

Research on the Influence of Welding Process Parameters on the Quality of Welding Joints

Qin Chen

Jiangsu Zhenjiang Technician College, Zhenjiang, Jiangsu, 212000, China

Abstract

This study explores the influence of welding process parameters on the quality of welded joints, and analyzes the effects of welding current, voltage, speed, and shielding gas flow rate on weld formation, mechanical properties, and defect control. A reasonable combination of parameters can effectively improve the tensile strength, impact toughness, and fatigue life of welds, and reduce the occurrence of common defects such as cracks, pores, and slag inclusions. In different industrial fields, optimized welding parameters have shown significant effects, improving welding quality, enhancing production efficiency, and reducing rework and material waste. After continuous optimization of the welding process, the overall performance of the welded joint has been significantly improved.

Keywords

welding process parameters; mechanical properties; welding defects; parameter optimization

焊接工艺参数对焊接接头质量的影响研究

陈琴

江苏省镇江技师学院, 中国·江苏 镇江 212000

摘要

本研究探讨了焊接工艺参数对焊接接头质量的影响, 分析了焊接电流、电压、速度和保护气体流量等参数对焊缝成形、力学性能和缺陷控制的作用。合理的参数组合能够有效提升焊缝的拉伸强度、冲击韧性和疲劳寿命, 减少裂纹、气孔、夹渣等常见缺陷的产生。在不同工业领域中, 优化后的焊接参数表现出显著的效果, 提高了焊接质量, 提升了生产效率, 减少了返工和材料浪费。持续优化焊接工艺后, 焊接接头的整体性能得到了明显改善。

关键词

焊接工艺参数; 力学性能; 焊接缺陷; 参数优化

1 引言

焊接技术广泛应用于机械制造、建筑、船舶、航空航天等多个工业领域, 焊接接头的质量直接关系到结构件的安全性和使用寿命。焊接电流、电压、焊接速度及保护气体流量等焊接工艺参数的选择, 对焊缝的成形、内部组织以及焊接接头的力学性能都有显著影响。优化合理的工艺参数, 可以提升焊缝的力学性能, 有效减少常见焊接缺陷, 保障焊接接头的质量稳定性。

2 焊接工艺参数的选择及其影响因素

2.1 焊接电流的影响

电流过大时, 容易导致过烧、焊缝金属的过度熔化, 甚至熔滴过渡不稳定, 引起焊缝塌陷、熔池氧化, 影响焊缝的外观质量和力学性能。电流过小时, 熔池的热量不足,

导致金属未能完全熔化, 焊缝与母材之间形成不连续的结合面, 容易出现未焊透的问题。因此, 选择合适的焊接电流需要结合焊接材料的特性和板厚要求进行调整。例如, 对于低碳钢, 通常选用的电流范围在 150~300A 之间, 电流过大会导致晶粒粗大, 降低焊缝韧性, 而电流不足则导致焊缝不连续, 影响接头的强度。

不同焊接电流对熔深和焊缝宽度的影响如表 1 所示, 数据对比发现: 当电流保持在 200A 时, 焊缝的熔深较为理想, 且拉伸强度达到较高水平。

表 1 不同焊接电流对熔深和焊缝宽度的影响

焊接电流 (A)	熔深 (mm)	焊缝宽度 (mm)
180	3.2	6.5
190	3.5	7
200	3.8	7.5
210	4.1	7.8
220	4.4	8

【作者简介】陈琴 (1991-), 女, 中国江苏南京人, 硕士, 讲师, 从事材料加工工程研究。

2.2 焊接电压的作用

焊接电压与电弧长度密切相关，电弧的长度决定了焊接时热量的分布和熔池的形成。电压增高时，电弧拉长，熔池的温度场变得更为均匀，焊缝的宽度增加，焊缝表面成形较为平整，熔深则相对较浅，无法达到完全熔透的要求。反之，电压降低时，电弧变短，热量集中于焊缝中央，熔深加大，焊缝的内部组织得以改善。过低的电压会导致焊缝表面不平整，熔池不易控制，容易出现未熔合、气孔等焊接缺陷^[1]。对于不同厚度的板材，需要选择不同的焊接电压。一般来说，薄板焊接电压相对较低，而厚板则需要更高的电压来保证焊缝的均匀性和熔深。例如，焊接电压在 20~26V 之间可以有效平衡焊缝宽度和熔深，确保焊缝既美观又具备较高的力学性能。不同焊接电压对焊缝成形和冲击韧性的影响如图 1 所示。

