜、铝等反射强、传热快的材料。一个激光脉冲讯号过程中，金属的反射

率随时间而变化。当材料表面温度升高到熔点时，反射率会迅速下降，当表面处于熔化状态时，反射稳定于某一值。大多数材料初始反射率较高，因此常采用带有前置尖峰的激光输出波形，利用开始的尖峰迅速改变表面状态，使其温度上升至熔点，从而使材料表面反射率较低。对于杜瓦中常用的不锈钢、柯伐等金属，其表面反射率比有色金属低，宜采用平坦的激光波形<sup>[2]</sup>。

### 1.3 脉冲宽度

脉宽由熔深与热影响区确定，熔深是随脉宽的 $1/2$ 次方增加。但脉冲宽度的增大会降低峰值功率，因此增加脉冲宽度一般用于热传导焊接方式，形成的焊缝尺寸宽而浅，尤其适合薄板和厚板的搭接焊。所以一般选用脉冲宽度为 $2\sim 5\text{ms}$ 。

### 1.4 焊接速度

提高焊接速度会使熔深变浅。所以，一般在焊接薄板或焊接性较好材料时使用高速焊接；厚板、难焊材料速度要降低。焊接速度对熔池和焊缝形状也有影响。低速下熔池大而宽，且易产生下塌，高速焊接时，焊缝中心强烈流动的液态金属由于来不及重新分布，便在焊缝两侧凝固，形成不平整焊缝。对于一定激光功率和一定厚度的某特定材料都有一个合适的焊接速度范围。图1是1018钢焊接速度与熔深的关系（如图1）。

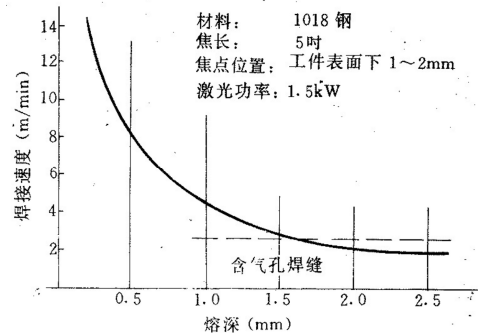


图1 焊接速度对熔深的影响

### 1.5 光斑直径与重叠率

光斑直径是指照射到焊接表面的光斑尺寸大小。激光光斑上的功率密度和激光功率成正比，与光斑直径的平方成反比。显然，减少光斑直径比增加功率对于提高功率密度更有效。

为保证焊缝气密性，一定程度的光斑重叠度是必不可少。重叠率是指相邻两个光斑的重叠程度。光斑重叠率为：

其中， $T$ 为脉冲宽度， $s$ ； $D$ 为光斑直径， $mm$ ； $f$ 为脉冲频率； $V$ 为焊接速度， $mm/s$ 。通过公式可知重叠率与焊接速度成反比，与脉冲宽度、光斑直径及脉冲频率成正比。一般来说，重叠率越大，焊缝越光滑，但焊接速度也相应降低。当脉冲频率超过一定值时，重叠率过大，超过材料的焊接极限，容易焊穿或出现焊渣。所以光斑重叠度根据气密性及焊接强度的要求而定，一般选用光斑重叠度为60%~80%。

### 1.6 离焦量

激光焊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，容易蒸发成孔。焦平面位于焊件上方为正离焦，反之为负离焦。正、负离焦量相等时，平面上的功率密度近似相同，但熔池形状不同。负离焦时，材料内部功率密度比表面还高，易形成更强的熔化、汽化，使光能向材料更深处传递。一般来讲，需要较大熔深时选用负离焦，而焊接薄壁件时应选用正离焦。合适的离焦量基本无熔渣溅出。在杜瓦焊接时，离焦量一般取0(即聚焦点在焊件的表面)。

### 1.7 材料吸收率

材料吸收率与材料的电阻系数和光洁度都有关系。经过对材料抛光表面的吸收率测量发现，材料吸收率与电阻系数的平方根成正比，而电阻系数又随温度而变化。在杜瓦零件焊接中，一般采用表面镀镍的方法，来改善金属零件的吸收率。

### 1.8 保护气体

激光焊接时采用保护气体有三个作用：其一是保护焊件在焊接过程中免受氧化；其二是驱散高功率激光焊接产生的等离子体屏蔽；其三是保护聚焦透镜免受金属蒸气污染和液体熔滴的溅射。氦气不易电离(电离能量较高)，密度最小，所以保护效果最好，但价格比较贵。在杜瓦焊接工艺中，一般使用氩气作为保护气。这是因为氩气密度较大，保护效果较好，而且价格便宜，有利于降低成本。但氩气易受高温金属等离子体电离，屏蔽部分光束射向焊件，减少有效激光功率，损害焊接速度与熔深，所以焊件表面要比使用氦气保护时更为光滑<sup>[9]</sup>。

