

| 激光焊接 | 参数设置 | 常见缺陷 | 功率选型 |

# 锐科激光 **共赢未来**

## 锐科激光焊接工艺公开课

**吴泽锋**

应用工艺技术研究部 副主任设计师

# CONTENT

**01 . 激光焊接工艺基础**

**02 . 常见缺陷解决方法**

**03 . 常见应用简介**

# PART 01

## 激光焊接工艺基础



## 焊接

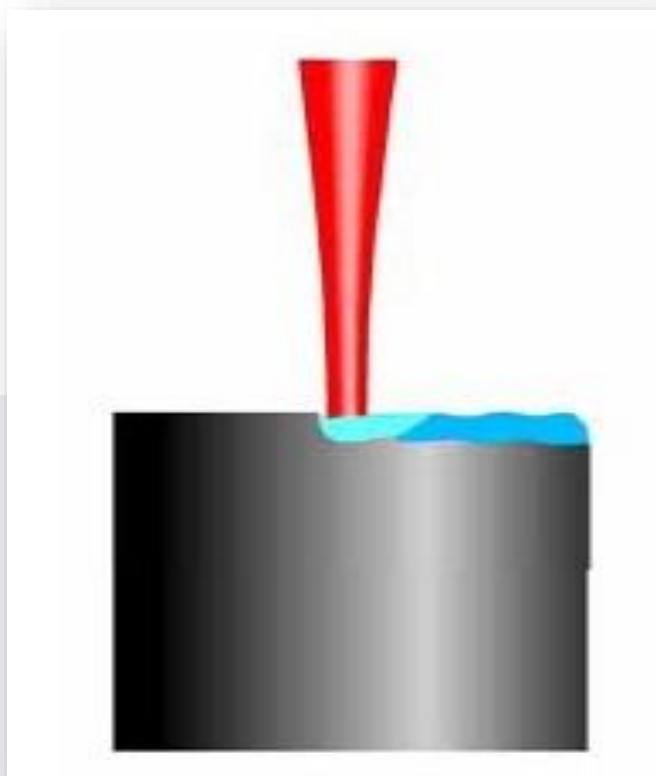
通过加热或加压,或两者并用,并且用或不用填充材料,使工件达到原子间结合的一种加工方法。

## 激光焊接

利用高能量密度的激光束作为热源来对工件进行加热,并使用加压或不加压、用或不用填充材料使得工件达到原子间结合的加工方法。

## 激光焊的类别

激光热传导焊 | 激光深熔焊 | 激光填丝焊激光-电弧复合焊  
光纤-半导体激光复合焊接



激光照射

热传导

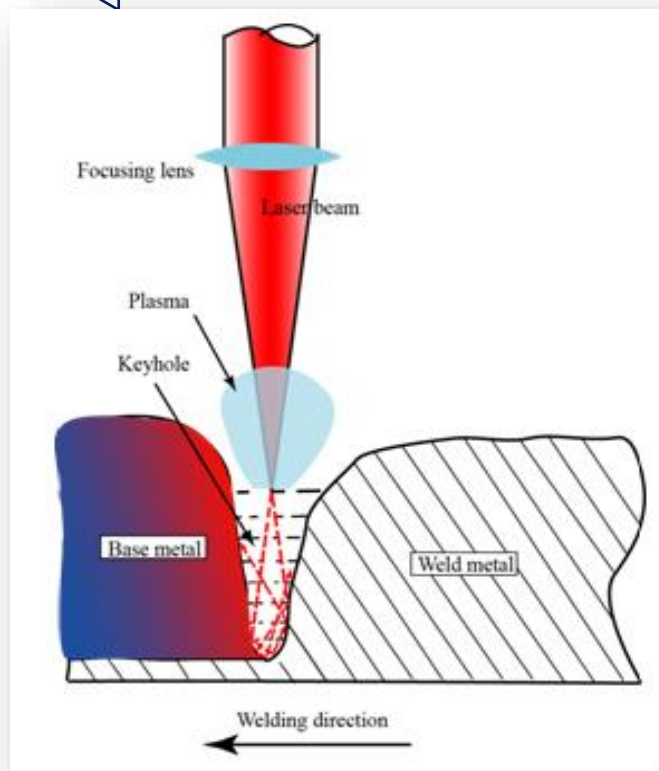
激光移走

材料表面熔化

材料下层熔化

熔池金属凝固

- 作用于材料表面的激光功率功率密度  $< 10^5 \text{W/cm}^2$
- 材料表面最高温度取决于其气化温度
- 深宽比小，焊缝表面均匀光滑



熔池金属重力、金属蒸汽压力、液态金属表面张力

激光照射

材料表面气化

孔内受动平衡力

小孔效应产生

激光深入

小孔向内深入

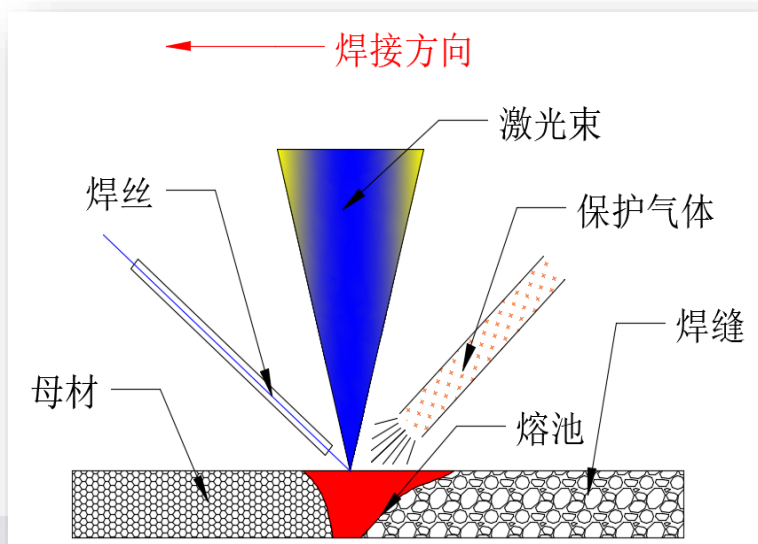
激光移走

熔池金属凝固

- 作用于材料表面的激光功率密度 $\geq 10^5 \text{W/cm}^2$
- 焊缝熔深取决于小孔维持孔内受力动平衡的能力
- 深宽比大，焊缝表面相对粗糙

