

# 不锈钢薄板激光焊接工艺分析

吴江明

(中核北方核燃料元件有限公司 内蒙古 包头 014030)

**摘要:** 在不锈钢薄板焊接施工过程中,对激光焊接工艺进行充分应用发挥着至关重要的作用。激光焊接技术的效率比较高,可以对焊接质量进行有效控制,能够提高焊接精度,焊接热影响区相对较小,产生的焊接变形量也相对较小,具有一次成形的优点。在此次研究中,主要了解不锈钢薄板材料的主要特点,分析激光焊接工艺的应用现状,并通过实验分析不锈钢薄板激光焊接过程中,工艺参数对焊接质量产生的具体影响,利用科学合理的措施对不锈钢薄板激光焊接操作进行有效控制,进一步提高不锈钢薄板焊接质量。

**关键词:** 不锈钢薄板;激光焊接;技术要点;质量控制

## 0 引言

不锈钢薄板在生物制药、微电子精密仪器制造和航空航天等领域中都有所应用,但是不锈钢薄板的壁厚相对较小,仅在0.3mm以下,焊接难度比较大。现阶段,在不锈钢薄板焊接过程中电阻焊一般为搭接接头,会对器件的应用性能和外形美观度产生影响。为了提高不锈钢薄板的焊接质量,可以对激光焊接进行有效应用。激光焊接作为精密连接方法,功率密度比较高,变形度也比较小,焊缝相对较短,并且在激光焊接完成后,获取的光斑相对较小,可以精确定位。这决定了激光焊接更适合不锈钢薄板焊接工作。

## 1 不锈钢薄板材料特点

作为我国经济发展过程中的重要材料,不锈钢薄板在很多环境中都有所应用,其具有较强的耐腐蚀性能,可以在船舶制造、航天、汽车、建筑和压力容器等行业充分发挥作用。其中奥氏体不锈钢作为不锈钢应用最为广泛的类成形,生产吨位是所有不锈钢最大的类成形。奥氏体不锈钢强度和低碳钢强度相当,但是其低温冲击韧性更加适合在低温环境中进行应用,同时奥氏体不锈钢在高温环境中也可以充分发挥作用,其工作温度可以达到760℃以上。但是工作温度比较高,强度和抗氧化能力会受到影响。

不锈钢薄板除了包含不锈钢的耐腐蚀性能之外,可以满足其轻量化应用需求,可以大大降低其应用成本,并保证其应用动力。近些年来我国工业化进程不断加快,不锈钢板的使用性能要求在不断提高。为了充分发挥不锈钢薄板的应用优势,需要重视不锈钢薄板加工精度控制工作。焊接加工是不锈钢薄板加工中不能缺少的重要环节。如果利用传统电弧焊很容易产生焊接变形,无法

满足工业使用要求。因此,需要对先进的焊接技术进行充分应用,减少焊接变形。可以利用能量密度比较集中的激光焊接方法提高不锈钢薄板的焊接质量<sup>[1]</sup>。

## 2 激光焊接工艺应用现状

激光焊接工艺作为目前应用比较广泛的焊接方法,技术越来越成熟完善,其应用成本不断降低。因此,激光焊接具有广阔的应用前景。与传统焊接方法相比,激光焊接速度更快,能量密度相对较高,产生的热影响区相对较小,可以保证焊缝成形质量。除此之外,激光焊接还可以完成局部小范围加热。激光焊接的应用优势决定了其在汽车、航空航天工业中具有突出的应用优势,在薄板合金材料连接方面具有突出作用,可以完成电子器件薄片焊接<sup>[2]</sup>。