在焊接过程中，为最大限度地削弱等离子体的影响，使焊缝熔深增大、焊接过程稳定，沿激光束轴向和侧向同时吹氩气保护。侧吹气体采用前保护方式，随着侧吹气咀高度 $h$ 的增加，等离子体云团的体积逐渐减小，熔深也不断增加。

根据以上分析，我们选用壁厚为1.5mm，直径为32.8mm的316不锈钢为母材进行激光焊接实验，使用RofinIntegral激光焊接机，激光波长1.06 $\mu m$ 。焊接参数为：激光功率1.62kW，脉宽2.5ms，脉冲频率30Hz，光斑直径0.44mm，焊接速度300mm/min，据公式(2)可以求得此时的光斑重叠率为63%，保护气体选用氩气。图2是在高倍工具显微镜下观察到的焊缝，可以看出焊缝光滑，无裂纹、气孔，经氦质谱检漏仪检测漏率小于 $1.0 \times 10^{-11} atm \cdot cc/s$ ，满足杜瓦焊接的气密性要求(如图2)。

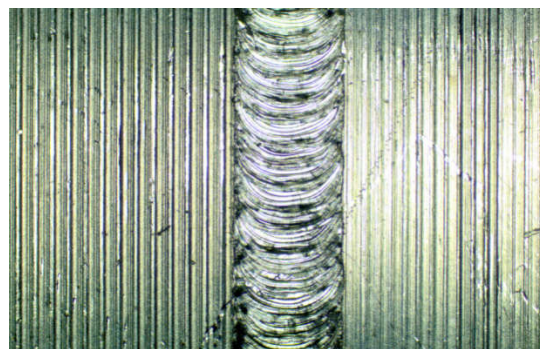


图2 高倍工具显微镜下的观察的激光焊缝

## 2 不锈钢镀镍液中的杂质对焊接性能的影响

在零件上镀镍可以使零件具有优良的耐蚀性、耐磨性、可焊性以及高硬度等优点，提高零件的使用寿命。因此，微杜瓦使用的外壳、窗座等不锈钢零件均经过表面镀镍处理。

型杜瓦在外壳-窗座、外壳-接插件的激光焊接过程中，焊缝出现明显的裂纹现象。因为外壳、窗座零件都经过了表面镀镍处理，而镀镍前的此类材料焊接没有出现裂纹现象。经过分析，镀镍液中添加的光亮剂引入杂质，是出现裂纹的直接原因。为此，分别使用含光亮剂和不光亮剂的镀液对不锈钢零件做表面处理，对镀后的零件使用激光焊接工艺，焊缝质量明显不同，含光亮剂的镀液得到的不锈钢激光焊缝出现了明显裂纹，无法满足杜瓦的密封要求，而不光亮剂的镀液得到的不锈钢激光焊缝质量较好，经氦质谱检漏仪检漏后，漏率优于 $1.0 \times 10^{-11} atm \cdot cc/s$ 。同时，光亮剂中含大量的有机物，在电镀过程中，这些有机物大部分夹杂在镀层中，有些在强大的双电层电场中被电解成了杂质。正是由于

硫和杂质的存在，导致镀镍不锈钢在焊接过程中出现了裂纹。

### 3 结束语

激光焊接质量对于红外焦平面探测器杜瓦的气密性和使用寿命有非常重要的影响，通过研究激光功率、脉宽、重叠率和保护气体等因素对激光焊接的影响规律，得出适合杜瓦激光焊接的焊接参数，经过实验，焊缝满足杜瓦的工艺要求。镀镍是改善不锈钢零件可焊性的一种方式，但是镀镍液中掺加光亮剂，容易引入杂质，造

成焊缝裂纹，在工艺中应尽量避免。

### 参考文献：

- [1]程隆双,冯薇.影响激光焊接加工的几个主要参数.机电技术.2008,(1):58-61
- [2]张建勋,张林杰,王蕊,巩水利.侧吹气体对不锈钢薄板激光焊接焊缝成形的影响.稀有金属材料与工程.2006,35:39-44
- [3]储晓猛,杨建新,李美兰.高温不锈钢钣金件激光焊接试验.焊接技术.2010,39(10):29-32