01

# 激光填丝焊



激光照射焊丝

焊丝末端熔化

小孔效应产生

激光深入

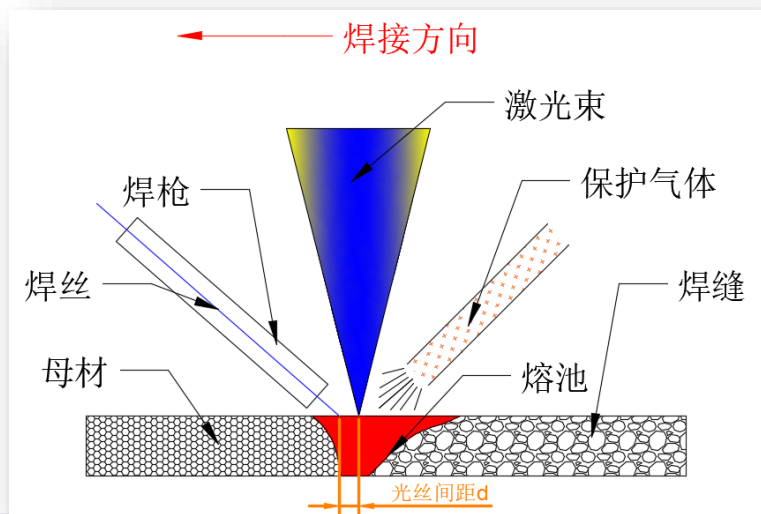
小孔深入熔池质量与成分改变

激光移走

熔池金属凝固

焊丝熔化需要消耗能量

- 焊缝金属成分改变，可以改善焊接性能
- 焊缝金属体积增大，可以改善焊缝成型
- 相对于激光深熔焊，需要更大激光功率或较慢的焊接速度



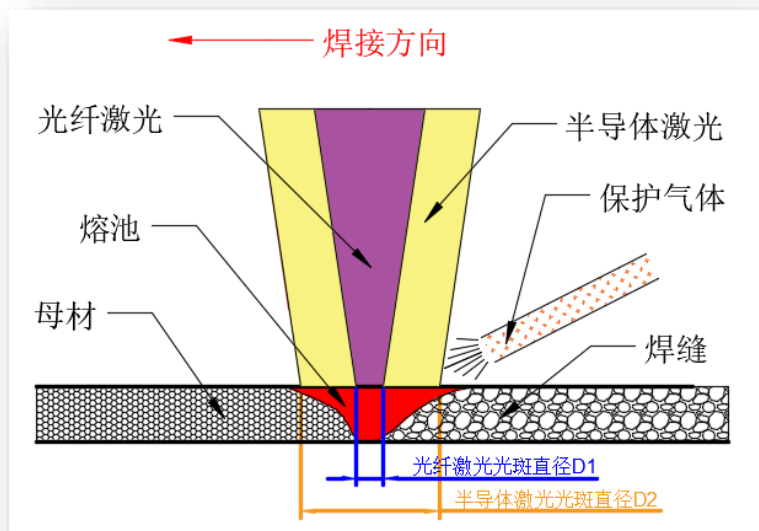
焊枪起电弧

焊丝和母  
材熔化激光照  
射母材小孔效  
应产生激光  
深入  
电弧  
持续激光  
移走  
焊枪  
灭弧小孔深入熔  
池质量与成  
分改变熔池金  
属凝固

电弧能量会作用于材料，增大热输入量

- 焊缝金属成分改变，可以改善焊接性能
- 焊缝金属体积增大，可以改善焊缝成型
- 相对于激光深熔焊，需要较小功率或更快的焊接速度





半导体激光  
照射

光纤激  
光照射

材料熔化  
(预热)

小孔效  
应产生

小孔深入  
熔池流动状  
态改变

熔池金属凝固  
(变缓)

复合  
光源  
深入

复合  
光源  
移走

半导体激光光斑较大，除了进入小孔的光，还有部分光作用于周边熔池，而且这部分光仅能够作用于熔池表层少量的区域，从而使得熔池表面流动状态更稳定

- 焊缝金属凝固速度变慢，有利于减少气孔
- 相对于激光深熔焊，材料熔化量增多，熔深及熔宽均会增大
- 焊缝熔池流动更稳定，有利于提高焊缝成型，可实现高速焊接

01

# 工艺参数

Process parameters



## 激光功率

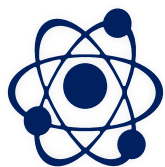
探讨激光功率的影响机制

## 焊接参数

探讨焊接速度的影响机制

## 离焦量

探讨离焦量的影响机制



## 熔深

- 非线性规律，熔深增幅 < 功率增幅
- 显著影响，可以有效控制熔深

1. 小孔底部功率密度越来越小，导致小孔坍塌；
2. 功率越大，与材料作用越剧烈，“烟尘”对激光的屏蔽作用增强。



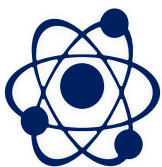
## 熔宽

- 影响较小，不能有效控制熔宽
- 熔宽增幅远小于功率增幅

激光照射材料的有效面积随功率变化的幅度极小，平顶光相对于高斯分布的光变化更小，其熔宽也会变化更小。

更为显著

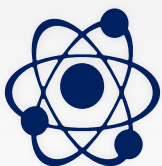
激光功率对熔深影响显著，尤其是高反材料



## 熔深

- 速度降低，熔深增大幅度相对较小
- 较大影响，可以控制熔深

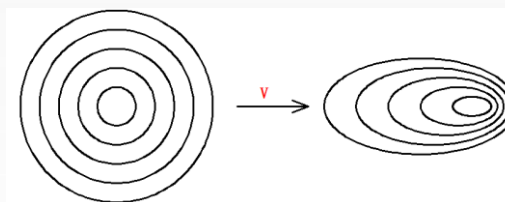
1. 速度降低，输入线能量增大；
2. 热输入增大，同理功率增大，对熔深的增幅相对较小。



## 熔宽

- 显著影响，可以有效控制熔宽
- 熔宽减小幅度小于速度增大幅度

1. 速度提高时，温度场的等温线会被压缩拉长，材料熔化宽度减小；
2. 等温线压缩幅度没有速度提高幅度相对较大。



更为显著

焊接速度对熔宽和熔深均有较大影响，尤其是熔宽

增大离焦量会小幅减小熔深

超大离焦反而会使熔宽变小，主要因为光源的高斯分布

负离焦相对于正离焦，可以使焊缝熔深更大

离焦量越大，作用于材料表面的能量分布越不集中，作用范围越大，光斑边缘处能量较低，仅仅能够熔化较少的材料，会使得焊缝熔深由焊缝中心向两侧变化梯度减小，从而使焊缝外观较为平整、美观。

