



车身激光焊接工艺规划及过程缺陷对策

□ 湖北美洋汽车工业有限公司/姜楚山 姬大鹏 刘金龙 金鹏 张欢喜 张江涛 王愚名

阐述了激光焊接技术的基本原理及应用现状，并结合新车型项目车身激光焊接系统，从工艺规划到量产实现的工业化验证，探讨了车身激光焊接工艺规划、质量控制、过程缺陷对策及对产品设计的不要求。

随着国内外汽车工业的飞速发展，消费者在汽车外观及安全性上也提出了更高的要求。尤其在白车身车顶、侧围、后盖等直接影响整车美观及安全性区域，传统的点焊和弧焊技术越来越不为广大消费者接受。激光焊接作为一种高质量、高精度、低变形、高效率和高速度

的焊接加工方法，正成为金属材料加工与制造的一种非常重要的工艺方法，越来越广泛地应用在汽车制造领域。

激光焊接技术属于熔融焊接，是以激光束为能源，使其冲击在工件接头处以达到焊接目的的技术。根据焊接工艺的不同分为激光钎焊

(laser brazing)和激光熔焊(laser welding)。其主要区别是激光钎焊母材不熔化只熔化填充焊丝，而激光熔焊母材熔化。

激光钎焊是利用激光作为加热源，采用熔点低于母材的填充材料(钎料)，将钎料和连接部位加热到母材熔点之下，钎料熔点之

上，将钎料熔化填满母材间隙，然后冷凝形成焊缝的焊接过程。当被连接的零件和钎料加热到钎料熔化，利用液态钎料在母材表面润湿、铺展与母材相互溶解和扩散，以及在母材间隙中润湿、毛细流动、填缝与母材相互溶解和扩散而实现零件间的连接。利用高能激光束加热并熔化钎料填充焊缝及并通过熔融钎料的润湿作用连接母材形成永久连接效果，如图1所示。激光钎焊由于焊缝成形美观，可以直接用于白车身顶盖、流水槽、行李箱盖等车身可视部位。在实现密封与连接功能的同时，省去了车身外观的装饰条，降低了相应制造成本。这种焊接方式不仅自动化程度高、焊接速度快，而且还可以更加方便地进行任何复杂形状的焊接。

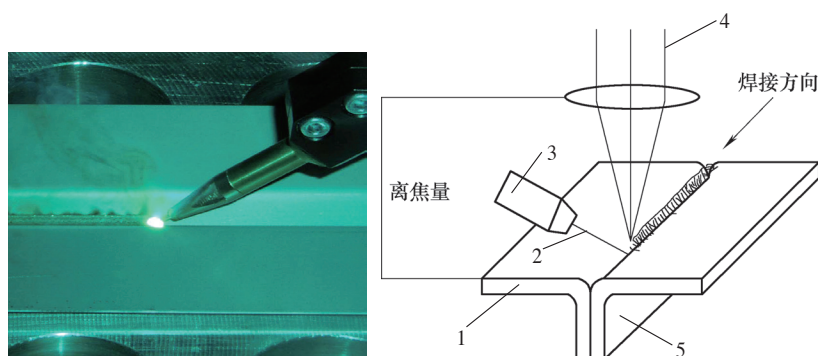


图1 激光钎焊工艺示意

1.顶盖 2.焊丝 3.送丝嘴 4.激光束 5.侧围

车身激光焊接工艺规划

1. 车身激光钎焊系统规划的主要原则

车身激光钎焊系统要求焊接件的装配精度高，光束在工件上的位置不能有明显偏移；激光焊接技术复杂，涉及到光学、焊接、自动化系统工程等专业技术，使得激光钎焊系统调试的难度较大，无形中增加了技术成本。

激光器及其相关系统的成本较高，一次性投资较大，且系统设备需要专业维护，激光头、光源等核心设备故障停机或损坏后，修复难度大，因此在系统规划中要做到以下几点：

- 1) 合理选用激光焊接设备，保证激光焊接系统设备的完整性。
- 2) 科学的车身激光钎焊工艺流程规划，确保工业化可行性。
- 3) 根据产品实际焊接需求合理选择设备参数以实现投资精益。

