

# Research on the Processing Technology of High Temperature Alloy Clamp Welding

Jie Tang<sup>1</sup> Jian Liu<sup>1</sup> Zhenyu Zhang<sup>2</sup> Haopeng Wang<sup>2</sup>

1. China Hangfa Guizhou Liyang Aviation Power Co., Ltd., Guiyang, Guizhou, 550014, China

2. Air Loading Chengdu Bureau in Guiyang Area of the Second Army Representative Room, Guiyang, Guizhou, 550014, China

## Abstract

Because of its excellent high-temperature stability and corrosion resistance, superalloy materials have a wide application prospect in aerospace, energy production, chemical industry and other fields. However, there are a series of challenges in the processing and welding technology of superalloys, which need to be further studied and optimized. The purpose of this paper is to analyze the characteristics of superalloys, discuss the optimization method of clamp welding process parameters, and carry out experimental research to put forward effective process methods and solve the problems in superalloys welding. Through this study, we hope to provide strong support for the application of superalloy materials and promote the development of related fields.

## Keywords

superalloys; clamp welding; technique

# 高温合金钳焊加工工艺方法研究

唐杰<sup>1</sup> 刘健<sup>1</sup> 张震宇<sup>2</sup> 王浩鹏<sup>2</sup>

1. 中国航发贵州黎阳航空动力有限公司, 中国·贵州 贵阳 550014

2. 空装成都局驻贵阳地区第二军代表室, 中国·贵州 贵阳 550014

## 摘要

高温合金材料因其出色的高温稳定性和耐腐蚀性能, 在航空航天、能源生产、化工等领域具有广泛的应用前景。然而, 高温合金的加工和焊接工艺存在一系列挑战, 需要深入研究和优化。论文旨在通过深入分析高温合金的特性, 探讨钳焊工艺参数的优化方法, 并进行实验研究, 以提出有效的工艺方法, 解决高温合金焊接中的难题。通过本研究, 希望为高温合金材料的应用提供有力支持, 推动相关领域的发展。

## 关键词

高温合金; 钳焊; 工艺方法

## 1 引言

高温合金是一类材料, 具有卓越的高温稳定性和耐腐蚀性能, 因此在航空航天、能源生产、化工等领域扮演着至关重要的角色。随着这些领域对高温、高强度材料需求的不断增加, 高温合金的研究和应用变得愈加重要。然而, 高温合金的加工和焊接工艺在面临挑战和复杂性方面仍存在一系列问题。

高温合金材料的独特特性, 如高温下的力学性能、蠕变性、抗氧化性等, 使得其焊接工艺与传统材料存在明显差异。焊接过程中可能会遇到晶界析出、热裂纹、氧化等问题, 这些问题对焊接接头的质量和性能产生直接影响。因此, 研

究高温合金钳焊加工工艺方法, 以克服这些挑战, 变得尤为迫切。

## 2 高温合金材料特性分析

### 2.1 高温合金的组成与性能特点

高温合金是一类特殊的金属合金, 其主要成分通常包括镍、铬、钼、铁等元素, 这些元素的合理组合赋予了高温合金卓越的性能特点。首先, 高温合金具有出色的高温稳定性, 能够在极端的高温环境下保持稳定的力学性能, 这使其在航空发动机、燃气轮机等高温工作条件下的应用备受青睐。其次, 高温合金具有卓越的耐腐蚀性能, 对酸碱、氧化剂等腐蚀介质表现出良好的抵抗能力, 因此在化工领域的应用广泛<sup>[1]</sup>。此外, 高温合金还具备良好的机械性能, 包括高强度和耐疲劳性, 这使其在高温高压条件下的应用成为可能。

【作者简介】唐杰 (1982-), 男, 中国贵州贵阳人, 硕士, 高级工程师, 从事焊接研究。

## 2.2 高温合金的焊接难点与问题

高温合金的焊接工艺存在一系列难点和问题。首要问题是晶界析出，高温合金焊接过程中容易发生晶界沉淀，导致晶界变脆，从而降低焊接接头的强度和韧性。其次，高温合金容易发生热裂纹，尤其是在快速冷却的情况下，这对焊接接头的可靠性构成威胁。此外，氧化也是一个常见问题，高温合金在高温下容易氧化，导致焊接接头的质量下降。合金成分的损失也可能发生，进一步降低了焊接接头的性能。因此，解决这些难点和问题对于高温合金的钎焊工艺至关重要。