熔深

熔宽

焊缝成型

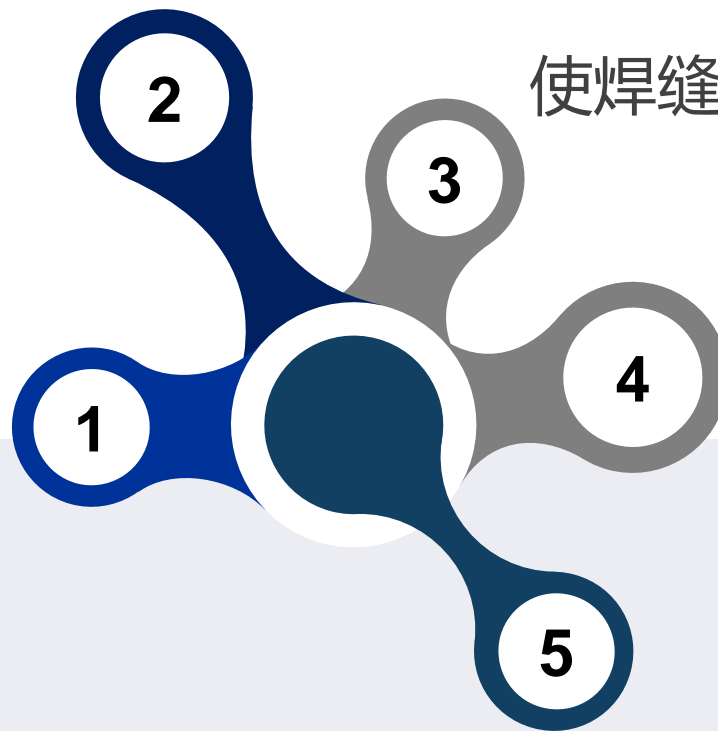
焊接高反材料时，不建议使用大离焦

增大离焦量会小幅增大熔宽



有效减小焊接过程中产生的飞溅

有效保护焊缝熔池减少甚至避免被氧化



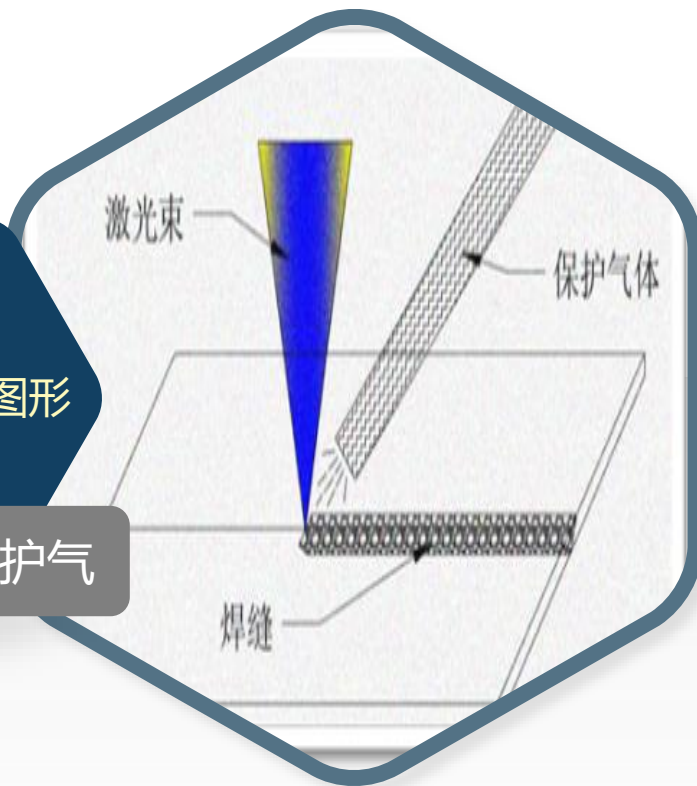
使焊缝成型均匀美观

有效减少焊缝气孔

有效减小金属蒸汽羽或者等离子云对激光的屏蔽作用，增大激光的有效利用率

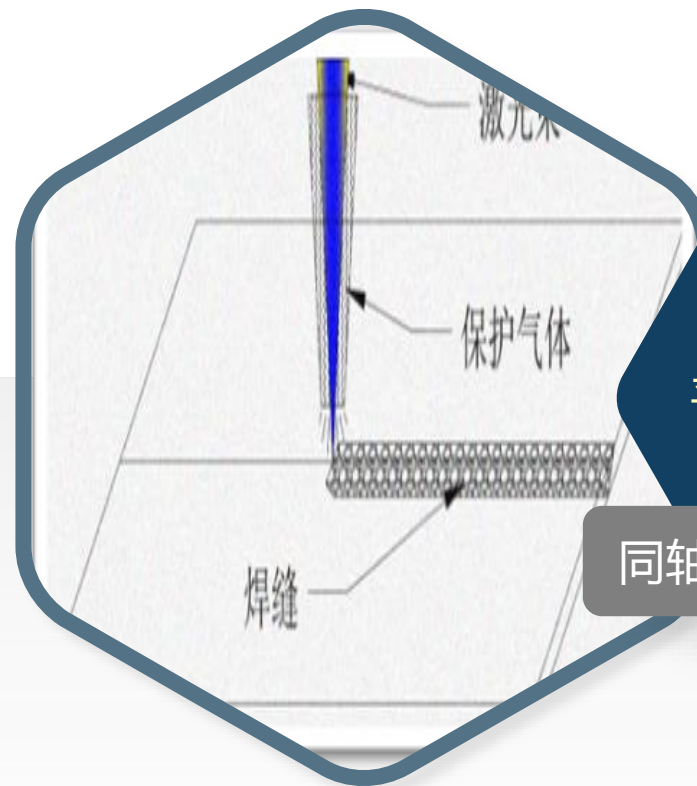
直线、类直线图形

侧吹保护气



平面封闭图形

同轴保护气



# PART 02

## 常见缺陷解决方法



外部缺陷 → 外观可见的缺陷



内部缺陷 → 缺陷位于焊缝内部

外部  
缺陷

焊缝塌陷



焊缝变形



焊缝咬边



焊缝不均匀



收尾弧坑



02

# 内部缺陷

Internal defects

内部  
缺陷



气孔



裂纹



未熔合

02

# 缺陷控制方法



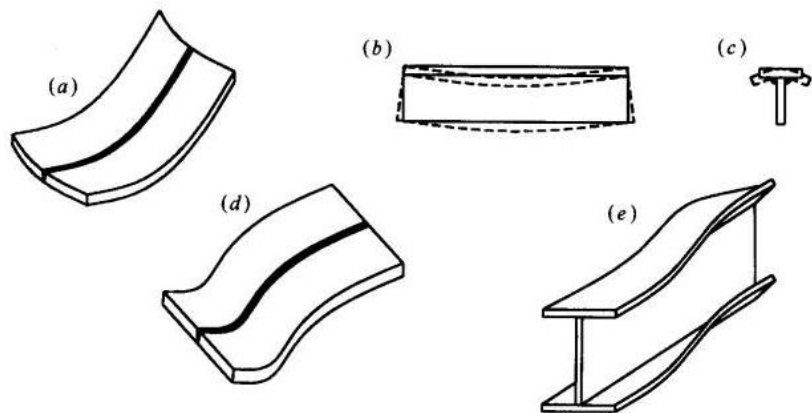
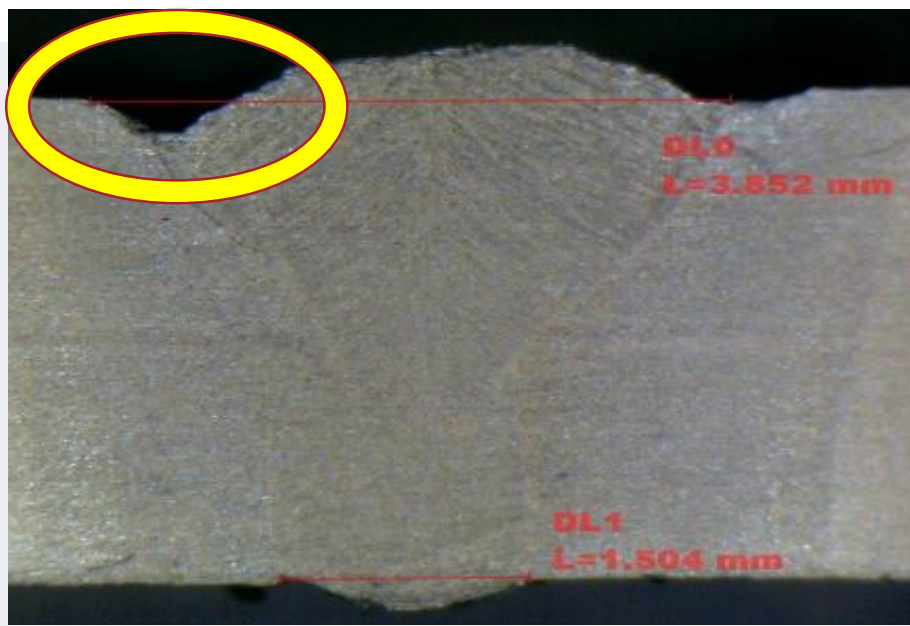


图 4-2-34 焊接变形

(a) 纵向收缩和横向收缩；(b) 弯曲变形；(c) 角变形；(d) 波浪变形；(e) 扭曲变形

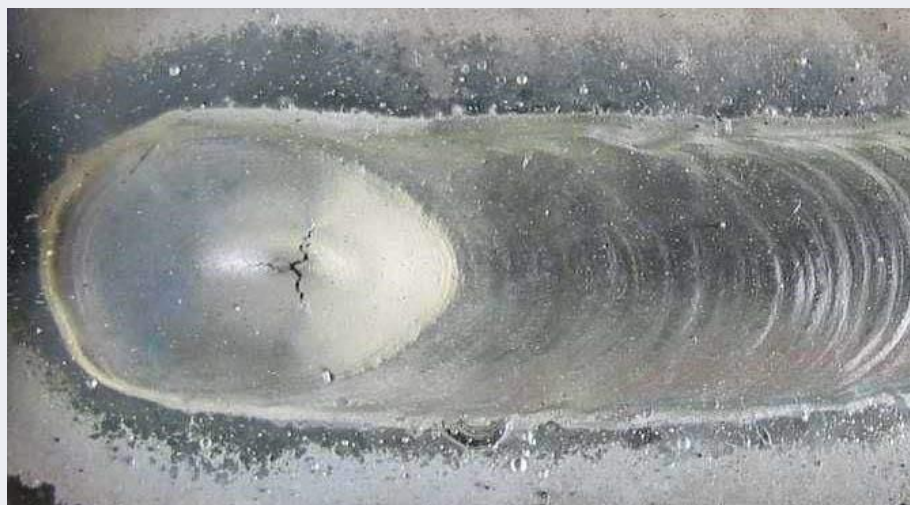
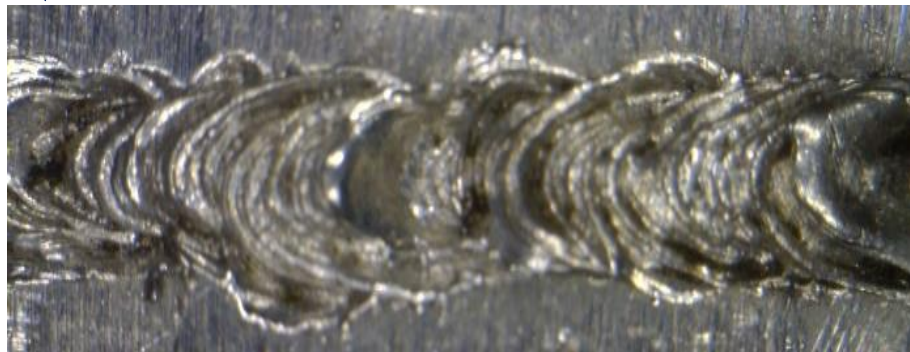


