

异种钢薄板搭接电弧钎焊与 MAG 焊工艺对比研究

王鹏飞 陈菲 刘晨

中车南京浦镇车辆有限公司，江苏南京，210031；

摘要：针对厚度 1.0mm 的 SUS304 不锈钢和 2.0mm 的 Q355GNHD 耐候钢搭接接头分别开展了 MIG 电弧钎焊和 MAG 焊接的对比测试。研究分析两种焊接方法后的焊缝表面质量、接头拉伸力学性能、接头宏观组织和微观组织。研究结果表明：MIG 电弧钎焊焊缝和 MAG 焊焊缝表面成形质量良好，MIG 电弧钎焊接头的拉伸强度为 527.29MPa，MAG 焊接头的拉伸强度为 564.20MPa，相比于 MAG 焊，MIG 电弧钎焊接头的热影响区更小。

关键词：不锈钢；耐候钢；MIG 电弧钎焊；搭接接头

DOI:10.69979/3041-0673.25.03.050

不锈钢和耐候钢异种钢焊接通常采用的焊接方法是 MAG 焊，但不锈钢与耐候钢由于材料特性不同，导致在熔化温度、热导率以及线膨胀系数等重要的热物理属性上存在显著差异，在焊接热源的影响下，不锈钢与耐候钢的变形和熔化速度不均匀，焊接后试件的变形程度大，焊缝成型会比较差^[1-2]。不同于传统的 MAG 焊接工艺，MIG 电弧钎焊具有焊接温度低、防腐性能优、焊件不易变形以及焊后成型美观等优点，是一种高效、节能的焊接方法，在 3mm 以下厚度的异种钢薄板焊接中具有天然优势^[3]。

本文对厚度 1.0mm 的 SUS304 不锈钢和 2.0mm 的 Q355GNHD 耐候钢搭接接头开展了 MIG 电弧钎焊和 MAG 焊接的对比测试研究，分析焊后焊缝表面质量、接头拉伸力学性能、接头宏观组织和微观组织，旨在为薄板异种钢焊接方法的选型提供参考依据。

1 试验设备、材料和方法

1.1 试验设备

在本次试验中，焊接设备使用的主要来自德国生产的 MIG/MAG 多功能焊机，该款焊机在焊接电流、电压等参数的调节中响应快、精度高，利用焊机自身的精准控制技术降低电弧重燃所需电流、保证电弧平稳，达到减小焊接线能量的目的，焊机的型号为 Alpha Q351 (E WM)。

1.2 试验材料和方法

试验母材为 SUS304 不锈钢和 Q355GNHD 耐候钢，厚度分别为 1.0mm 和 2.0mm。MIG 电弧钎焊钎料选用直径 1.0mm 的 CuAl18 实心焊丝；MAG 焊选用直径 1.0mm 的 ER309LSi 焊丝。焊接工件规格分别为 350mm×150mm×1mm

和 350mm×150mm×2mm，采用零间隙的搭接接头型式。

2 试验结果与分析

2.1 焊缝外观形貌对比

异种钢 MIG 电弧钎焊后焊缝成型美观，表面纹路均匀致密，焊缝两侧飞溅较少，未出现焊接裂纹和气孔等缺陷，整体形貌如图 1 所示。异种钢 MAG 焊后焊道表面相比 MIG 钎焊颜色偏暗，余高较大，但同样无明显表面缺陷。通过以上对比分析可知，经过 MIG 电弧钎焊和 MAG 焊的焊缝表面质量均良好。