与传统焊接方法相比,激光焊接操作过程中包含局部加热和冷却操作,奥氏体不锈钢利用传统焊接方法在焊接时可能会存在一定缺陷。虽然利用激光焊接方法能够在一定程度上保证焊接质量,但是仍然会存在凝固裂纹、金属晶粒粗大或者气孔等问题。再加上不锈钢薄板本身的稳定性比较差,可能会存在焊后变形问题。此外,脉冲激光焊接工艺在操作时瞬时功率密度比较高,在焊接中产生飞溅,也会对不锈钢薄板的焊接效果产生一定影响。因此,在不锈钢薄板激光焊接过程中,需要对焊接变形、飞溅、气孔和凝固裂纹等问题进行有效控制,同时还要对脉冲激光焊接工艺的具体操作参数进行研究,为焊接工作提供有效参考。

## 3 不锈钢薄板激光焊接工艺

### 3.1 确定焊接材料和焊接方法

在此次焊接过程中需要完成30mm×30mm×0.2mm的奥氏体不锈钢薄板焊接作业,状态为固溶处理。在焊

接过程中采取的焊接方法为无填充焊丝的激光对接焊。在焊接操作过程中,氩气流量为5L/min,聚焦镜的焦距为55mm,焊接速度保持在2.5mm/s,光斑直径为0.3mm。在焊接操作时电流、频率和脉宽需要以实验的可行性为基础节省材料,同时减少试验次数。对3个参数进行正交试验,并分析焊接过程中电流、频率和脉宽对焊接质量产生的具体影响<sup>[3]</sup>。

### 3.2 试验结果

#### 3.2.1 正交试验结果

通过此次试验过程中获取的参数和对应的焊接接头抗拉强对比分析可以确定焊接电流为82A、脉冲频率为22Hz、脉冲宽度为2.0ms时,抗拉强度值达到567MPa为最大值,为母材的97%。在实验条件相同的情况下,母材的抗拉强度为585MPa。这一组工艺参数为焊接操作的最佳水平。在分析焊接电流对焊缝抗拉强度产生的影响时,工艺参数为最佳水平时,影响最大,脉宽对焊缝抗拉强度的影响次之,脉冲频率对焊缝抗拉强度的影响最小。

#### 3.2.2 焊接技术与焊接接头微观形态的联系

在不锈钢薄板脉冲激光焊接操作过程中,焊接成形与微观结构变化都会影响焊接接头的承载力,工艺参数会随着影响出现一定变化。为了准确把握工艺参数对焊缝中组织微观形态产生的具体影响,需要对不同工艺参数下焊接接头的实际形态进行分析。经过对比研究可以确定在实验过程中,焊接电流为80A时,其他参数不变,脉冲频率和脉冲宽度存在差异。脉冲频率增加,脉冲之间的停留时间会缩短,导致焊接接头的能量增强,可以有效地防止未融合情况的发生。在实验过程中焊接电流较小,产生的热量相对较小,但是焊缝存在明显的凹陷,出现弧坑。此时,焊缝的抗拉强度相对较小。焊接电流为82A时,焊缝成形状态良好,且光滑平整,并且母材交界部位与焊缝之间的过渡相对圆滑,应力集中水平相对较小。

对焊缝区进行观察,可以发现激光产生的能量从上到下产生一定影响,熔池金属按照一定顺序接收激光能量,而受顺序凝固现象影响会产生晕圈。因此,在不锈钢薄板焊接过程中,焊缝抗拉强度可以达到最大值。此外,受不同因素影响,电流、热源能量等会导致焊缝外部出现明显的热量累计,使焊缝组织出现不同程度的过烧现象。对金属损害程度进行对比,出现蝶状发黑部位,主要是因为脉冲宽度上升,脉冲宽度增加的情况下,焊接接头接触的能量面积增加,接头获取的能量更大。脉冲频率对焊缝的影响相对较小,造成的组织过烧现象比较严重<sup>[4]</sup>。

#### 3.2.3 焊接接头微观组织分析

在焊接接头微观组织分析时,主要利用金相显微镜

对抗拉程度最高的焊接接头中微观组织情况。在焊缝中心区域的组织成分为等轴晶,等轴晶晶粒分布比较均匀,颗粒相对较细。因此,可以保证焊缝力学性能稳定。在焊缝边缘和母材交界部位的微观组织主要以柱状晶为主组成,柱状晶质地比较细腻。在焊缝和母材的交界部位热影响区几乎不可见融合区,因为柱状晶会成为焊缝最薄弱的区域,在拉伸时可能会出现较大的断裂风险。