## 焊缝变形

- 焊接会导致焊缝收缩，必然存在变形
- ✓ 合理布置焊接顺序，一般采用对称焊接
- ✓ 提高焊接速度
- ✓ 刚性固定，夹具合理
- ✓ 预制反变形接头设计

## 焊缝咬边

- 沿焊趾的母材部位产生的沟槽或凹陷
- ✓ 控制接头的装配间隙，建议在0.05mm以内
- ✓ 增大离焦量，降低焊接速度
- ✓ 选择更合适的焊接方法，比如激光填丝焊接、激光-电弧复合焊接



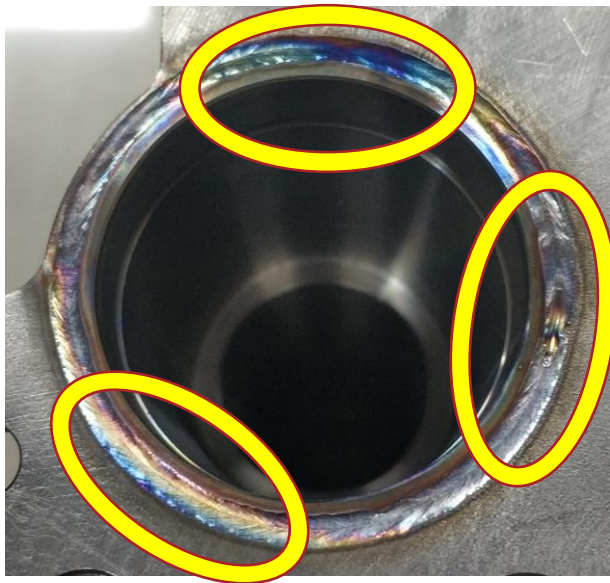
## 焊缝不均匀

- 焊缝表面宽度变化较大或者凹凸不平
- ✓ 高反材料成型较差，表现出严重不均匀性，可以采用小光斑高速焊接
- ✓ 控制装配间隙一致，拼缝边缘加工平直
- ✓ 夹具合理，有效控制焊接过程中未焊部分的变形

## 收尾弧坑

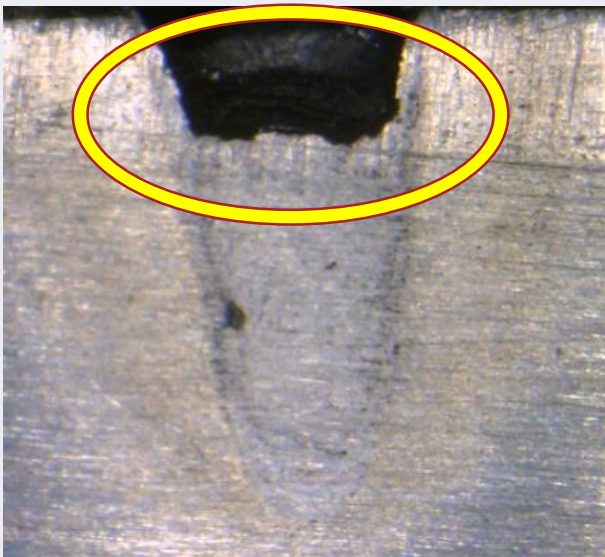
- 焊缝在收尾处形成的凹坑，易产生裂纹
- ✓ 激光控制需有功率坡调（缓升缓降）功能
- ✓ 对于高反材料，功率坡调不能完全解决问题，可以将弧坑引至母材，消除弧坑对焊缝的影响





### 保护效果差

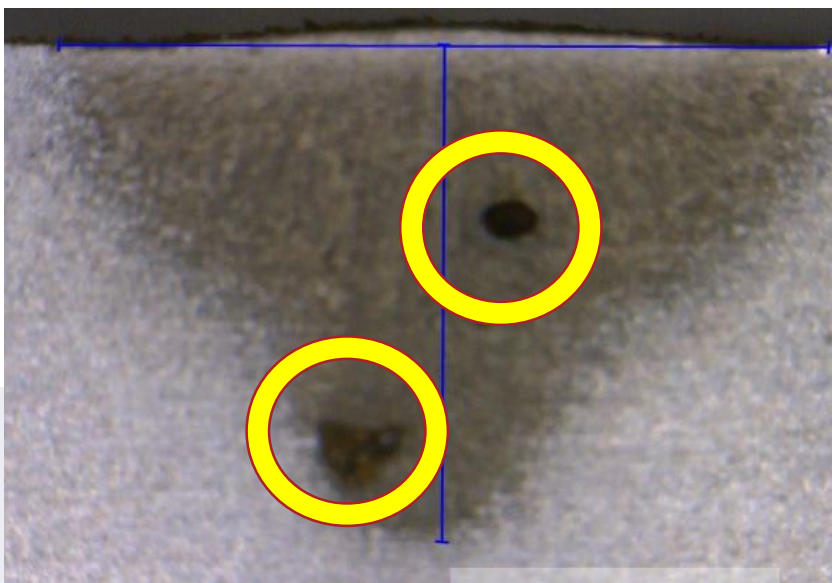
- 焊缝表面呈彩色或者灰色，不够亮白
- ✓ 选择合适的保护气装置（同轴/旁轴吹气）
- ✓ 选择合适的保护气体（Ar/N2）
- ✓ 合适的气体流量，一般建议8mm口径的喷嘴10L/min ~ 30L/min、10mm口径的喷嘴15L/min ~ 40L/min



### 焊缝塌陷

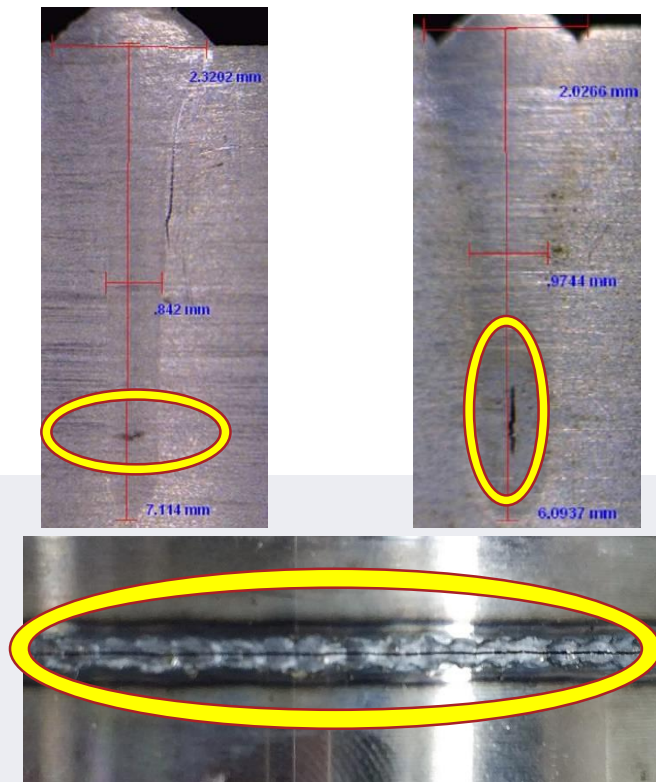
- 焊缝严重低于母材表面，形成较大的凹陷
- ✓ 控制接头装配间隙，建议在0.2mm以内
- ✓ 增大离焦量，降低焊接速度
- ✓ 选择合适的焊接方法，比如摆动焊接、激光填丝焊接、激光-电弧复合焊接





