

等离子钎焊技术在白车身焊接中的应用

杨洪期，籍鹏飞，冯杨

中国汽车工业工程有限公司 天津 300110

摘要：随着汽车工业的发展，众多新材料、新工艺、新设备和新技术也随之发展。等离子钎焊具有焊接飞溅小、焊缝成型美观、焊接变形小、焊接速度快和易实现自动化等特点，在车门窗框、机盖、尾门、顶盖和侧围等薄板部位具有非常好的应用前景。介绍了等离子钎焊的原理、优缺点、系统组成和常见缺陷及原因分析。

关键词：等离子钎焊；焊接设备；汽车白车身

等离子钎焊技术与传统的焊接技术相比，具有焊接速度快、能量密度集中、电弧温度高、易控制以及热稳定好等特点，近年来在机械制造行业得到了越来越广泛的应用^[1]。随着中国汽车工业水平以及消费者需求的不断提升，对汽车外观提出了更高要求，也推动了汽车制造工艺和装备的升级和更新。汽车四门两盖的板材一般不超过1mm，刚度稍低，且焊缝经常作为可视面呈现给消费者，而传统的点焊外观面不够平整，采用MIG或TIG等弧焊焊接工艺时，又存在焊接变形大、飞溅高及破坏镀锌层等缺点，而等离子钎焊技术避免了传统连接技术的缺点，因此等离子钎焊逐步在汽车行业得到了应用^[2, 3]。

等离子钎焊原理

在金属的两电极之间连通合适的电压和气体，气体经电离后部分或全部电离后会形成等离子体，同时再加以高频振荡器激发，金属表面的电子在磁场力作用下，从阴极飞向阳极，在飞向阳极的过程中，不断

撞击中性的气体分子和原子，进而再产生大量的电子和正离子，这样不断形成的电子、正离子和中性分子不断碰撞，在电离产生的光和热作用下，进一步电离，如此往复，电子和正离子呈爆炸式增长，从而形成等离子弧^[3]。等离子弧和其他几种常见的焊接热源的能量密度比较如图1所示。

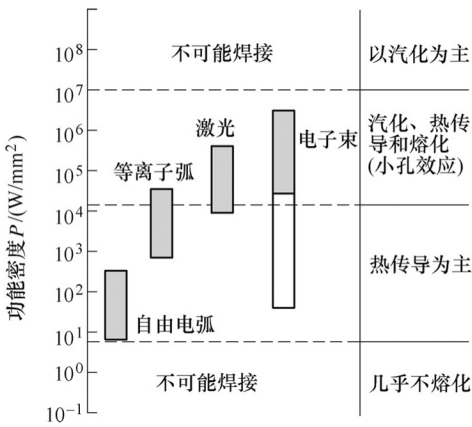


图1 等离子弧和其他几种常见的焊接热源的能量密度比较

在钨极氩弧焊的基础上，通过焊枪将等离子体进行机械压缩、电磁压缩以及热压缩，等离子体的速度、温度和能量密度均得到明显提升，即所需的等离子弧。

等离子钎焊（Plasma arc brazing）是在TIG钎焊基础上进行改进的工艺，通过强冷的喷嘴将电弧压缩，即将等离子弧作为热源的一种钎焊工艺，等离子弧主要用于加热钎料，钎料的熔点比母材熔点低，所以在热源作用下，钎料熔化，而达不到母材的熔点，熔化的钎料进入焊接接头处，填充间隙，润湿母材，形成焊缝^[4, 5]。等离子钎焊时，焊接电流、焊接速度和送丝速度等作为关键焊接参数，必须采用匹配的各参数，才能保证获得良好的焊接质量。等离子钎焊工艺的示意图如图2所示。

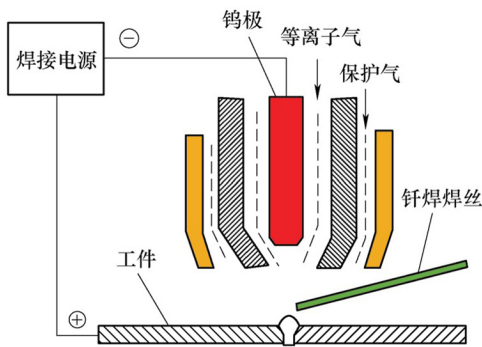


图2 等离子钎焊工艺示意

以下是等离子钎焊质量的关键因素：

- 1) 离子焊机的设备参数，包括焊接电源的功率/容量及焊接电流。
- 2) 焊丝参数，包括送丝速度、预热电流、焊丝直径、焊丝与板材的水平及高度距离。
- 3) 焊接速度。
- 4) 板件参数，包括板材材质和镀锌层、搭接间隙及表面清洁度。
- 5) 其他，包括保护气体、等离子气体、机器人轨迹和姿态。

等离子钎焊特点

等离子钎焊的主要特点是利用高能量密度的等离子弧实现钎料的熔化以及母材的轻微加热，实现薄板的连接，是一种无飞溅、无气孔、低返修，且能实现自动化、柔性化的高效连接工艺。