2. 车身激光钎焊系统

1) 激光焊接工艺系统主要包括激光源、激光光纤、激光焊接头、冷却器、机器人系统、激光焊房、自动化控制柜、工装夹具、抽风系统及送丝机等。如图2所示。

激光焊接工艺系统核心设备功能如下：

激光源：产生激光后耦合并输出成一定功率及波长的激光光束，是

焊接系统的热源供应。其功率大小要与激光焊接速度成正比（ $\leq 6\text{kW}$ ）。

激光光纤：传输激光器发出的激光束到激光焊接头，增加系统的加工柔性。

激光焊接头：激光加工工具。不同的激光焊接工艺选用不同的激光加工工具，激光头对传输激光经过校准处理后，可以变成具备一定加工性能的能量光束。

冷却器：激光的产生会发出大量的热量，为了保证激光源的工作，需要使用冷却器来保证激光源温度恒定。

机器人系统：分焊接机器人和搬运机器人。焊接机器人根据零件外形调用轨迹程序及焊接参数；搬运机器人负责搬运顶盖工装。

激光焊房：使焊接在封闭空间内进行。

控制柜：是激光焊接系统的总指挥官。

工装夹具：保证零件装配尺寸、焊缝位置精度。

抽风系统：高功率的激光器进行焊接时，会产生对人体有害的气体，抽风系统可排除产生的烟雾及有害气体。

送丝机：预热焊丝，为激光钎焊提供稳定速度的焊丝。

2) 要做好车身激光钎焊系统规划，输出让客户满意的焊接件产品，需要从车身制造源头进行工艺控制。其中车身主焊线的工艺规划起着至关重要的作用，现结合公司新车型项目，详细介绍车身激光钎焊工艺流程。如图3所示。