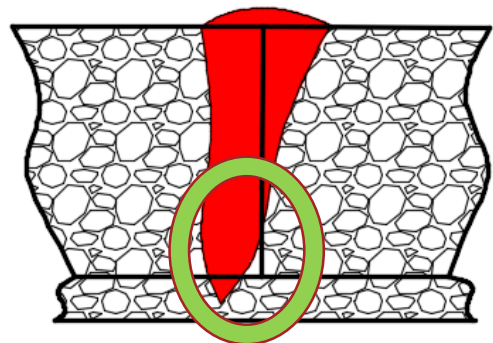
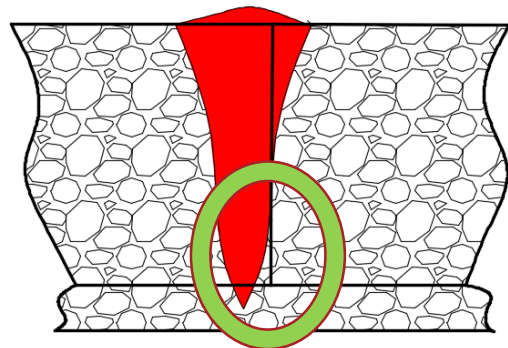
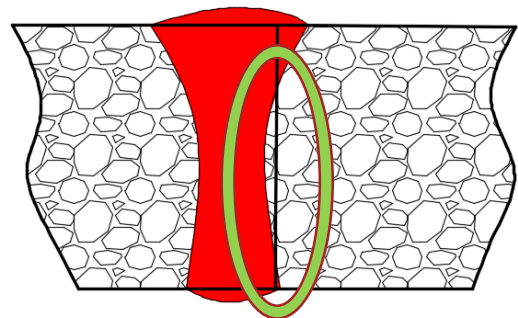
## 气孔

- 冶金型气孔：母材表面存在铁锈、油污、水分等杂物，以及空气、母材金属气化、焊接时发生化学反应产生的气体等气体，因为激光焊接时焊缝金属的冷却速度非常快，这些杂物/气体就来不及从焊缝中逸出，滞留在焊缝中形成冶金型气孔
  - 小孔型气孔：激光深熔焊独有的小孔效应，在小孔坍塌闭合时，因为熔池凝固速度过快，导致小孔底部会保留小孔之前的形状而形成小孔型气孔，小孔型气孔通常存在于未焊透的焊缝底部
- ✓ 待焊母材必须清理干净，并且保持干燥
  - ✓ 增大熔池体积，减缓熔池凝固速度，可以通过增大聚焦光斑、降低焊接速度、增大离焦量、采用激光复合焊接、双光斑焊接、摆动焊接等等



## 裂纹

- 接头拘束度大，材料裂纹敏感性高等原因造成的焊缝开裂
- ✓ 对于拘束度大的接头，焊前必须进行预热，焊后进行热处理
- ✓ 采用激光填丝焊接或者激光-电弧复合焊接，填入恰当的焊丝，通过焊丝成分调整焊缝金属成分，达到降低焊缝金属的裂纹敏感性
- ✓ 选择合适的焊接工艺参数，使熔深达到要求的最小值即可



## 未熔合

- 焊缝金属与母材金属之间未熔化结合在一起缺陷
- ✓ 可借助辅助设备（如CCD）找点，保证激光束入射位置准确
- ✓ 控制激光束入射方向必须与拼缝同轴
- ✓ 增大聚焦光斑，降低焊接速度