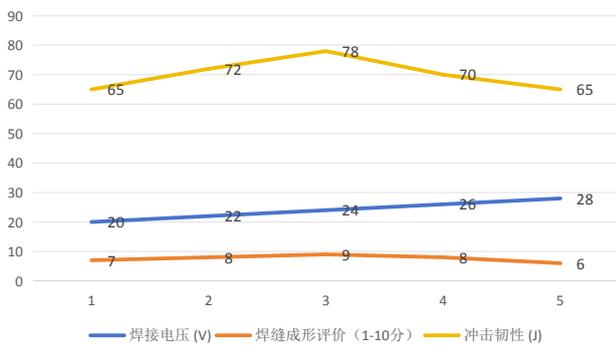


图 1 接电压对焊缝成形和冲击韧性的影响

2.3 焊接速度对接头质量的影响

焊接速度过快会导致热输入不足，熔池未能充分扩展和熔透，焊缝成形较差，出现未焊透、未熔合、气孔等缺陷。焊缝金属晶粒无法充分结晶，导致内部结构不均匀，焊缝的力学性能，尤其是抗拉强度和冲击韧性，会大幅下降。焊接速度过慢则导致热输入量过大，熔池体积增大，冷却速度减缓，焊缝的晶粒长大，焊接接头的抗裂纹能力下降，接头易发生热裂纹等问题。合理的焊接速度应结合焊接电流和电压进行优化调整，既要保证足够的熔深和熔池稳定性，又要防止过热或冷裂纹的出现。对于常见的中厚板焊接，焊接速度一般控制在 10~20cm/min 范围内，以确保焊缝外观成形良好，内部无明显缺陷，并能够在机械性能上达到设计要求。

2.4 保护气体流量的调节

过大的气体流量（例如超过 20L/min）会导致电弧不稳，熔池受干扰，焊缝出现气孔和夹渣，焊缝表面粗糙，内部缺陷增加。过小的气体流量（低于 10L/min）则无法充分隔离空气，氧化、氮化现象增多，导致焊缝金属脆性增加，缺陷出现几率加大，焊缝强度降低。

根据材料和焊接工艺，推荐的气体流量范围为 12~18L/min。对于厚板焊接，气体流量在 16~18L/min 时可以确保足够的保护，焊缝内部缺陷率降低至 3% 以内。而在薄板焊接中，

气体流量应控制在 12~14L/min，熔池稳定性增加，气孔和夹渣的缺陷率下降到 2% 以下。在风速较大的环境中需要将气体流量提升至 20L/min 以上，确保焊接区域的保护效果不受风速影响。

3 焊接接头的力学性能分析

3.1 拉伸强度与工艺参数的关系

影响拉伸强度的主要工艺参数包括焊接电流、焊接电压和焊接速度。电流过大会导致熔池温度过高，焊缝金属晶粒粗大，金属内部组织变得不均匀，接头强度下降，降低焊缝的延展性和耐冲击性能；电流过小则可能导致熔池未完全形成，焊缝与母材的结合力不足，影响拉伸强度。电流在 180~220A 范围内时，焊缝的拉伸强度较为理想。焊接电压对焊缝的成形起着重要作用，电压过高会导致焊缝宽度增加，但熔深减小，焊缝的拉伸强度会因此受到影响^[2]。当电压在 22~26V 时，焊缝的拉伸强度较高。焊接速度的调整则控制了焊缝的冷却速率，速度过快导致焊缝未充分熔透，拉伸强度下降，速度过慢则可能导致热影响区晶粒长大，接头韧性降低。将焊接速度控制在 12~16cm/min，有助于确保焊缝组织均匀，拉伸强度保持在较高水平。

3.2 冲击韧性测试与参数调整

焊接接头的冲击韧性反映了焊缝在动态载荷下抵抗断裂的能力，特别是在低温或剧烈变形工况下，冲击韧性尤为重要。焊接电流过大时，熔池过热，焊缝内部晶粒变得粗大，冲击韧性下降，易导致脆性断裂；电流过小则可能无法形成完整的熔池，焊缝存在未熔合现象，进一步降低了接头的冲击韧性。焊接电压控制着电弧的长度和熔池的稳定性，较高的电压有助于焊缝表面成形，但如果电压过高，熔深不足，焊缝的冲击韧性也会受到影响。焊接速度则影响熔池的冷却速率，速度过快会使焊缝冷却迅速，晶粒来不及充分结晶，导致焊缝内部应力增加，降低冲击韧性。一般来说，焊接电流控制在 190~210A 之间，电压在 23~25V 时，焊缝的冲击韧性表现最佳，焊缝金属能够有效抵抗动态冲击载荷而不发生脆性断裂。

3.3 硬度分布与焊接参数的关联

焊接接头的硬度分布是评估焊缝与热影响区之间组织变化的重要指标，硬度值的变化反映了焊接过程中材料性能的局部差异。焊接电流过大时，熔池温度升高，导致晶粒粗化，焊缝区域的硬度下降，而热影响区由于过热，金属的晶粒也发生长大，硬度值下降明显。焊接电流过小时，熔池的热输入不足，焊缝金属可能未能完全熔化，导致硬度值偏高，形成局部硬化区，影响接头的延展性。焊接电压对焊缝的宽度和熔深有直接影响，电压过高会使焊缝的硬度分布变得不均匀，尤其是热影响区的硬度差异更为明显。焊接速度过快则可能导致熔池冷却过快，热影响区硬度值过高，容易引发焊缝脆性断裂。

