

# 激光焊接技术在金属制品加工的应用

文 | 资明庚，陈福纳 · 珠海格力电器股份有限公司

## 引言

随着现代消费市场的发展与消费观念的转变，消费者对工业制品的外观与质量等要求也越来越高，在选择商品时也更加注重个性化的特点，为抓住消费市场的发展机遇，制造业企业需要不断探求更加高效经济的生产方法，开发引进更加先进高效的制造技术。激光衍生技术作为一种现代化的光学基础应用技术，在影视、医学、印刷、工业制造等领域的研究应用在不断推进，其中激光焊接作为一种细分的工业制造技术，相比传统的焊接技术具有独特的物理特性优势，在工业制造领域的应用也越来越广泛。

激光焊接是一种应用激光发生束作为能量源的热加工技术，是一种非接触式的组合加工技术，在工业制造领域，同电子束、电火花、等离子束和传统机械加工相比较，具有许多不可替代的优点。而诸如二氧化碳气体保护焊、氩弧焊、电弧焊、反应焊等传统焊接工艺方式，在能量输出时相对发散、弥漫，普遍存在焊缝质量不佳、人员劳动强度大、作业环境差等问题，且需要填充的焊剂量较多，焊接完需要经过后工序的打磨

平整，导致整体加工成本的增加，不利于企业的综合效益提升。通过引进先进的激光焊接技术，优化企业实际金属制品的激光焊接工艺，进一步完善激光技术、焊接技术、自动化技术、工装夹具技术及自动检测在焊接工序的应用，反向促进产品工艺结构设计的合理性，形成标准体系下的系列产品结构特征，使其更加适用于自动化的加工方式，并在激光焊接的前工序应用自动化的加工方

式，保障焊接半成品来料的一致性，控制焊缝宽度在设定公差值范围内，减少焊丝填充后焊缝的盈余高度，消除后工序的打磨平整作业，改善现场作业环境，实现焊接质量稳定性与生产效率的双向提升。

## 激光焊接技术的分类与应用

按照激光焊接工艺形式的不同，可分为激光自熔焊、激光复合焊、激光双



图 1 一种可调控的激光自动焊接工作站系统

光束焊、激光-场耦合焊、激光填丝焊、激光填粉焊等，不同的工艺形式，其焊接过程的反应机理及影响因素也略有不同，当前家电行业应用最广泛的为激光自熔焊接和激光复合焊接工艺，其主要优势在于技术相对成熟，设备设施投入成本较低，可操作性较强，能够适应手持激光焊接的灵活性要求。

激光焊接从最初的热传导激光焊到现在多场耦合的激光焊接研究，使得激光的应用领域不断扩大。激光焊接在工业制造领域的应用创新也在不断推进，如通过PLC集成控制技术的应用，将焊接工业机器人与激光焊接装置进行交互设计，开发能够并入联网监控系统的激光自动焊接工作站，并且应用参数调控系统对焊接过程的工艺参数进行实时的反馈调控，有效保障激光焊接过程的稳定性，如图1所示为一种可调控的激光自动焊接工作站系统。

#### 激光自熔焊接工艺

激光自熔焊接工艺是激光焊接最基础的工艺方式，一般由于自动化加工的半成品来料，其无需填充焊剂，因此对焊缝的宽度尺寸与焊缝质量一致性要求较高，而人工操作加工的半成品无法保障焊缝的质量一致性，因此还需进行焊缝尺寸修整后才能使用激光自熔焊接工艺。

激光自熔焊接属于非接触焊，具有抗电磁干扰、无污染的优点，但由于激光自熔焊的光斑直径小，焊接热循环过程中的升温速度和冷却速度都极快，因此，对焊接过程中熔池温度场、流场以及温度场对材料的影响等方面的研究难度较大。同时，激光自熔焊接还存在焊接间隙适应性差以及对焊缝的成分和组织控制困难等问题，因此该技术常用于



图2 激光自动焊接的金属法兰盘结构

来料结构稳定性较好的金属制品，如壁厚大的汽车结构件、管道法兰盘等，如图2所示为一种采用自动化激光自熔焊接的金属法兰盘连接装置。

#### 激光复合焊接工艺

激光复合焊接工艺是一种采用激光增强焊接效果的融合加工技术，通过将激光焊接与其他焊接方法进行工艺的集成，电弧焊、气体保护焊等，从而形成新的焊接工艺，其优点是采用适当的参数设置与集成控制，能够进一步发挥单一焊接方法的优势并削弱各自的不足。