# PART 03

## 常见应用简介



## 常规焊接



1



## 汽车轻量化

- 常用的轻量化材料——热成型钢、铝合金，适合采用激光焊接；
- 激光焊接可优化车身结构设计（减重）——不等厚板应用、减小法兰宽度等。

2



## 动力电池制造

- 主要材料——铝合金、不锈钢，适合采用激光焊接；
- 焊接结构——叠焊、拼焊，尤其是叠焊非常适合激光焊接。

3

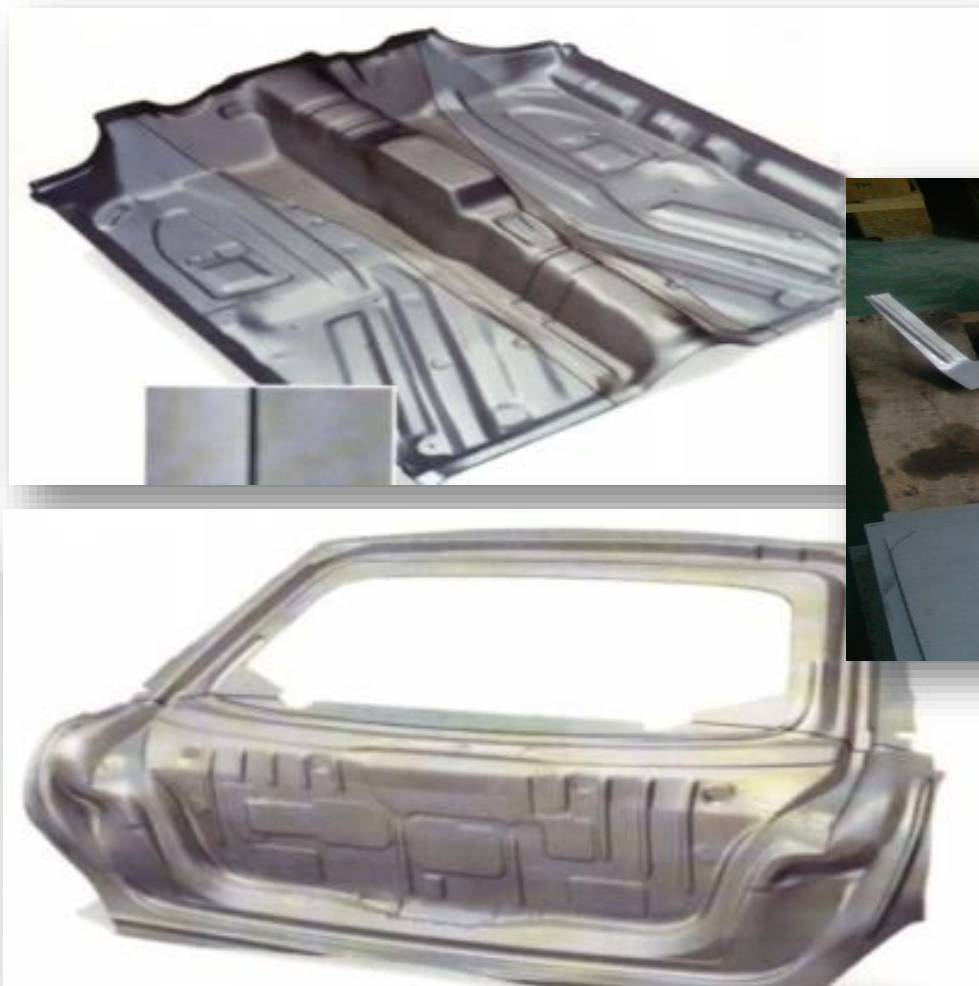


## 航空航天制造

- 主要材料——铝合金、钛合金等，适合采用激光焊接；
- 焊接结构——叠焊、拼焊、T型接头焊接等，适合采用激光焊接，同时能够减重。

## 不等厚板拼焊

用于车身底板、行李箱尾盖、B柱等位置。

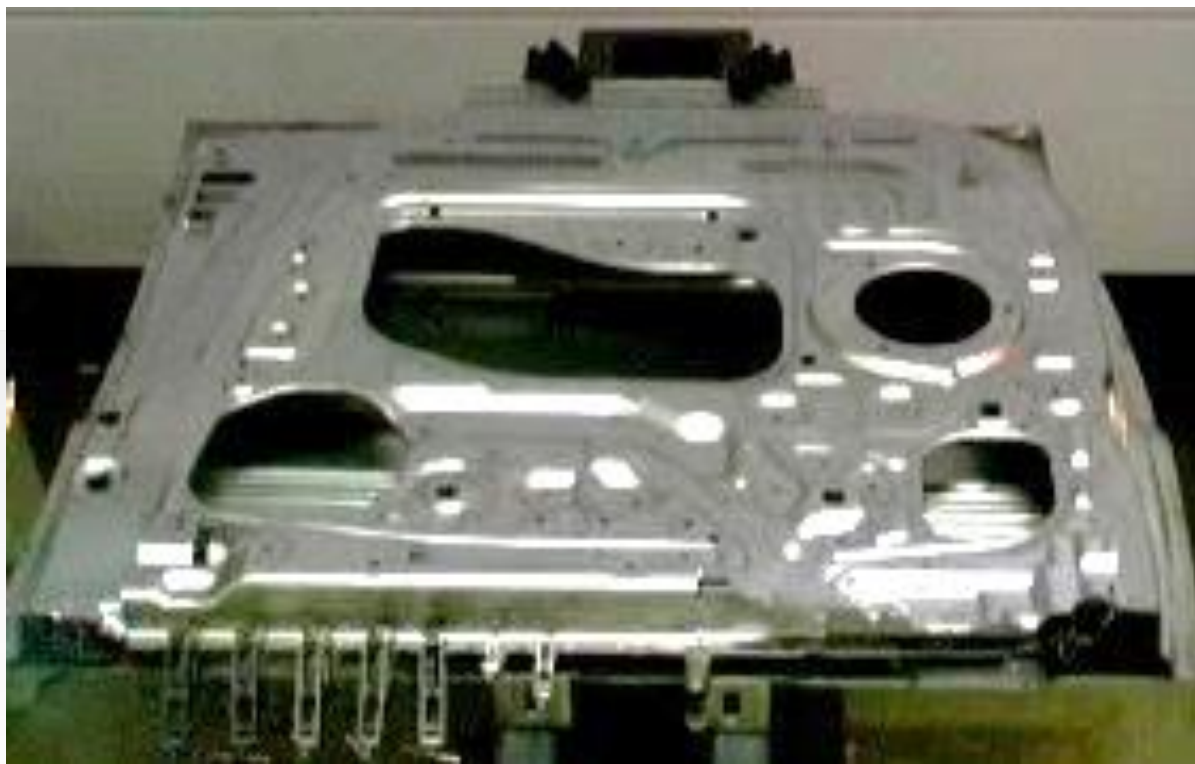


- 激光焊接无填充物，减少重量
- 将不同厚度的板材拼焊起来，在满足车身上各个部位的不同强度要求的同时，减轻车身的重量
- 常用高功率连续激光器进行焊接，如RFL-C4000、RFL-C6000



## 远程扫描焊接

用于汽车座椅部、面板支架、车门、侧围等部位焊接。



- 激光焊接无填充物，减少重量
- 比如车门采用激光远程扫描焊接，其结构可设计较小的窗框宽度，增大窗户面积，减轻车门重量，同时提供生产效率
- 常用高功率连续激光器进行焊接，如RFL-C4000、RFL-C6000