1.主要优势

- (1) 焊接速度快 等离子钎焊工艺可实现100%自动化，焊接镀锌板时焊接速度最高可达3m/min，而焊接铬镍钢时的焊接速度最高可达6m/min。
- (2) 能量密度高，焊接变形小 等离子弧经强冷的喷嘴压缩后，能量密度急剧提高，可将能量主要用于熔化焊丝，减少了母材的热输入，使得焊接变形非常小^[6, 7]。
- (3) 焊缝美观 焊接过程中无飞溅，焊缝平整，焊缝余高可控制在2mm以内，减少或避免了后续的打磨工作。对于镀锌板，镀锌层汽化少，焊接烟尘少。
- (4) 低设备投入和安全要求 和激光钎焊相比，由于未使用激光器，故无需激光房和激光源房防护。前期设备投资和后期维护成本约为激光钎焊系统的十分之一。

2.不足之处

- (1) 电弧偏吹 虽电弧经压缩，电弧挺度提高，但电弧偏吹问题仍不可完全控制和避免，且对焊接质量有负面影响。
- (2) 调试难度大，焊接质量稳定性差 由于板材的搭接间隙和尺寸对等离子钎焊质量有直接影响，且等离子钎焊工艺对搭接尺寸较为敏感，故焊接质量稳定性较低。等离子弧无法像激光钎焊一样，在调试阶段使用引导光，也增加调试的难度和周期。在调试过程中需将单个零件的尺寸、工装夹具的稳定性和等离子焊枪的角度及位置等调整到理想的匹配状态，才能获得稳定的焊接质量。

等离子钎焊系统设备构成

由于汽车制造行业对生产效率和自动化率的要求越来越高，除部分返修工艺采用人工焊接外，其他都是以机器人等离子钎焊应用于白车身制造领域^[8, 9]。等离子钎焊常用的设备主要包括：机器人及机器人控制器、焊接电源及控制系统、焊枪、等离子气和保护气供气系统、水冷系统及送丝装置。等离子钎焊系统的主要设备如图3所示。

- (1) 机器人及其控制器 机器人主要夹持等离子焊钳到焊缝处完成焊接。机器人主要以ABB、KUKA、FANUC和YASKAWA四大家族为主。

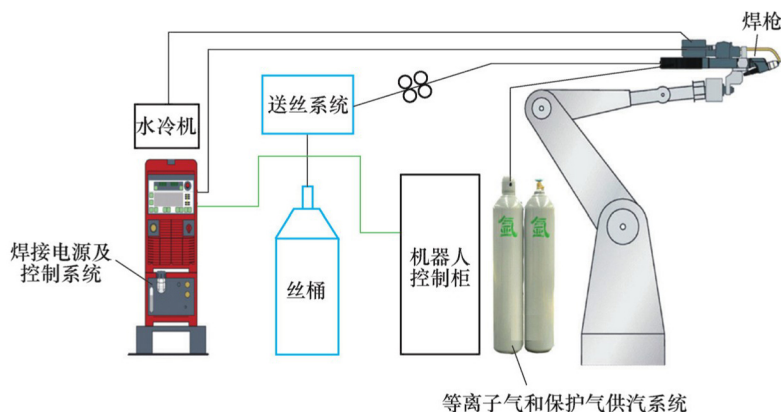


图3 等离子钎焊系统设备组成

(2) 焊接电源及控制系统 通常会将控制系统和电源集成到一台设备上。等离子弧焊的焊接电源一般具有陡降或者恒流外特性。电流波形不同，焊接电源分为直流等离子弧焊电源、交流等离子弧焊电源以及变极性等离子弧焊电源。由于铝合金焊接需利用阴极雾化清理氧化层，故铝合金的等离子钎焊常采用交流或变极性等离子弧焊电源。钢件等离子钎焊的焊接电源一般选择直流等离子弧焊电源。控制系统对焊接参数和过程控制具有决定性作用，是得到优良焊缝的关键。目前常用的弧焊电源品牌主要有SBI、FRONIUS和INOCON等。

(3) 焊枪 焊枪对等离子弧的稳定性和拘束度有重要影响，因此对钎焊质量影响很大，也对焊枪的结构设计和制造工艺有很高要求。

(4) 等离子气和保护气供气系统 等离子气主要用来形成等离子弧，而保护气体是用来保护焊缝不被氧化。等离子钎焊所用的气体主要取决于焊件母材。白车身镀锌板通常选用氩气作为等离子气和保护气。

(5) 水冷系统 对焊枪进行冷却。

(6) 送丝装置 将焊丝均匀稳定的从丝桶输送到焊枪处。送丝系统常用的是Fronius VR1500系列和Binzel MFS系列。钎焊焊丝主要是CuSi₃。

此外，热丝系统、钨极自动更换系统和焊缝跟踪系统可根据具体使用需求进行选配。热丝系统通过外接电源，在焊丝和车身之间形成回路，将焊丝加热，可进一步提高焊接速度。钨极更换系统可实现钨极的自动更换，进一步提高自动化率。而焊缝跟踪系统可保证在板件尺寸细微变动的情况下，焊缝仍能在最佳位置。