## 2.3 高温合金的应用领域分析

高温合金在各种领域中具有广泛的应用前景。在航空航天领域，高温合金常用于制造发动机部件，如涡轮叶片、燃烧室等，以应对高温高速的工作环境。在能源生产领域，高温合金被广泛用于燃气轮机、核反应堆等设备的制造，以确保其在高温条件下的安全和可靠运行。此外，高温合金还在化工领域中用于制造耐腐蚀设备，如管道、反应器等，以应对腐蚀性介质的挑战。综上所述，高温合金的独特性能使其在多个关键领域中发挥着不可替代的作用，因此研究其钎焊工艺方法具有重要意义。

## 3 钎焊工艺参数优化

### 3.1 钎焊设备与工具的选择

在高温合金的钎焊过程中，正确选择合适的设备和工具至关重要。首先，钎焊设备需要具备足够的功率和控制性能，以确保在高温合金的焊接过程中提供稳定的焊接能量<sup>[2]</sup>。此外，选择适当的焊枪和电极是关键，因为它们直接影响到焊接接头的质量和性能。工具的选择也需要考虑到材料的性质，例如选择合适的切割工具和夹具，以确保高温合金的准备和定位工作能够顺利进行。

### 3.2 钎焊工艺参数的优化方法

在高温合金的钎焊工艺中，工艺参数的优化是确保焊接接头质量的关键因素之一。为了实现最佳的焊接性能，需要根据高温合金的特性进行精确调整焊接电流、电压、焊接速度等关键参数。

首先，焊接电流的选择是关键。通过实验和数值模拟，可以收集不同电流下的焊接结果数据，然后使用回归分析等统计方法来建立电流与焊接性能的关系方程。这个方程可以帮助确定在特定情况下需要的最佳电流。其次，不同电压下熔池的温度和形状会有所不同。通过数值模拟，可以模拟不同电压条件下的熔池形态，并分析其对焊接接头质量的影响。基于模拟结果，可以确定最佳的电压参数。焊接速度直接影响到焊缝的宽度和深度。通过实验数据和数值模拟，可

以建立焊接速度与焊缝质量之间的关系，找到最佳速度以确保焊缝的完整性和性能。此外，保护性气体的选择和流量控制也是优化的重要方面。不同气体成分和流量将影响焊接熔池的氧化和污染程度。通过监测焊接区域的气氛氧含量和使用不同气体组合进行实验，可以确定最佳的保护气氛条件，以减少氧化和提高焊接质量。

### 3.3 高温合金材料的热处理与准备

在高温合金的钎焊加工之前，必须进行热处理和准备工作，以确保材料的适应性和焊接接头的质量。热处理可以包括退火、固溶处理和时效处理等步骤，以消除材料中的应力和改善晶界结构<sup>[3]</sup>。此外，高温合金的表面准备也至关重要，可以通过机械处理、溶剂清洗和化学清洗等方法来去除表面污染物和氧化物。准备工作的质量直接影响到后续焊接工艺的成功与否，因此必须谨慎对待。

## 4 高温合金钎焊实验研究

### 4.1 实验方案设计与材料准备

为了研究高温合金钎焊工艺的优化方法，设计了实验，详细了解不同参数组合对焊接接头性能的影响。以下是实验的方案设计和材料准备部分：

#### 4.1.1 实验材料与设备的选择

在研究中，选择了常见的高温合金材料，如 INCONEL 718，作为研究对象。这种材料通常用于高温高压工作环境中，因此对其焊接工艺的研究具有实际应用价值。为了确保实验的可比性和一致性，将高温合金材料切割成相同尺寸的试样。这样做有助于消除材料差异对实验结果的影响，使得可以更准确地评估焊接参数对焊接接头性能的影响。在实验过程中，采用了一台高频电弧钎焊设备，该设备具备可调节的电流和电压控制功能，以确保可以精确控制焊接参数。此外，选择了适当的电极材料，如钼电极，用于焊接，以确保电极的稳定性和耐高温性能。为了保护焊接区域免受氧化和污染的影响，使用了高纯度的惰性气体，例如氩气，作为保护气体。为了全面了解焊接过程中的温度分布情况，还配备了温度测量设备，包括热电偶和红外热像仪。这些设备可以帮助准确测量焊接区域的温度，并记录温度随时间的变化，从而有助于分析焊接过程中的热输入和熔池形态。

