

电弧复合焊接工艺参数优化及接头性能研究

孙军

常州德尔松压力容器有限公司 江苏常州

【摘要】电弧复合焊接技术在制造业中具有广泛应用，尤其是在复杂材料的连接中。本文探讨了电弧复合焊接工艺参数的优化方法，并研究了不同工艺条件对接头性能的影响。通过实验分析，确定了最优焊接参数组合，显著提高了焊接接头的力学性能和耐腐蚀性。焊接电流、焊接速度、保护气体流量等因素在一定范围内对接头的机械性能有重要影响。优化后的工艺不仅提高了生产效率，还确保了接头质量，满足了工业生产的高标准要求。

【关键词】电弧复合焊接；工艺参数；接头性能；优化；力学性能

【收稿日期】2025年7月16日 **【出刊日期】**2025年8月15日 **【DOI】**10.12208/j.jer.20250387

Study on optimization of arc composite welding process parameters and joint properties

Jun Sun

Changzhou dersson pressure vessel Co., Ltd. Changzhou, Jiangsu

【Abstract】 Arc composite welding technology has been widely applied in manufacturing, especially in joining complex materials. This paper investigates optimization methods for arc composite welding process parameters and studies the influence of different process conditions on joint properties. Through experimental analysis, an optimal combination of welding parameters was determined, significantly improving the mechanical properties and corrosion resistance of the welded joints. Factors such as welding current, welding speed, and shielding gas flow rate have significant effects on the mechanical properties of the joints within certain ranges. The optimized process not only enhances production efficiency but also ensures joint quality, meeting the high standards required in industrial production.

【Keywords】 Arc composite welding; Process parameters; Joint properties; Optimization; Mechanical properties

引言

电弧复合焊接技术作为一种先进的焊接方法，因其能够在较短时间内实现高质量的焊接接头而被广泛应用于航空航天、船舶制造以及高端设备等领域。然而，由于其工艺参数复杂，焊接质量受多个因素影响，因此在实际应用中常面临接头性能不稳定的问题。如何优化焊接工艺参数，提高接头的力学性能和可靠性，成为亟待解决的关键技术问题。本研究通过实验手段，探讨了电弧复合焊接过程中的关键参数对接头性能的影响，并提出了一种基于实验数据的优化方案，为进一步提升焊接质量提供了理论支持和实践指导。

1 电弧复合焊接工艺的基本原理与特点

电弧复合焊接工艺是一种结合了不同焊接技术优势的先进焊接方法，通过将多种焊接工艺相结合，以提高焊接质量和生产效率。该工艺的核心是通过电弧作为热源，将基材和焊接材料熔化并在固化过程中形成牢固的接头^[1]。不同于传统的单一焊接技术，电弧复

焊接利用了多种焊接方式的协同作用，在提高焊接质量的可以有效控制接头的形态、结构和力学性能，适用于复杂材料和薄壁结构的连接。电弧复合焊接工艺的特点在于它能通过调整工艺参数的变化，优化接头的微观结构，从而提升接头的强度和耐腐蚀性。

该工艺常见的类型包括气体保护焊、埋弧焊和激光焊接等，每种焊接方式都有其独特的优势，适用于不同的应用场景。气体保护焊具有良好的焊接美观性和较高的工艺灵活性，广泛应用于结构构件的焊接；而埋弧焊则适合大厚度钢板的焊接，能够提高焊接效率和接头质量。激光焊接作为一种高能束焊接技术，能够在较高的精度下完成焊接任务，并在接头的热影响区控制方面具有显著优势。通过电弧复合焊接，可以在保持高效生产的兼顾焊接质量和结构性能，解决单一工艺难以满足的需求。

尽管电弧复合焊接工艺具有众多优势，但在实际应用过程中，其工艺参数的优化仍是一个复杂的过程。

工艺参数如电流、电压、焊接速度、焊接角度和保护气体流量等，都对接头的力学性能和焊接质量有着重要影响。对这些参数的优化调整是提升电弧复合焊接技术应用效果的关键^[2]。研究人员通过多种实验方法对焊接参数的影响进行分析，旨在实现焊接接头性能的全面提升，确保焊接接头在实际应用中的稳定性和可靠性。优化后的工艺不仅能够提高生产效率，还能够减少焊接过程中的瑕疵，从而降低材料的浪费，节约成本。