图 1 MIG 电弧钎焊焊缝外观形貌

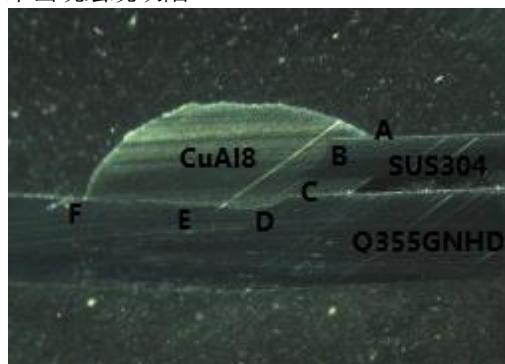
2.2 拉伸性能对比

针对异种钢 MIG 电弧钎焊接头和 MAG 焊接头分别进行了两次拉伸试验，拉伸曲线显示 MIG 电弧钎焊接头第一次试验焊缝断裂时的拉伸力为 6500N，第二次试验焊缝断裂时的拉伸力为 7100N，计算得知 MIG 电弧钎焊接头抗拉强度的平均值为 527.29MPa，是 SUS304 不锈钢母材平均抗拉强度（520MPa）的 101.41%，断口显示拉伸试样断裂在不锈钢母材上。MAG 焊接头两次试验断裂时所对应的拉伸力分别为 6900N 和 7400N，抗拉强度平均值为 564.20MPa，是母材抗拉强度的 108.50%，断口位置与 MIG 电弧钎焊一致，也是断裂在不锈钢母材上。根

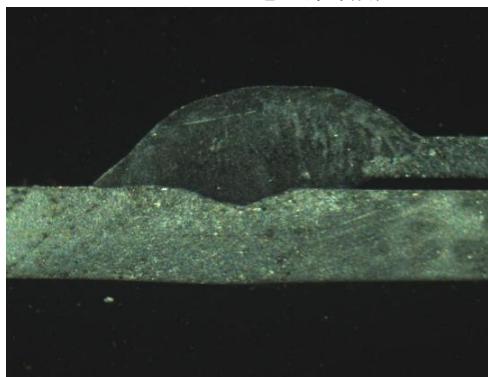
据以上结果可知, MAG 焊接头和 MIG 电弧钎焊接头的拉伸性能都较好, 强度均满足使用要求。

2.3 宏观形貌对比

MIG 电弧钎焊接头宏观形貌如图 2 (a) 所示, 从图 2 (a) 可以看出, 位于搭接上部的不锈钢母材, 在端头处有一些发生了熔化, 未发现宏观焊接裂纹缺陷, CuAl8 钎料润湿系数较大, 在 SUS304 不锈钢和 Q355GNHD 耐候钢上均展示了较好的润湿和铺展效果。MAG 焊接头宏观形貌如图 2 (b) 所示, 由图 2 (b) 可知, 不锈钢和耐候钢母材都出现了不同程度的熔化, 焊缝整体熔合良好, 未出现宏观缺陷。



(a) MIG 电弧钎焊接头



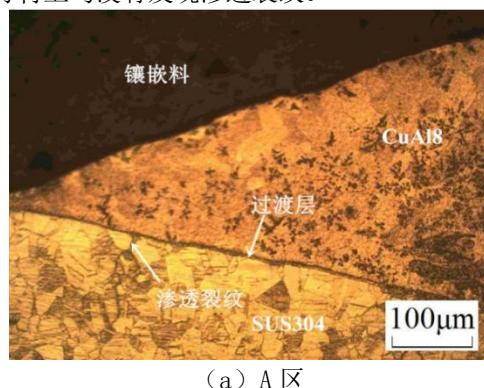
(b) MAG 焊接头

图 2 MIG 电弧钎焊和 MAG 焊接头宏观形貌

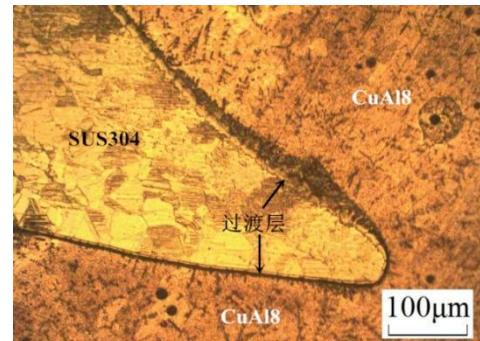
2.4 微观组织对比

针对图 2 (a) 中 MIG 电弧钎焊搭接接头中钎料与母材交界处进行了区域划分, 并对划分后的各个区域形貌进行放大观察, 得到钎料与母材交界处的微观组织, 如图 3 所示。图 3 (a) 所表示的是位于不锈钢母材上部的 A 区域, 在此区域不锈钢母材表层出现了较小程度的熔化现象, 经过熔化的不锈钢母材与 CuAl8 钎料混合在了一起, 混合后元素在彼此间进行了渗透扩散, 并在钎料与母材之间形成钎焊过渡层, 从图中可以看出过渡层较薄, 在不锈钢母材中发现了垂直于过渡层的渗透裂纹,