4 焊接缺陷与参数优化

4.1 焊接裂纹的形成与预防

焊接裂纹的形成分为热裂纹和冷裂纹。热裂纹出现在焊缝金属凝固时,焊接过程中熔池冷却过快,晶粒在凝固过程中产生的收缩应力较大,导致晶界处产生裂纹。冷裂纹多发生在焊接后的冷却阶段,由于残余应力与材料脆性增大,金属内部易产生氢致裂纹。当焊接材料中含有过量的氢元素,容易在冷却过程中形成氢致裂纹。预防焊接裂纹需要合理控制焊接参数,避免过大的热输入与过快的冷却速度,减少焊缝中的应力集中。

4.2 未焊透与焊接参数的调整

未焊透的成因是焊接热输入不足,焊接电流过小或焊接速度过快,导致熔池金属未能充分熔化和扩展,无法与母材完全结合。增加焊接电流、减缓焊接速度可以提高熔池温度和体积,使焊缝金属充分填充和熔合^[1]。对于厚板焊接,可采用多层焊或双面焊工艺,能有效避免未焊透问题,提高接头强度,提升接头的整体强度与耐久性。适当的坡口角度和间隙有助于熔池的流动与填充,合理设计焊缝的坡口形状与尺寸,确保金属融合良好。

4.3 气孔与夹渣的成因分析及对策

气孔的产生与焊接电压、保护气体的种类、流量和焊接速度有直接关系。当焊接过程中保护气体不足或气体流量控制不当,导致空气或其他有害气体进入熔池,形成气泡,气泡在焊缝金属冷却过程中未能及时逸出,凝固成气孔。或者当焊接电压过高或过低时,电弧稳定性受损,熔池中的气体难以充分逸出,容易形成气孔。夹渣的产生通常与焊接过程中熔渣未能及时排出有关,焊接电流过小或电弧操作不当,都会导致熔渣残留在焊缝中,形成夹渣。解决气孔和夹渣的关键在于合理选择焊接参数,尤其是焊接电压和气体流量的控制。采用稳定的保护气体,如纯 CO₂ 或混合气体,并严格控制气体的流量和湿度,可以显著减少气孔的形成。焊接速度对焊缝内部气孔率和夹渣率的影响如表 2 所示。

表 2 焊接速度对焊缝内部气孔率和夹渣率的影响

焊接速度 (cm/min)	气孔率 (%)	夹渣率 (%)
10	2	1.5
12	1.5	1
14	1	0.8
16	0.8	0.6
18	1.2	0.9

5 焊接工艺参数的优化设计

5.1 基于实验数据的参数优化方法

收集和分析不同工艺参数的数据,可以确定焊接电流、电压、焊接速度和保护气体流量等对焊缝成形、力学性能及缺陷产生的影响。为实现有效优化,需设计合理的实验方案,确保参数调整范围涵盖可能的最佳值。以焊接电流为例,逐步调整电流大小,记录相应的熔深和焊缝强度,采用统计方法对数据进行回归分析,确定各参数对焊接质量的影响程度。不同材料和厚度对参数的敏感性各异,低碳钢电流在 180~220A 时能保证理想熔深,铝合金则需降低电流以避免过热。

5.2 参数优化对焊接质量的提升效果与应用案例

优化焊接参数后,内部气孔、夹渣和裂纹等缺陷的发生率显著降低。焊接电流和电压的合理控制,使熔深和宽度符合设计要求,避免了过多热输入引发的晶粒粗化和应力集中。焊接速度的调整使熔池的冷却速度保持在合适范围,焊缝金属结晶均匀,减少了裂纹的生成。

在汽车制造中,优化后的焊接参数提升了车身焊缝的强度和抗冲击性能,减少了气孔和裂纹,保证了焊接质量的一致性。在石油管道的焊接中,工艺优化增强了焊缝的耐腐蚀性能和疲劳寿命,延长了管道的使用周期。船舶制造行业中的焊接工艺优化则显著提高了抗疲劳性能,减少了裂纹引发的结构失效风险。

6 结语

论文探讨了焊接工艺参数对焊接接头质量的影响,并提出了优化设计的思路。合理调整焊接电流、电压、焊接速度和保护气体流量等关键参数,可以有效提升焊缝的成形质量,增强接头的力学性能,减少焊接缺陷的发生。优化后的参数组合在汽车制造、船舶工程、石油管道等多个行业中展现出显著的应用效果,提升了生产效率,降低了返工率和材料浪费,具有广泛的应用价值。

参考文献

- [1] 黄怡洁,高向东,林少铎.激光焊接参数对有机玻璃与不锈钢接头力学性能的影响[J].中国激光,2017,44(12):95-102.
- [2] 王金舟.浅析焊接工艺参数对焊接缺陷影响[J].南方农机,2019,50(9):135.
- [3] 田慎显.焊接工艺参数的正确使用与防止焊接缺陷分析[J].农机使用与维修,2011(6):57-58.