2 焊接工艺参数对接头性能的影响分析

焊接工艺参数直接影响焊接接头的力学性能和结构稳定性，深入了解工艺参数对接头性能的影响，能够为优化焊接工艺提供科学依据。电弧复合焊接中，电流和电压是影响焊接质量的最重要因素之一。较大的焊接电流能够提供更强的热源，快速熔化焊接材料，但同时也可能导致焊接接头的热影响区扩大，进而影响接头的韧性和强度。另一方面，较小的电流则可能导致焊接接头的熔深不足，从而影响接头的融合质量和力学性能。合理选择焊接电流大小是实现高质量接头的关键。

焊接速度作为焊接过程中的关键工艺参数，对接头性能具有重要影响。较高的焊接速度可以有效缩短焊接时间，从而减少热输入，控制焊接过程中热影响区的扩展。这不仅有助于降低接头的残余应力，还能减小焊接接头的热变形，避免因过度加热而导致接头变形或失去原有强度。通过适当提高焊接速度，可以在提高生产效率的确实接头在热影响区的结构稳定性和力学性能。然而，过快的焊接速度会导致焊接金属熔池不足时间进行充分填充，产生焊接不饱满的问题，进而影响接头的密实性和力学性能，导致接头的强度和韧性下降。合理的焊接速度应根据材料的特性、厚度以及焊接环境进行优化调整^[3-6]。过低的焊接速度则可能造成过大的热影响区，使接头在冷却过程中产生应力集中，从而容易引发裂纹或其他焊接缺陷。焊接速度的选择需综合考虑材料特性、焊接环境以及接头的力学需求，确保焊接质量达到最佳状态。

保护气体的流量和种类对接头的质量也有显著影响。保护气体不仅能够保护焊接区域免受氧化，还能通过改善焊接气氛，控制焊接金属的冷却速度，进而影响焊接接头的性能。不同的气体成分和流量设置对焊接接头的抗氧化性、耐腐蚀性等性能有不同的影响。氩气通常用于提高焊接质量，而二氧化碳气体则在一定条件下可以提高焊接速度，但可能对焊接质量产生不利影响。合适的保护气体种类和流量对于实现高性能焊

接接头至关重要。

3 基于实验结果的工艺参数优化方案

通过对焊接工艺参数的详细分析，本文提出了一套基于实验结果的工艺参数优化方案。为了全面优化焊接接头的性能，实验过程中重点关注了电流、电压、焊接速度和保护气体流量等多个参数的配合，分别测试了不同的参数组合对接头性能的影响。焊接过程中，电流和电压的选择直接决定了焊接热源的强度和焊接接头的熔深，优化后的电流和电压组合在增强接头强度和韧性的有效避免了由于电流过大导致的热影响区过度扩展，进而防止了接头中出现裂纹或孔洞等质量缺陷^[7]。使用显微镜对焊接接头的显微结构进行观察，结合硬度计测试接头的硬度，实验验证了焊接接头在优化参数后的力学性能大幅提高。通过对比多种实验数据，最终得出了电流和电压的最佳工作范围。

焊接速度的优化也是提高接头性能的关键因素之一。实验发现，焊接速度的变化对接头的质量产生了显著影响。过快的焊接速度会导致焊接接头的填充不完全，甚至出现虚焊现象，而过慢的焊接速度则容易产生过多的热输入，使得焊接区域的热影响区扩大，可能导致接头变脆或产生不必要的应力集中的问题。实验结果表明，通过适当调整焊接速度，可以有效控制热影响区的范围，减少焊接接头中的残余应力，避免热裂纹的产生。增加焊接速度还可以提高生产效率，缩短工期。经过多次优化实验，确定了适用于不同焊接材料和不同厚度钢板的最佳焊接速度范围。这一优化方案不仅提升了接头的整体力学性能，还在实际生产中得到了验证，证明了其可行性和高效性。

保护气体流量的优化在提高焊接接头质量方面也起到了至关重要的作用。实验结果表明，适当的保护气体流量能够有效地保护焊接区域免受氧化和污染，保证焊接金属的纯净性，进而提高接头的质量。然而，过高的气体流量会造成气流的不稳定，可能引起焊接质量的不均匀性，甚至导致焊接接头表面形成气孔或其他缺陷。为了优化气体流量，实验采用了不同流量和气体成分的组合，重点考察了氩气、二氧化碳等保护气体在不同流量下的效果。实验结果表明，合理的气体流量能够显著提高焊接接头的抗腐蚀性和耐热性，增强其力学性能。最终，通过多次实验数据对比，确定了适合不同焊接材料和焊接环境的最佳保护气体流量和组合。这一优化方案在提高接头性能、延长使用寿命方面发挥了重要作用。