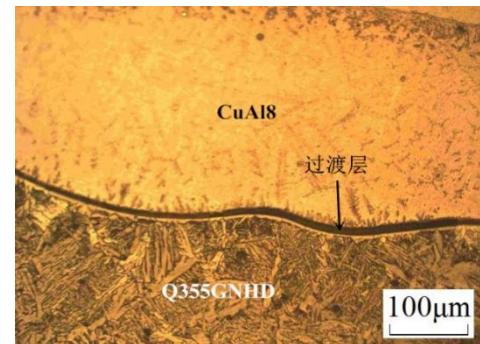
裂纹微小细长, 沿着母材晶界延伸。钎料作用于不锈钢的 B 区域母材熔化面积要比 A 区域大, 熔化现象更突出, 过渡层方向垂直向下, 过渡层的厚度也较大, 在此区域未出现渗透裂纹。图 3 (b) 显示的位置是位于搭接根部的 C 区域, 从图中可以看出部分 CuAl8 钎料渗透到搭接间隙处, 与焊缝处的钎料一起对不锈钢进行了包裹, 使得此处的不锈钢前部形成了尖端, 母材熔化最为严重, 搭接间隙处的过渡层细长, 上部的过渡层宽度较大。图 3 (c) 表示的是搭接处 CuAl8 钎料与 Q355GNHD 耐候钢母材的交界处 D 区域, 图中过渡层清晰可见, E 区和 F 区与 D 区微观组织相似, 随着离搭接处距离变远, E 区和 F 区中的钎料与耐候钢过渡层宽度逐渐变小, 但在耐候钢母材上均没有发现渗透裂纹。



(a) A 区



(b) C 区



(c) D 区

图 3 钎料与母材交界处的金相组织

对异种钢 MAG 焊接头进行微观组织分析, 靠近不锈

钢一侧母材组织主要是由等轴奥氏体晶粒所组成，直接位于焊接热源作用中心的焊缝金属区温度超过母材熔点，熔化的SUS304不锈钢与填充金属形成熔池，待熔池冷却过后，构成了铸态组织，由于冷却时间短，焊缝晶粒比较细小，柱状晶从熔合线位置往焊缝中心进行生长，呈现明显的方向性，在母材区和焊缝金属区之间存在着热影响区，这部分的组织同样受到焊接热循环的影响，但温度低于焊缝区，晶粒发生了不同程度的粗化，离焊缝中心越近，温度越高，高温停留时间越长，晶粒也就越粗大，热影响区中不均匀的过热组织使得该区域的塑性和韧性相对较低，在受到外界力的作用下，往往最容易先出现问题，从而影响整个接头的使用寿命。靠近耐候钢一侧的母材组织远离焊缝，焊接时未经历复杂的热循环过程，组织仍能保持原来的形态，呈现均匀细小的块状铁素体，临近母材的热影响区金属发生局部熔化，晶粒粗细不均，而焊缝中心的化学成分和组织较为均匀致密，机械性能相对较好。

由于MAG焊热输入量更大，所以相比于MIG电弧钎焊接头，MAG焊接头的热影响区范围更广。

3 结论

(1) 异种钢MIG电弧钎焊和MAG焊焊缝表面质量均良好。

(2) 异种钢MIG电弧钎焊接头的拉伸强度为527.29MPa，拉伸试样断裂在不锈钢母材上；MAG焊接头的拉伸强度为564.20MPa，拉伸试样断裂在不锈钢母材上。MAG焊接头和MIG电弧钎焊接头的拉伸性能都较好，满足使用要求。

(3) 相比于MIG电弧钎焊接头，MAG焊接头的热影响区范围更大。

参考文献

- [1] 张强，韩建民，张泽，等.高耐候钢与不锈钢焊接接头的微观组织与性能研究[J].热加工工艺，2014，43（13）：173-174，177.
- [2] 林丽恒，刁晓刚，罗海波.国内外异种材料钎焊的研究现状及发展趋势[J].焊接技术，2016，45（8）：1-5.
- [3] 马汉勇，屈健平，徐焕云，等.薄壁箱体结构的MIG钎焊技术应用[J].焊接技术，2016，45（3）：39-42.