顶盖上件点定：车身激光钎焊对于车身骨架的几何尺寸和顶盖与

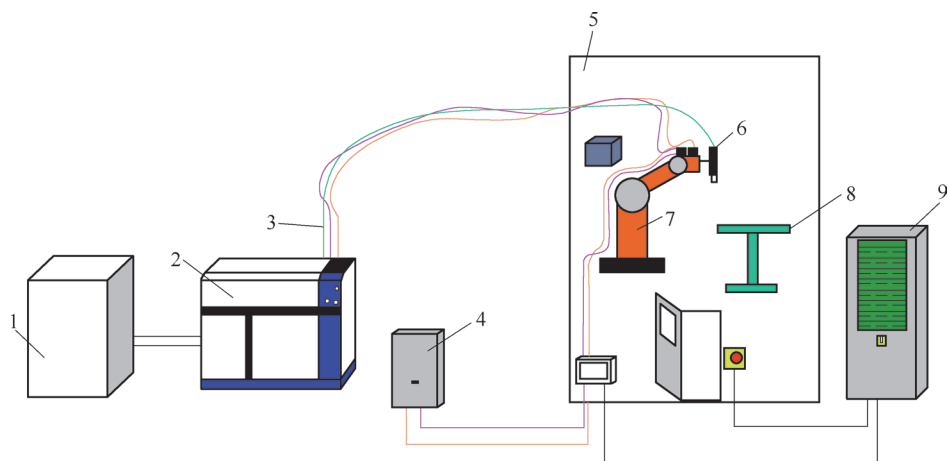


图2 车身激光焊接工艺系统示意

1.冷却器 2.激光源 3.激光光纤 4.机器人控制器 5.激光房 6.激光焊接头 7.机器人 8.夹具和零件 9.控制柜

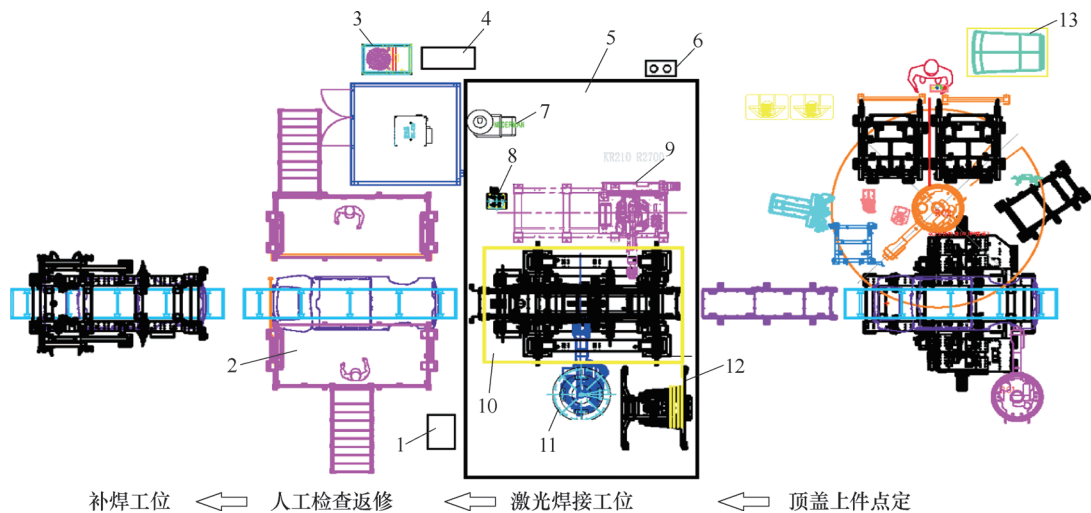


图3 车身激光焊接平面布置

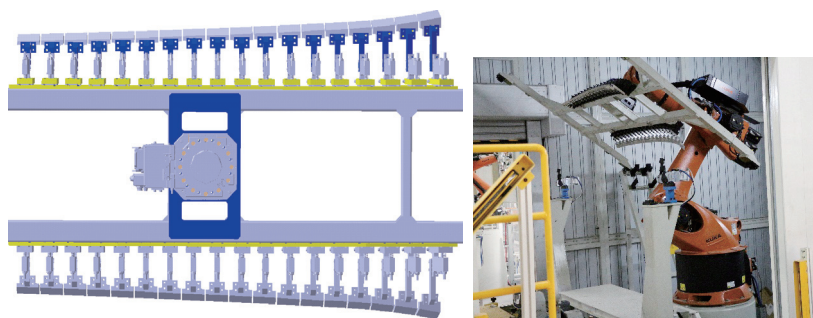
1.配电柜 2.检查返修工作台 3.恒温恒湿激光源房 4.冷却器 5.工艺柜 6.激光焊房 7.操作盒 8.除尘器 9.试焊台
10.七轴激光焊接机器人 11.车身定位工装 12.顶盖工装搬运机器人 13.顶盖浮动工装 14.顶盖

侧围拼接的焊缝间隙有着严格的要求和很高的敏感度，而车身总拼和顶盖上件工位工装能够有效地保证车身几何尺寸和基准的重复性和稳定性，尤其是车身开度，由此来保证顶盖与侧围间隙的可控和可调。为获得合格的激光焊缝间隙，顶盖采用精定位方式装配在车身上，通过焊接前使用浮动式对中台进行装配。顶盖上件后同时，在顶盖前后各焊接两个焊点，一方面确定顶盖

在车身的基本位置，另一方面保证后序顶盖压紧工装对焊缝间隙的调整余量。

激光焊接工位：激光焊顶盖压紧工装，是控制顶盖与侧围拼接的焊缝间隙的关键。它采用了分块式弹性压头设计，可以通过增减调节垫片和调节弹簧的弹性系数来调整工装对顶盖的压紧力，以达到辅助调整顶盖与侧围拼接的焊缝间隙的目的。这种设计分块式弹性压头的