## 小熔深焊接

主要有封口焊接、密封钉焊接、极耳焊接、防爆阀焊接、正极极柱焊接等等。

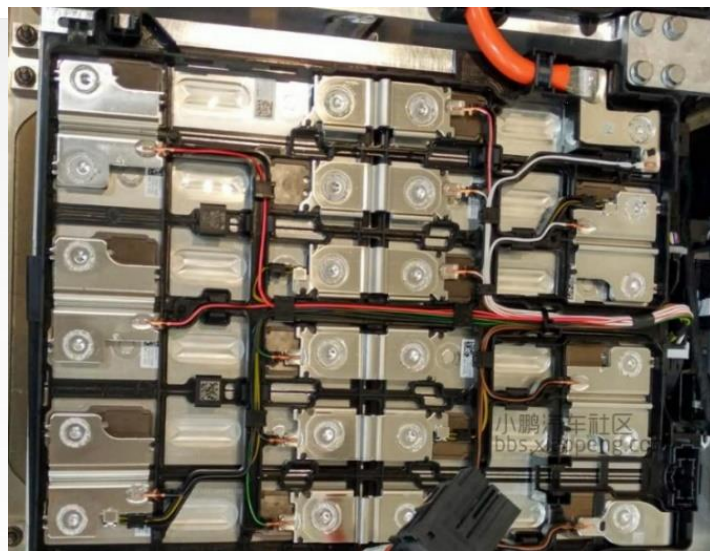


- 熔深要求均在1mm以内
- 常用小纤芯单模块激光器进行焊接，如 RFL-C1000、RFL-C2000



## 中等熔深焊接

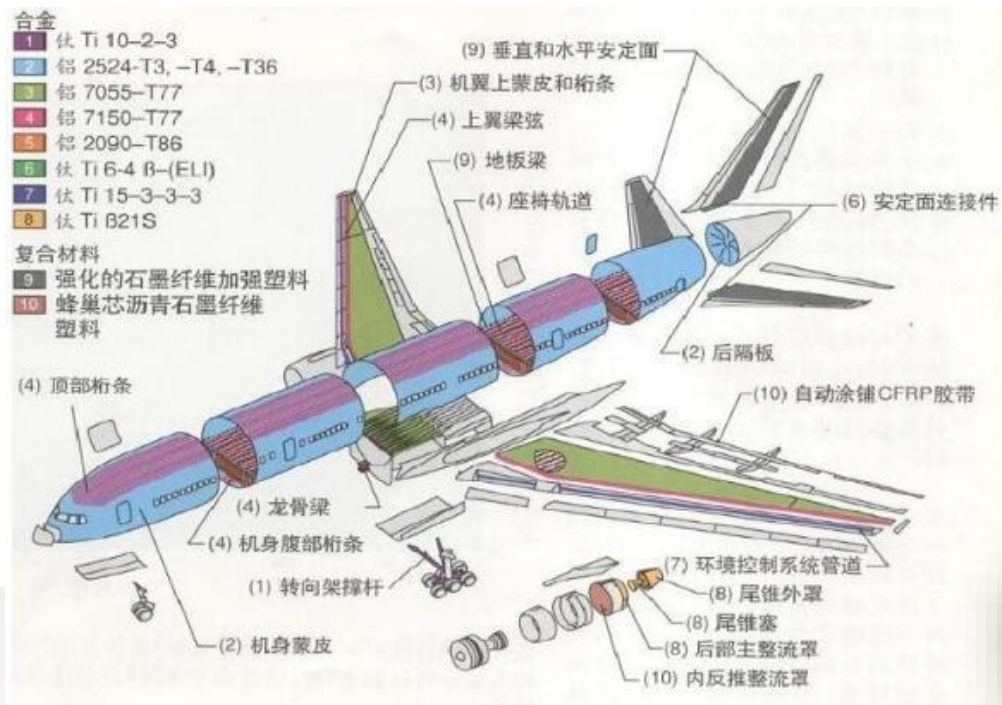
主要是侧板、模组的焊接。



● 熔深需要1mm ~ 3mm

● 常用高功率连续激光器进行焊接，如  
RFL-C4000、RFL-C6000





## 蒙皮+骨架结构焊接

各种舱体、机翼、舵翼等的焊接。

- 激光焊接无填充物，减少重量
- 采用焊接接头代替铆接接头，可减轻重量
- 常用高功率连续激光器进行焊接，如 RFL-C3000、RFL-C4000



# 摆动焊接



1



## 改善焊缝质量和成型一致性

➤ 对于薄板铝合金的焊缝质量和成型有显著改善。

2



## 降低接头装配要求

➤ 对焊缝接头的间隙或者错边量要求降低，适应性更好。

3



## 可焊接异种金属材料

➤ 对于部分异种金属材料可实现有效焊接。

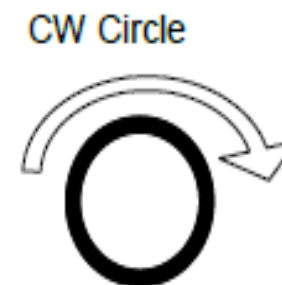
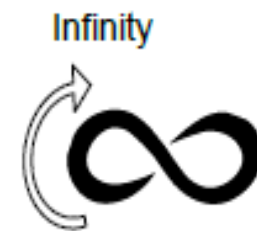
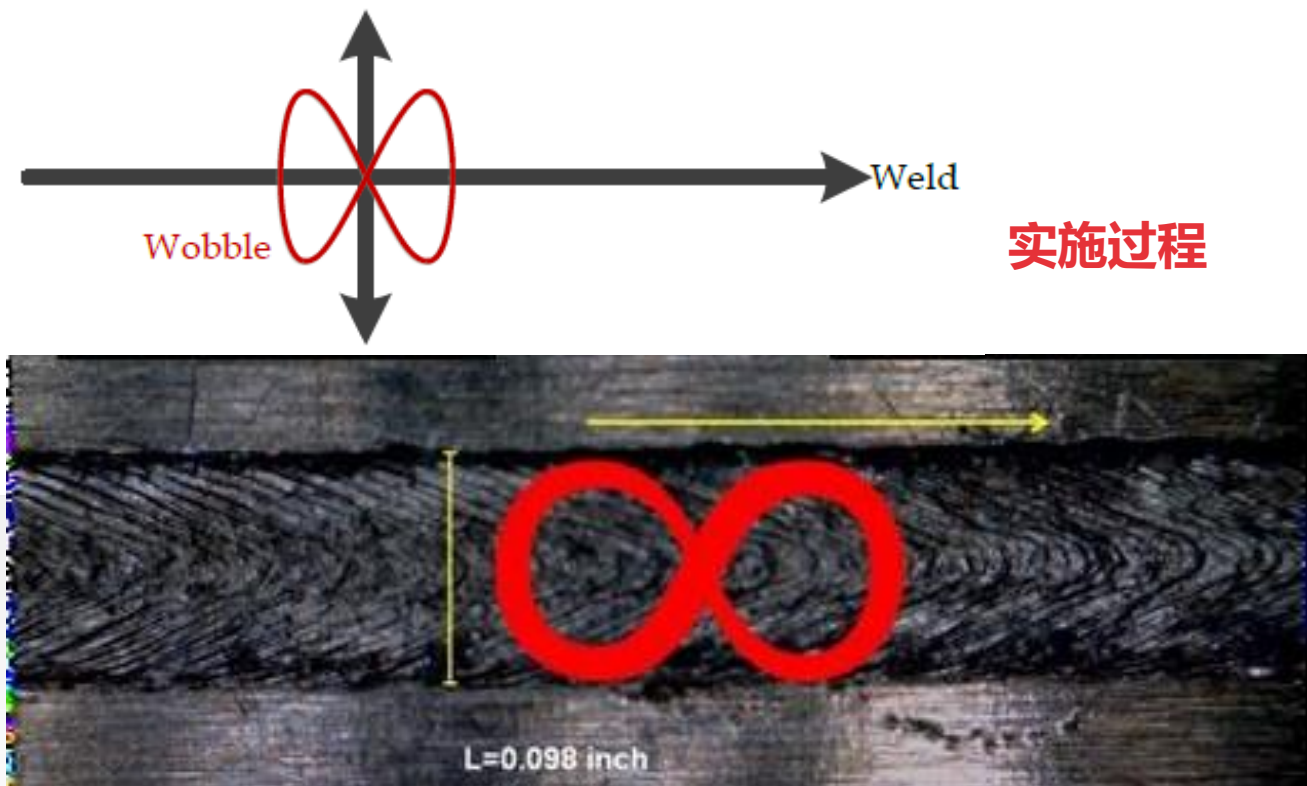
4