激光复合焊接技术中应用最为广泛的是激光电弧复合焊接技术，该工艺能够得到比激光焊接工艺更加优异的焊缝质量。

#### 激光-场耦合焊接工艺

激光-电磁场耦合焊接是通过外加电磁场抑制激光等离子体的屏蔽效应并改善熔池的流场，从而增大焊接效率，提高焊接稳定性，改善金属板材焊接组织质量，不仅可以减缓焊缝冷却速度，抑制裂纹的出现，而且能够提高材料对激光的吸收率，从而增加焊接熔深，是

当前主流的研究方向之一。

激光-振动场耦合焊接是基于振动时效发展起来的焊接工艺，可归类为振动焊接。该工艺的基本原理为利用一定频率的振动场来破坏掉熔池表面的等离子屏蔽层，从而增大熔池对激光的能量吸收率，以实现用较小的功率焊接更大厚度的金属板材，通过施加高频振动可促进焊缝晶粒细化，且增加了熔体的流动性，因此枝晶的数量和大小均得到控制，等轴晶的数量增加，晶粒尺寸减小而显微硬度增大，焊缝的成形质量也会更好。

### 激光焊接的实际应用

激光焊接技术由于其优越的能量控制输出方式，已被广泛应用于航空航天、新能源汽车、船舶集装等行业，且适用于特种高强度金属材料的焊接，如钢筋、横梁、支撑结构等，并且在薄板的低温焊接方面也有独特的应用前景。近年来激光焊接也在家电制造领域快速发展，市场前景广阔，通过合适的激光焊接工艺引入，也可进一步提升家电产品的制



图 3 一种飞行器主体框架结构

造效益。

#### 激光焊接技术在航空领域的应用

航空器的制造是极其复杂的过程，焊接是其主要零部件制造、装配、检修等过程中必不可少的重要工艺之一，焊缝质量的好坏直接关系到航空器的可靠性和运行状态。

随着行业对航空器服役年限、可靠性、成本、性能的设计及制造要求不断提高，越来越多的新型高性能复合型材料以及复杂的结构在飞机及航空发动机设计中被应用，如整体框架、壁板、整体叶盘/叶环、离心叶片、定向凝固叶片、粉末化合金及复合材料构件等，如图3所示为一种采用激光焊接的飞行器主体框架结构。新型高性能复合材料、复杂结构设计的快速推广应用，在提高航空器装备性能的同时，也对包括了对加工工艺技术，如焊接技术在内的航空器制造及修理提出了更高的要求。

相较于传统焊接工艺，使用激光焊接不仅能改善焊接质量，减少结构的变形和残余应力，还能够提高效率，缩短工期，符合航空器市场化应用的发展趋势。激光焊接的能量密度高、热输入量

低等技术优势，再结合工业机器人、视觉检测系统、自动送丝（送粉）系统的集成应用，易于实现自动化、柔性化的批量化制造，对于需要在高空与狭小空间进行焊接作业的部件，激光焊接也同样具有环境友好的优势，其特点能够支撑小型手持焊接设备的开发，因此激光焊接技术在全球航空器制造产业中占据越来越高的地位。

随着高功率激光器技术的不断突破发展，激光束流品质的不断提高，激光焊接技术实现了由传导焊向深熔焊的根本性转变，应用范围进一步扩大，在航空制造及修理中重要性也不断提高。

#### 激光焊接技术在家电领域的应用

目前家电领域的钣金壳体与结构件普遍采用热镀锌板、不锈钢板、铝板等，材质属于普通金属材料的范畴，加之激光焊接有其相对独特的工艺优势，因此，激光焊接工艺在相关产品的应用发展迅速，推广过程主要考虑的是焊接质量、焊接效率与综合成本。

#### 激光焊接在不锈钢接水盘零件的应用

接水盘零件作为家电类产品的常用

零件，主要应用于空气调节器水冷机组、中高端洗衣机等产品，零件壳体承受的水压大，对焊缝的密封性要求较高，且需满足耐腐蚀的要求，常采用304不锈钢作为原材料，传统的制造方式多采用电阻点焊+电弧焊的工艺模式，主要问题点表现为：电阻点焊虽可有效减小接水盘零件的焊接变形，但焊点处存在明显的压痕，焊点数量较多，影响零件的质量一致性，且不锈钢材料的硬度与强度为普通镀锌板的5倍左右，后工序打磨时消耗人力物力大大增加，打磨一条焊高在1.2mm，长度为100mm的不锈钢焊缝平均需要花费5分钟，是热镀锌板的7倍，整体制造成本是增加的。