工装，如图4所示，目的是尽量降低因零件本身型面不稳定而造成的夹紧间隙的波动。此外在靠近焊缝区域的主定位夹紧面分块设计，将整个定位夹紧面均等分割为多个小块，每个小块均由各自的弹簧驱动实现夹紧。分块设计比起整体设计更有利于夹紧面的散热，大大减小了夹紧面在焊接过程中的受热变形，同时分块设计也使得主夹紧面可分开调整，更有利于整条焊缝夹紧间



(a) 浮动工装设计数据

(b) 浮动工装实景照片

图4 车身激光焊顶盖压紧工装

隙的均匀一致。

人工检查返工位：但由于激光焊接的高度敏感性，难免会出现细微的质量波动。为了保证激光钎焊输出的产品完全符合客户需求，在节拍满足的范围内预留设计了人工检查返工位，对不能满足质量要求的车辆进行返修。

补焊工位：激光钎焊后，完成顶盖剩余焊点的补焊工作。

3. 车身激光焊接房的设计要求

(1) 总体设计要求。根据总平面布置及工位布置要求设计详细的平面布置图，包括生产线及工艺设备的布置、物流布置、安全门的位置、紧急停止开关（两个相邻的紧急开关的距离不超过20m）、料箱位置及防撞装置等。布置图应包含地面、空中布置，如操作平台高度、断面、空中输送装置断面图及设备基础断面图等。设备的布置应充分考虑人的操作性及设备维修的方便性，便于维修人员接近设备需维修的部位。若设计中有设备基础，则需考虑维修空间、维修照明、必要的地漏及维修人员出入的安全性和方便性等。

(2) 环境要求。激光源、光纤、激光头等设备的运行，要求温度低于35℃（光纤高温冷却水最高设置温度35℃左右，避免产生温差），相对湿度控制在65%以内。如果光纤、激光头内部冷却水与现场环境的温差大，在湿度较大的情况下，可能造成光纤、激光头结露，造成镜片烧损的故障，可以采用工位排烟除尘设备，对激光焊房内的环境进行空气净化，并且维持整个激光焊房内的温湿度环境在合理的范围内。

(3) 安全防护。激光是一种波长从极短的紫外线到远红外线的电磁辐射能量，大功率激光器的激光光束能量巨大，对眼睛和皮肤伤害较大，因此激光焊接要在一个封闭的空间激光焊房内进行。

激光焊房的安全防护需做到以下几点：

- 1) 保证激光焊房的不透光性（Tuv认证）。
- 2) 做好激光焊房的安全回路保护、危险标识。

3) 激光房门上观察窗探测波长（供应商可与设备技术门协商后决定是否安装此窗，但摄像设备必须根据标准安装）。

4. 车身激光焊接视觉监控

激光焊接监控自动化的关键之一是熔池的实时监视，因此，跟踪传感器的选择成了一个至关重要的前提。激光焊接视觉监控系统是用视觉传感器来收集焊接过程图像信息，通过对采集图像信息的处理提取出有关焊接过程状态的参数信息，以达到对焊接过程进行检测的目的。激光焊接系统实际应用中，需配有与激光束同轴的照相机，另外配一个液晶显示器，且能加装十字交叉光标发生器，产生的光标与照相机通过液晶显示器显示工作焦点、焊丝位置与焊缝位置是否重合，另外激光光源可以发射先导激光束，以供激光焊接头光路校准和焊缝调试之用。

5. 车身激光焊接参数的选择

焊接参数包括焊接速度、激光功率、能量密度、送丝速度及送丝电流等。焊接速度取决于能量密度，能量密度越大焊接速度越快，焊接功率与送丝速度保持在1:1左右，速度2 500~4 500mm/min。激光钎焊为热丝焊，电流保持在120A左右。考虑焊缝间隙大小、焊丝的直径等参数影响，根据实际调整。根据现场调试的一组激光钎焊指导工艺参数见表1。

车身激光焊接常见缺陷对策

合格的激光钎焊焊缝必须表面清洁，焊缝外观润湿充分，钎料必须分布均匀，无气孔、无裂纹、无夹杂、无过烧留下的黑斑、无表面波浪不平整、无焊缝塌陷、无锯齿边、无焊缝稀薄以及无起始或收