## 4 保证不锈钢薄板焊接质量的措施

### 4.1 加强焊缝平面度质量控制

在不锈钢薄板激光焊接质量控制过程中需要重视焊材质量,尽可能减少工件发热量,减少发热面积,对焊接操作过程中的电流、电压、焊接速度和焊缝宽度等进行严格控制。在使用夹具进行压紧压平时,需要对夹具进行科学选择,还要对快速冷却装置进行应用。焊缝长度在125mm以上时,必须对焊缝的收缩率进行充分考虑。

一般情况下,在焊接操作中,小电流焊接可以减少工件变形量。在压板调平过程中可以增加其与工件的传导面积,而增加夹具的加紧力也可以对工件变形量进行控制。这些都有利于对焊缝平面度进行质量控制<sup>[5]</sup>。

在焊缝直线度控制过程中,受焊接操作人员的熟练程度影响相对较大。为了对焊缝直线度进行有效控制,需要加强焊接人员考核培训。对焊缝收缩率进行控制时,重点在工件拼接时起始点禁止留间隙。在结束后要根据焊缝的长度及材料厚度收缩率留一定间隙。材料厚度不同,收缩率不同。一般情况下,不锈钢薄板材料的收缩率相对较小。

### 4.2 对焊缝高度和宽度进行有效控制

在质量控制过程中需要重视加送丝速度、焊接直径、焊接电流和工件间隙大小等控制。通常情况下,焊缝高度与送丝速度和焊接直径为成正比关系,而焊缝高度与焊接电流和工件间隙和焊接速度为反比关系。在不加丝焊接操作过程中,焊接速度、工件间隙大小和电流大小等都会对焊缝高度和宽度产生影响。焊缝高度与焊接电流、工件间隙和焊接速度都为反比关系;焊缝宽度和焊接电流为成正比关系,与焊接速度为反比关系。在操作过程中,对不同的操作参数进行有效控制可以提高焊缝高度和宽度控制水平。

### 4.3 对焊缝均匀性进行有效控制

焊缝的均匀度会对工件焊接质量产生直接影响。在激光焊接操作中,控制难度相对较高。主要是人工操作受操作人员的熟练程度和专业能力影响相对较大,并且焊缝均匀性与焊接的牢固性、美观性和平面度也存在一定联系。在对焊缝均匀性进行有效控制时,需要重视操作人员的技能考核,保证操作人员的熟练度。

#### 4.4 对焊缝颜色进行控制

在不锈钢薄板焊接施工过程中,焊缝颜色在一定程度上能够显示出焊接质量,并且能够表现气体保护状态、冷却状态、焊接电流和焊接速度等是否合理。为了保证焊缝颜色控制效果,在具体的操作过程中可以采取以下方法。

##### 4.4.1 重视气体保护

通常情况下,在焊接操作过程气体流量为5~25L/min。在此次不锈钢薄板焊接操作过程中使用的气体流量为5L/min。气体流量比较合适,可以保证焊缝颜色的稳定性。如果气体流量比较小,气体挺度相对较差,排开空气的能力会受到影响,最终对气体保护效果产生影响;气体量相对较大的情况下,会导致卷入空气或者紊流,气体保护效果下降。喷嘴直径较大时,会对气流流速影响,导致流速降低,出现挺度不足,保护效果下降的问题。

在施工过程中需要关注环境风速对气体保护作用产生的影响,如果风速超过规定值,导致保护气体紊乱,需要增加气体流量,降低风速对焊接操作产生的负面影响。在不锈钢薄板焊接施工过程中需要在焊缝部位通冷却水及时进行冷却,增强其冷却效果。