4 优化工艺对接头力学性能的提升效果

焊接工艺的改进显著提升了接头的力学性能。实验结果显示，焊接接头在抗拉强度和抗弯强度方面有了明显提高，这表明在焊接过程中所选用的参数有效地增强了接头的机械强度。接头的破坏方式也发生了变化，从原本的脆性断裂转变为韧性断裂，展现了更强的抗冲击能力和延展性。焊接接头的显微结构也发生了优化，晶粒尺寸进一步细化，使得金属的晶格排列更加均匀。这一变化有助于提高材料的整体强度和韧性，同时也增强了接头与母材之间的结合力，从而大大减少了焊接缺陷，如气孔、夹渣等常见问题。

在极端温度条件下，焊接接头的性能稳定性得到大幅度提升。高温和低温环境下，接头的力学性能保持良好，显示出更强的适应性和可靠性。腐蚀性能测试表明，改进后的接头在腐蚀性环境中的表现远优于传统焊接工艺^[8]。优化后的接头显示出更高的耐蚀性，有效防止了氧化和腐蚀的发生，极大延长了焊接件的使用寿命。接头的疲劳寿命得到了显著提升，尤其在高频载荷作用下，优化后的焊接接头表现出较长的使用周期，能够有效减少因疲劳引起的失效，确保了焊接接头的长期可靠性。

与传统焊接工艺相比，改进后的电弧复合焊接工艺显著提升了接头的综合性能，尤其是在质量稳定性和耐用性方面。焊接过程中的效率也得到了提高，不仅缩短了生产周期，还增强了接头的承载能力和耐久性。在实际应用中，这一改进工艺能够满足更高标准的生产要求，提升了焊接接头的可靠性，使得焊接工艺在复杂和严苛的工作环境中得到更广泛的应用。改进后的焊接工艺为工业生产提供了更加坚固可靠的技术保障，确保了焊接接头在长期使用过程中具有更好的综合性能和更长的使用寿命。

5 结语

通过本研究对电弧复合焊接工艺参数的优化分析，得出了一套科学、可行的工艺优化方案。实验结果表明，合理调整焊接电流、电压、焊接速度和保护气体流量，

可以显著提高焊接接头的力学性能和稳定性，减少焊接缺陷，延长接头的使用寿命。尤其在高温、低温及腐蚀环境下，优化后的焊接工艺展现了更强的抗氧化性、耐腐蚀性及疲劳性能，为工业生产中的高标准焊接需求提供了有效的解决方案。未来的研究应进一步探索更多复杂材料的焊接工艺，提升焊接技术的广泛应用价值。

参考文献

- [1] 蔡得涛,罗子艺,张屹,等. 工艺参数对钛合金激光 - 等离子电弧同轴复合焊接的电弧电压的影响[J].航空制造技术,2025,68(09):38-46.
- [2] 赫文虎,张鸿昌,李一楠,等. 工艺参数对 KTIG-MIG 复合焊电弧形态和焊缝成形的影响[J].焊接,2025,(02):1-7.
- [3] 于宸乾.纯铜扫描激光-电弧复合焊接工艺特性研究[D].华中科技大学,2024.
- [4] 黄辉.振镜激光-MIG 电弧复合焊接 5083 铝合金工艺研究[D].重庆理工大学,2024.
- [5] 张臣,胡佩佩. 电弧状态对铝合金激光 - 电弧复合焊接工艺过程稳定性的影响[J].航空制造技术,2023,66(13):53-59.
- [6] 崔卫杰.船用钢激光-MAG 电弧复合焊接工艺及接头落锤冲击性能研究[D].江苏科技大学,2023.
- [7] 余杰,蔡创,谢佳,等. 基于响应面法的低碳贝氏体钢激光 - 电弧复合焊接工艺参数优化[J].中国激光,2022, 49(16): 179-188.
- [8] 吴寿桥.激光锻造电弧复合焊接修复 H13 模具钢的组织及性能研究[D].广东工业大学,2022.

版权声明：©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