而引入激光焊接后，对前工序的来料精度要求更高了，消除了电阻点焊的压痕问题，焊接后焊缝一致性较好，且做到了平均焊高小于0.2mm，直接减少了后工序打磨的工作量，通过进一步优化焊接参数设置，还可减少焊接后余高，甚至消除后工序的打磨作业。

#### 激光焊接在热镀锌板支撑架零件的应用

作为家电产品的主要结构骨架，支撑架类零件生产批量大，该类零件设计结构一般为长条状壳体，厚度在3.0~5.0mm之间，考虑到该类零件形状较为规则，焊缝呈空间直线分布状态，有利于组装与承重，由于该类零件在箱体内部主要起框架支撑作用，其不直接接触外界环境，因此对外观形态要求不高，目前，对于支撑架零件的主要焊接工艺是电弧焊。由于镀锌层的存在，由于锌的低沸点，在电弧刚接触到镀锌层时，锌层迅速气化，产生的锌蒸气向外喷射，很容易使焊接产生熔渣粒子、

气孔、飞溅，造成焊缝面的平整度存在较大差异，后续使用易氧化，导致结构强度降低。

针对批量化支撑架类零件，为改变现有的焊接工艺弊端，设计采用激光自动焊接工作站的方式，集成六轴焊接工业机器人、激光焊接发生装置与自动送丝系统、柔性化夹具工作台，通过集中控制系统实现自动化的焊接加工，并设计柔性化的工作台夹具，针对支撑架系列零件的不同型号能够进行快速的定位与装夹，从而实现零件的快速切换，通过手持机器人末端焊枪，对焊接路径进行示教，因此可大大降低自动化焊接操作难度，如图4所示的一种激光自动焊接工作站。通过自动化焊接工作站的应用，可以减少专业的焊接操作人员投入，实现该类零件的批量化自动焊接加工，优化焊缝质量，提高结构稳定性，有效提升了零件批量化生产时的效益。

商用支撑架零件在采用自动化激光焊接方式时，因激光能够以较大的能量密度在小的间隙下穿透焊缝，且焊接运行路径与焊接过程中平稳，形成的焊缝整齐，质量一致性好，消除了后工序的打磨作业，有效提升了零件加工整体的生产效益，从力学性能测试数据上看，采用激光焊接后的焊缝强度可较电阻点焊提升30%左右。但在实际生产过程中，要从原材料、工艺参数、前后工序进行规范标准，各工序加工时要求严格遵守相关工艺规程，减少不稳定因素的干扰，提升各环节可控性，最终保障激光焊接质量达标。

## 激光焊接的无损检测

质量是衡量一种加工工艺优劣的基本属性，焊缝成形质量是一种隐性的特



图4 工业机器人激光自动焊接工作站

征，无法通过肉眼直接进行判断，为了在激光焊接过程中获取更有效的焊件信息，结合视觉成像技术的发展，可开发基于机器视觉、热源分析等的激光焊接焊缝智能检测方法。

为了检测激光焊接后的焊缝质量，利用机器视觉技术设计焊接工件的扫描成像装置，扫描获得基础的激光焊接焊缝图像后，对图像进行特定的误差校正与补偿处理，然后在补偿图像缺陷的基础上，对激光焊接焊缝的扫描图像进行光学显微，应用动态聚焦光路技术分析识别焊缝的对比性特征信息，实现对焊缝状态的快速智能检测。

还有一种是热分析检测技术，即在分析红外辐射定律和热成像技术原理的基础上，使用移动热源成像技术获取焊缝显微信息，应用成像分析软件计算出焊件表面的温度场分布情况，然后根据温度情况判断工件结构是否存在焊接缺陷。

在实际应用中发现，无论是焊接后的扫描成像分析检测，还是焊接过程中的热源分析检测，都难以从现有图像中

获取更多目标细节信息。为此，在采用上述方法进行检测的同时，需要建立标准化的检测信息参考数据库，并且开发对应的数据匹配与分析软件，每次的检测数据都要对应到标准参数以及检测数据的系统性维护，如工件的材质、成分、厚度、尺寸、结构，设备的功率、速度、路径等，这样随着检测数据的累计与数据库的完善，后续即能够根据数据库分析软件的检测结果快速优化激光焊接的参数设置，从而提高焊接加工效率与焊件质量。

## 结语

制造技术的优化创新是推动现代工业发展的驱动力，激光焊接作为一种衍生于光学研究的现代化制造技术，其输出具有稳定、集中、高效、精细等特点，在连接高强度、优质金属及合金材料等方面有着其他加工工艺无法比拟的优点。而激光焊接搭载自动化技术后，焊接效率与质量一致性也得到了提升，进一步提高了企业的生产效益。MFC