##### 4.4.2 保证工件的热传导效果

在提高焊接牢固性的基础上要利用小电流尽可能减少热量产生,对不锈钢薄板的焊接质量进行有效控制。同时还要加强焊接速度控制工作,如果焊接速度比较快会导致工件温度仍然处于较高水平时移出气体保护范围,直接影响焊缝的稳定性;如果焊接速度比较慢,在单位时间内对工件的热量增加会导致焊缝变色严重。

#### 4.5 对起弧和收弧进行有效控制

在激光焊接操作过程中,因为设备和操作人员的技能差异影响,起弧和收弧部位可能会出现较多缺陷。在对这些问题进行解决时需要采取以下措施。

##### 4.5.1 充分利用引弧板与收弧板

在工件上可以增加一定长度的引弧板或者收弧板,完成焊接作业后及时去除,有利于保证焊接质量。

##### 4.5.2 减小起弧和收弧电流

降低电流的提升速度可以有效防止在焊接操作中出现熔蚀和咬边问题。

#### 4.6 对裂纹情况进行有效控制

在不锈钢薄板焊接过程中出现的裂纹情况主要是因为有害元素含量影响,再加上激光焊接的操作难度比较大,操作不熟练可能会出现裂纹。为了对裂纹问题进行有效控制,需要解决有害元素产生的限制,在焊缝中加入细化晶粒元素。在工艺上可以利用引弧板或者收弧板

及时将弧坑移出工件外防止裂纹产生。除此之外,在工件焊接操作过程中,焊缝在冷却后都具有一定的收缩性,如果焊缝距离比较长,收缩性越大。焊接材料越厚收缩性越大。除此之外,焊接电流大小也会对收缩性产生一定影响。焊接速度和冷却速度等都是影响焊接完成后收缩率的重要因素。因此,在激光焊接操作时需要对这些工艺参数进行有效控制。

## 5 结语

综上,在不锈钢薄板激光焊接操作过程中,焊接电流对焊缝的成形效果和焊接质量产生的影响相对较大。除此之外,脉冲宽度也会对焊缝成形质量产生一定影响。焊接过程中的脉冲频率对焊缝成形质量产生的影响最小。在此次不锈钢薄板激光焊接操作过程中,对激光焊接工艺参数进行控制时,可以将焊接电流控制在82A、脉冲宽度为2.0ms、脉冲频率为22Hz,可以确保不锈钢薄板焊接质量最优,焊接接头的抗拉强度达到最大值,为母材水平的97%。在焊接接头微观组织观察过程中,焊缝的中心区域由细小柱状晶和等轴晶构成,稳定性相对较好,发生断裂的可能性也相对较低。此外,在焊接过程中焊缝热影响相对较小,可以进一步保证焊接质量。在之后的不锈钢薄板激光焊接操作过程中,可以从不同角度发出,对不锈钢薄板的焊接质量进行有效控制,加强激光焊接操作人员技术培训,并保证激光焊接操作水平。这对推动激光焊接工艺的进一步发展及其广泛应用有积极意义。

#### 参考文献:

- [1] 王浩军,张兵宪,李静,等.激光焊接工艺对304不锈钢薄板搭接接头组织性能的影响[J].热加工工艺,2021,50(1):30-34+39.
- [2] 郭国林,杨莉,柳健.激光功率对304不锈钢薄板搭接接头组织和性能的影响[J].热加工工艺,2016,45(9):213-215.
- [3] 陈英杰,朱加雷,焦向东.304不锈钢激光搭接焊接头的组织及力学性能[J].电焊机,2017,47(2):76-79.
- [4] 叶银祥,李盟,马千里,等.激光焊接不锈钢薄板工艺研究[J].建筑工程技术与设计,2017(18):1109.
- [5] 辛立军,苏海,周岐,等.壁不锈钢薄板激光高速焊接的工艺研究[J].热加工工艺,2018(03):57-60.

**作者简介:** 吴江明(1984.10-),男,汉族,甘肃天水人,本科,工程师,研究方向:不锈钢材料激光焊接和不锈钢材料激光氩弧复合焊接。