表1 车身激光焊接指导工艺参数

序号	速度(与节拍有关)/(mm/s)	功率(功率计测量)/W	电流(送丝机)/A	发射	类别
1	45	2 500	120	是	开光
2	50	2 850	120	是	开光
3	55	3 000	120	是	开光
4	60	3 250	120	是	开光
5	65	3 500	120	是	开光
6	70	3 600	120	是	开光
7	75	3 750	120	是	开光

尾处过渡不好等缺陷。因为激光钎焊缝一般都很长，强度远远高于车身体整体焊接强度，所以微小的气孔和夹杂是可以允许的。在工艺要求上，当气孔或夹杂的截面积/焊缝截面积 $S \leq 10\%$ ，且气孔或夹杂本身的直径 $\phi \leq 1\text{mm}$ 是被工艺允许的。当超出这个范围时，应当找出解决方案。

根据现场调查得出影响激光焊接质量的主要因素如下：

- (1) 激光设备参数。包括激光功率、激光功率密度 ρ 、聚焦位置、焦点大小、加工速度及焊接机器人精度，机器人的焊接姿态。
- (2) 激光焊丝参数。包括送丝速度、送丝电流、冲角大小及焊丝预应力。

(3) 其他因素。包括焊接板材材料、零件的匹配、零件尺寸是否稳定、焊缝截面、表面质量以及焊接板材匹配间隙是否小于 0.3mm 。

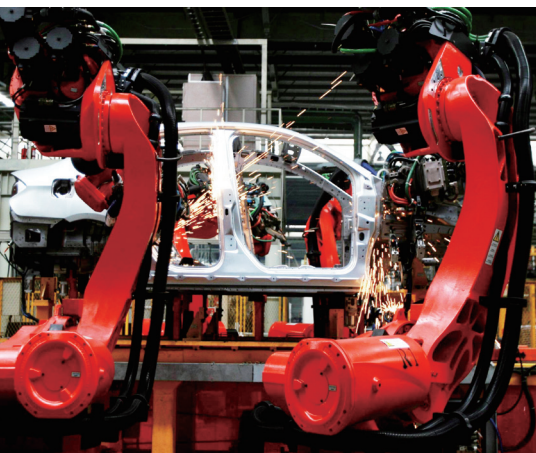
针对各种不同缺陷做出了原因分析及解决方案对策，详见表2。

通过以上方案对策的实施，激光焊接质量得到了稳步提升，气孔

表2 激光焊过程缺陷对策

序号	问题描述	原因分析	解决措施
1	气孔	1) 激光功率与焊接速度不匹配(功率过大)。 2) 焊缝间隙波动超幅，导致焊接参数不匹配。 3) 焊缝表面有油污	1) 适当调小激光功率。 2) 优化焊接参数。 3) 零件表面保持清洁
2	锯齿边	1) 光斑与丝对中偏差。 2) 光斑直径过小。 3) 激光功率不足，导致融池流动性不够	1) 调整光斑与丝对中。 2) 调大光斑直径。 3) 增加功率
3	焊缝塌陷	1) 板材配合处焊缝间隙过大。 2) 送丝机出丝不稳	1) 调整使焊缝间隙在 0.3mm 内。 2) 检查送丝机工作状态
4	焊缝表面波浪不平整	1) 保护镜片污损，导致能量分布不均。 2) 送丝机出丝不稳(马达电流过高等)	1) 更换保护镜片。 2) 检查送丝机工作状态
5	焊缝首尾端多丝	1) 未能正常激光剪丝。 2) 起弧点关光延时和关丝延时设置不当	1) 考虑用机械剪丝代替激光。 2) 调整起收弧处关光延时和关丝延时
6	焊缝表面鳞状堆积	送丝量过大，与功率不匹配	适当降低送丝速度
7	连续间断性漏焊	1) 光斑焦点位置偏离。 2) 机器人焊接姿态不当。 3) 激光光斑直径过小	1) 调整光斑尺寸及位置。 2) 调整机器人姿态
8	连续焊偏	光斑能量分布不均，导致焊缝一侧未焊上	调整光斑位置及大小尺寸
9	瘤状假焊	1) 钢板预热不足，焊丝能量吸收不足。 2) 机器人焊缝跟踪姿态不当。 3) 光斑对中不好，光能量不能正常熔化焊丝	1) 调整焊机预热电流。 2) 调整机器人焊缝跟踪姿态。 3) 调整光斑对中
10	咬边	1) 咬边处能量密度过大。 2) 光斑两侧能量不均匀	1) 适当减小能量密度。 2) 调整光斑位置及尺寸大小