## 减少气孔

➤ 可减少焊缝中的气孔。

# 技术特征



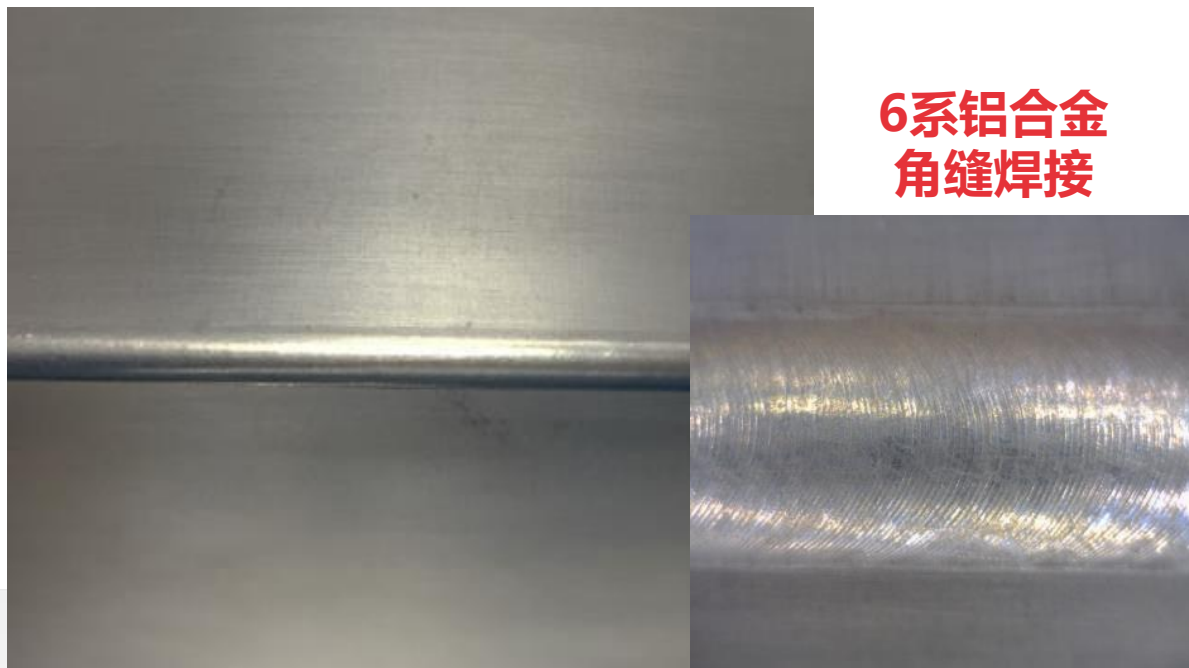
● 光斑整形，常见有四种形式

● 光斑按照预设摆动图案进行高频摆动

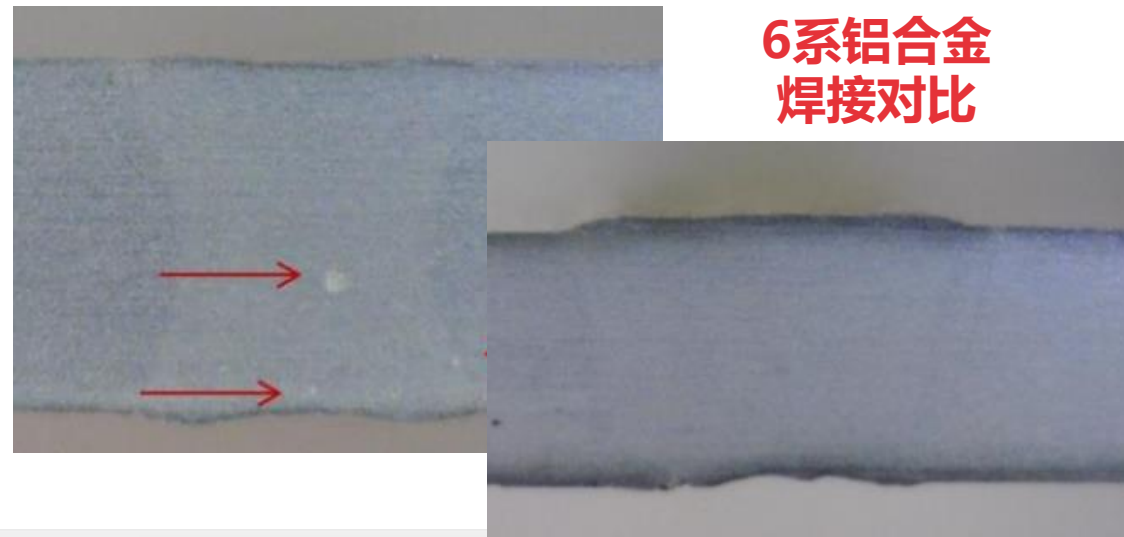
光斑形式



# 案例

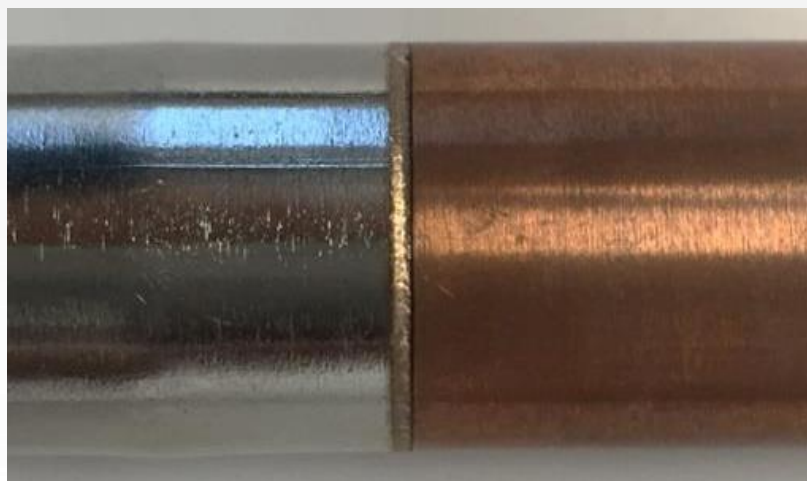


6系铝合金  
角缝焊接



6系铝合金  
焊接对比

钢铜焊接



- 外观件焊接，成型美观
- 常规激光焊接存在气孔，摆动焊接无气孔
- 不锈钢和紫铜对接焊接，焊接质量好
- 常用高功率连续激光器进行焊接，如RFL-C2000、RFL-C4000



### 改善焊缝成型

➢ 光束能量分布改变，焊缝成型随之改变。



### 减少气孔

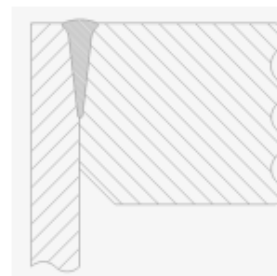
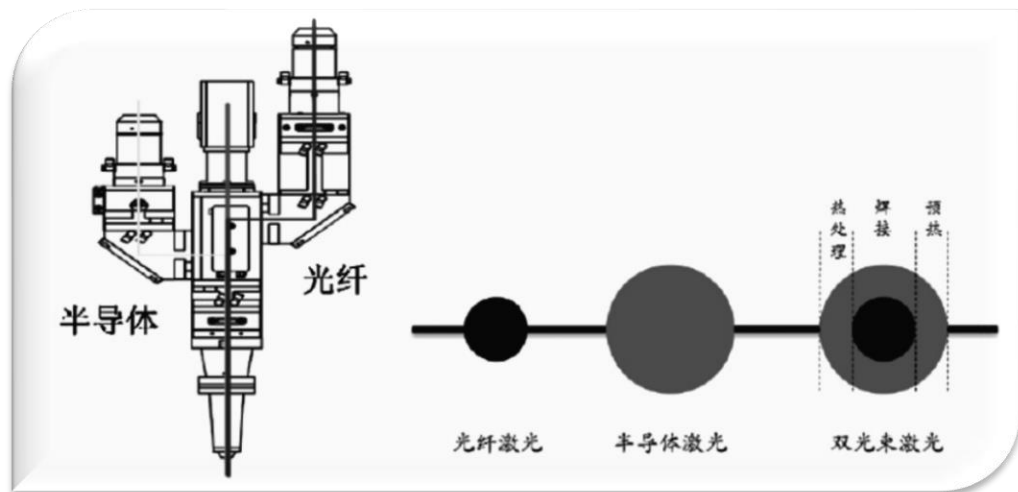
➢ 存在一个较大光斑直径的光束，使得熔池变大。



### 焊接高反材料

➢ 材料对不同波段的激光的吸收率不同，根据材料选择激光波长。

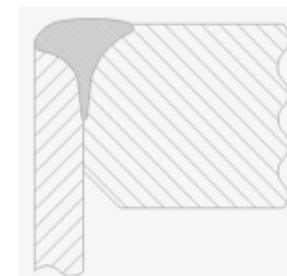
# 技术特征



光纤高速焊接  
熔深示意图

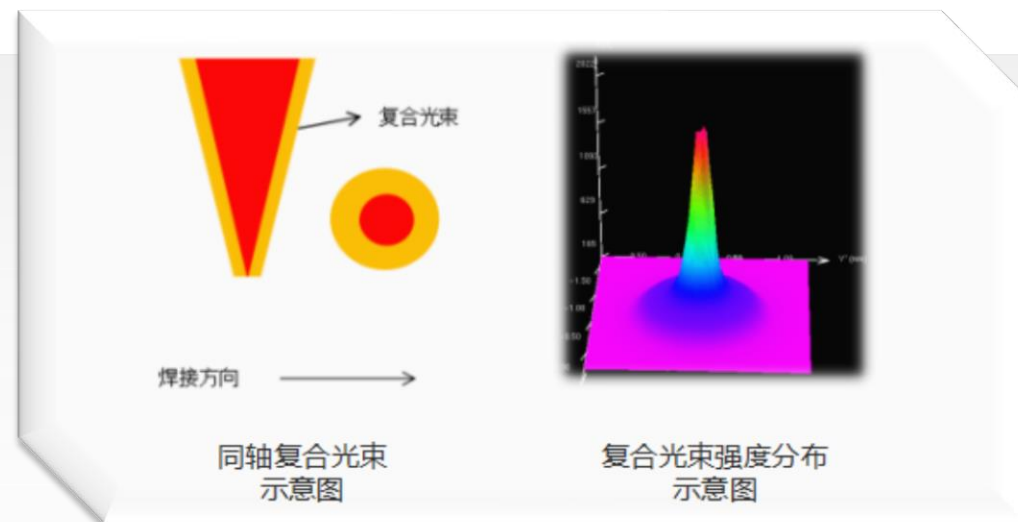


半导体高速焊接  
熔深示意图



复合高速焊接  
熔深示意图

## 焊接效果



## 焊接头及光斑形式

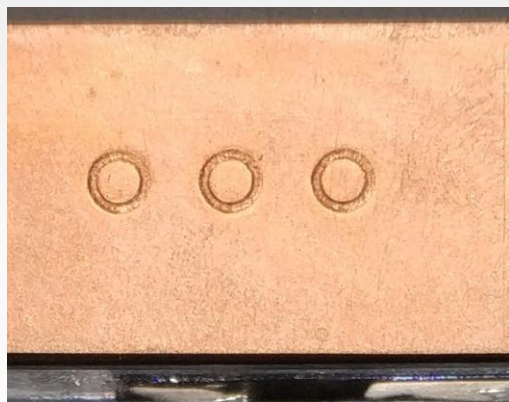
● 最常用的形式为：光纤+半导体激光复合焊接

● 其他形式如：光纤+绿光激光复合焊接

● 较小光斑的光束主要作用是实现期望熔深，较大光斑的光束主要作用是保证焊缝成型及过程稳定性



**6系铝合金角缝焊接**



**紫铜焊接**

● 光纤+半导体激光复合焊接铝合金效果较好，通常半导体激光光斑直径4倍于光纤激光

● 光纤+绿光激光复合焊接紫铜效果较好，主要原理是利用紫铜对绿光的吸收率较高

# 手持焊接



1



## 操作简单

➤ 无需专业培训，学习成本低。

2



## 方便快捷

➤ 手持操作，无需复杂工作台支持。

3



## 适用性广泛

➤ 对于常见的金属材料均可焊接。

4



## 不受工件结构限制

➤ 对于产品种类繁多，频繁更换型号的生产类型尤其适用。





焊接头形式



角焊、立焊



拼焊



叠焊

实施形式

● 最常用的形式为：常规焊接型、摆动焊接型

● 常用匹配激光器：RFL-C1000S、RFL-C2000S



# 案例



角缝 (阴角)  
焊接



角缝 (阳角)  
焊接



拼焊

● 焊缝美观

● 焊件无变形

● 广泛应用于卫浴行业、眼镜行业、五金行业、汽车行业、医疗行业、电子行业、家居、厨具卫浴等行业，并逐渐取代传统的焊接方式

# 核心光源 锐科制造

THANK YOU