常见缺陷及原因

1. 焊缝偏移

- 1) 机器人轨迹偏离焊缝位置。
- 2) 板件搭接间隙超差。
- 3) 送丝机故障。如送丝速度不均匀、或者送丝速度过慢。
- 4) 电弧偏吹，如风等外界环境干扰或接地极分布不合理。

2. 塌陷

- 1) 焊接电流过大，热量过高，导致母材被烧穿，形成塌陷。
- 2) 送丝速度过低。
- 3) 机器人速度不均匀。
- 4) 等离子气体流量偏大，电离产生的能量增加，热输入过大。

3. 假焊

- 1) 焊接电流偏小。
- 2) 焊接速度过快。
- 3) 等离子气体流量偏低。

4. 焊缝始端和末端焊瘤、烧穿

- 1) 剪丝机故障。
- 2) 开关丝和引弧、收弧时间不匹配。

5. 焊缝表面不均匀

- 1) 送丝机送丝不稳定。

(下转第50页)

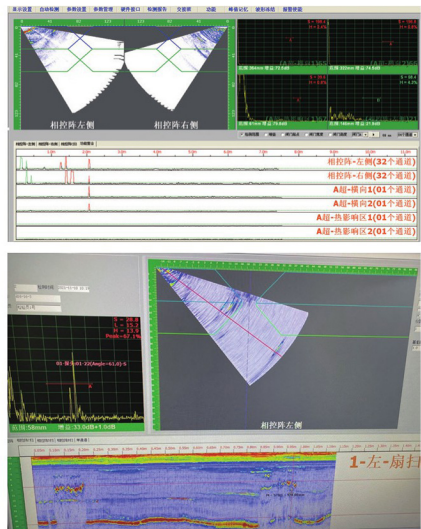


图6 检测界面示意

每个挖机动臂的检测结果如有缺陷，则在相应位置标出。对于异常声波处的A扫原始数据，给出横纵坐标的二维数据，第三方软件可以凭借着这些数据不借助相控超声检测仪检测分析软件重新生成一个新的A扫曲线或者用于其他数字处理。探伤记录文件、报告等自动生成可通过网络进行传输至局域网进行信息共

享、传输，也可拷贝到U盘或刻录成光盘，通过专用浏览软件可查看容器的详细探伤数据，也可供第三方软件调用。

结语

本文完成了对机器人代替人工探伤检测作业的构想，实现了挖掘机动臂焊接缺陷检测的自动化、智能化和机器人化，提升了探伤检测的工作效率，达到了智能化、准确化的技术要求。并且该系统已经应用到现实工程项目中去，得到了稳定生产验证。

参考文献：

[1] 阮晴. 超声无损检测缺陷识别方法研究[D].长沙：国防科学技术大学，2011.

[1] 石锋，谢建平，梁桢东. 超声波探伤检测的影响因素分析及监督与控制[J].科学技术与工程，2012，12（25）：6448-6453.

[1] 王吉岱，闫磊，陈广庆. 基于递阶控制的爬壁机器人控制系统设计[J].自动化与仪表，2013，28（6）：10-12. **AUTO1950**

(上接第45页)

- 2) 机器人姿态不合适。
- 3) 焊丝和等离子弧位置不匹配。
- 4) 导丝嘴磨损使得焊丝抖动。

结语

和传统的焊接工艺相比，等离子钎焊具有生产效率高和焊接质量优良等特点，而和激光钎焊相比，又具有明显的成本优势。随着等离子技术和汽车材料轻量化等技术的发展，等离子钎焊工艺和设备将越来越先进，焊接质量控制更加简单、可行，等离子钎焊工艺有望取代激光钎焊技术，在白车身制造中得到更广泛的应用。

参考文献：

[1] 张文毓. 等离子弧焊技术研究进展与应用[J].现代焊接，2010（9）：1-4.

[2] 陈颢. 汽车白车身激光焊接质量影响因素研究[D].湖南大学，2011.

[3] 张坤，王小虎，王延峰. 汽车车身等离子钎焊应用技

术研究[J].汽车文摘，2021（9）：34-37.

[4] 史耀武. 中国材料工程大典22卷, 材料焊接工程(上)[M]. 北京：化学工业出版社，2006.

[5] 张晓东，彭炜，邹伟全，等. 等离子弧钎焊技术的原理与设备开发[J]. 焊接技术，2020，49（3）：69-73.

[6] Suk H G, Killing R, Chung W H, et al. Arc Brazing in the Automotive Industry - Plasma Brazing versus[J]. MIG-Brazing-Advantages and Disadvantages, 2006，24（2）：5-9.

[7] B. Bouaifi, B. Ouaisa & A. Helmich (2002) Plasma arc brazing in sheet metal construction[J]. Science and Technology of Welding and Joining, 2018, 7（5）：326-330.

[8] 侯志敏. 焊接技术与设备[M]. 西安：西安交通大学出版社，2011.

[9] 李亚江，王娟，夏春智. 特种焊接技术及应用[M]. 2版. 北京：化学工业出版社，2008. **AUTO1950**