夹杂等平均不良率在6%以内，其他缺陷不良率控制在0.3%以内。



结论

(1) 激光头、光纤插头光路污染或结露问题。激光头、光纤插头的降温水与环境温湿差过大，现场湿度高则容易引起结露导致激光头、光纤插头烧损。

采用集中式排烟除尘系统能加快激光焊房内外的空气流通，改善现场环境降低结露风险。

(2) 激光焊气孔缺陷。气孔是较难控制的焊接缺陷，除了通过调整焊接速度、激光功率、零件表面清洁度优化改善，还需要进一步

研究探索提升良品率。

针对已出现的气孔缺陷，可以采用快速钢修补剂进行缺陷修补，提高修补效率。

(3) 焊缝间隙。间隙理论设定为0.3mm时（局部变化），激光钎焊钎材选择直径为 $\phi 1.2\text{mm}$ 的硅青铜焊丝，焊缝填充效果最好、焊道强度最优，为了避免缺陷形成，焊丝针丝实际直径需要控制在1.15~1.21mm内，焊缝实际间隙控制在0.25~0.45mm以内为宜。

AUTO1950

（上接第20页）

点；其次，记录冲压件与辅助支撑之间的间隙；夹紧状态下，用塞尺检测匹配部位的间隙，结合冲压单件的检测数据，判断问题制件，做出相应整改要求。

冲压件的匹配验证是一项多轮次的反复性工作，从匹配验证工作开始到问题关闭通常需要验证2~3轮。以问题清单的形式进行匹配跟踪管理，可使匹配问题管控更有效。管控表的内容形式详见表2。

持续改进阶段

匹配验证活动的目的是提升冲压件的质量，保证白车身总成焊接精度。但在焊接工装上开展匹配验证用到的零件特征仅为基准孔、基准面、支撑面及匹配面等关键特征，仍有螺母孔、内外饰装配孔等部分特征无法在白车身匹配过程中暴露出问题，因此，匹配活动结束后，白车身关键尺寸能够得到保

表2 白车身匹配问题跟踪管控

序号	
工位编号	
工位名称	
提出日期	
提出人	
问题	
示图	
问题零件号	
原因分析	
解决方案	
责任人	
计算完成时间	
工件进度	
关闭状态	
备注	

证，整体合格率可能仍有提升空间。

根据驾驶室总成的装配关系，结合冲压件尺寸精度对白车身及驾驶室总成的精度贡献量，将冲压件的特征按照功能划分为关键特征、

重要特征及一般特征三种。关键特征尺寸必须保证，重要特征尺寸根据白车身匹配及内外饰装配情况维修调整并保持稳定，一般特征尺寸精度根据冲压模具的维修量及维修成本等情况综合评定。依据白车身的测量报告的结果，分析制定冲压件的质量提升计划，分步实施，实现白车身的最终质量目标。

结语

冲压件的开发从零件数据开始设计到模具最终验收合格是一个相对漫长的过程，过程中包含的各个环节相互制约，质量保证方案繁杂。本文针对冲压件开发全过程的各主要环节进行质量保障方案的设计，在最短的时间内实现白车身的质量目标，为后续新产品冲压件的开发提供质量保证方面的经验参考。AUTO1950