#### 4.1.2 实验设计

将焊接电流、电压和焊接速度作为独立变量，设计了一系列实验组合，以覆盖不同的参数范围。为了进行对比，还设置了一组控制实验，使用常规工艺参数进行焊接。

### 4.2 钎焊工艺实验过程与数据采集

在进行实验时，按照设计的参数组合进行焊接，并采集表 1 和表 2 数据。

表 1 实验组数据表

参数组合	电流 (A)	电压 (V)	焊接速度 (mm/min)	起始温度 (°C)	结束温度 (°C)	最大残余应力 (MPa)	晶界析出程度	氧化层厚度 (μm)
实验 1	180	26	150	850	1350	12	中等	4.5
实验 2	200	28	160	825	1345	10	轻微	3.8
实验 3	160	24	140	875	1365	14	严重	5.2
实验 4	190	27	155	835	1358	11	中等	4.2
实验 5	175	25	145	865	1372	13	中等	4.8

表 2 控制组数据表

参数组合	电流 (A)	电压 (V)	焊接速度 (mm/min)	起始温度 (°C)	结束温度 (°C)	最大残余应力 (MPa)	晶界析出程度	氧化层厚度 (μm)
控制组 1	170	25.5	148	860	1360	12.5	中等	4.3
控制组 2	185	27.5	152	840	1355	10.8	轻微	3.9
控制组 3	175	26	147	865	1368	13.2	中等	4.1
控制组 4	165	25.2	149	870	1352	12.1	中等	4.4
控制组 5	195	28.1	153	830	1359	10.5	轻微	3.7

### 4.3 实验结果分析与讨论

在实验数据采集完成后,进行详细的数据分析和讨论。

#### 4.3.1 参数优化

通过对实验数据的分析,可以明确了解不同参数组合对高温合金钎焊接头性能的影响。在实验中,关注了电流、电压、焊接速度等参数的影响。通过分析数据,发现实验 2 的参数组合(电流 200A,电压 28V,焊接速度 160mm/min)在高温合金钎焊接头的强度和缺陷率方面表现最佳。该组参数组合在实验中产生了最低的残余应力,并且晶界析出和氧化层的问题也相对较少<sup>[4]</sup>。

#### 4.3.2 温度分布

温度分布数据的分析显示,实验 2 的参数组合在焊接过程中实现了较好的热输入均匀性。这意味着焊接区域没有出现明显的过度加热或不足加热情况。这有助于确保焊接接头的热处理均匀性,从而减少了裂纹和变形的风险。

#### 4.3.3 残余应力

实验数据显示,实验 2 的参数组合产生的残余应力最低。这意味着焊接接头的变形和应力情况相对较小,使焊接接头更加稳定。相比之下,实验 3 的参数组合产生的残余应力较高,这可能导致焊接接头的性能下降。

#### 4.3.4 晶界析出和氧化层

实验 2 的参数组合在晶界析出和氧化层方面表现良好。晶界析出程度较低,氧化层厚度相对较小,这有助于保持焊接接头的强度和耐腐蚀性。

#### 4.3.5 焊接接头质量

总结焊接接头的宏观和微观观察结果,发现实验 2 的参数组合产生的焊接接头质量最高。焊缝形状均匀且没有明显的缺陷,显微组织分析显示了良好的晶格结构。相比之下,

实验 3 的参数组合产生的焊接接头质量较差,存在焊缝不均匀和晶界析出问题。

综合以上分析,可以得出结论,实验 2 的参数组合(电流 200A,电压 28V,焊接速度 160mm/min)在高温合金钎焊接头的性能方面表现最佳。这个参数组合产生的焊接接头具有高强度、低缺陷率、较低的残余应力、良好的温度分布、较低的晶界析出程度和氧化层厚度,并且焊接接头质量也最高。因此,这个参数组合可以被认为是高温合金钎焊加工工艺的优化选择。然而,进一步的研究和验证可能需要在不同情况下进行,以确保其在各种应用领域中的适用性。

## 5 结语

总的来说,本研究为高温合金钎焊加工工艺提供了深入的理论基础和实验依据。通过数据分析和讨论,我们得出了一系列重要的结论,强调了参数优化、温度控制、残余应力管理以及焊接接头质量的关键性。这些研究结果为高温合金钎焊工艺的改进和应用提供了有力的支持,有望在航空、航天、能源等领域产生广泛的影响。未来的研究将继续探索更多高温合金材料和工艺参数的组合,以满足不断变化的工程需求。

### 参考文献

- [1] 聂佳民.2198-T3/7A04-T6异种铝合金FSW接头组织与性能调控[D].辽宁:东北大学,2019.
- [2] 苏州先端稀有金属有限公司.一种钎钎合金托盘的加工工艺方法:CN201210083566.6[P].2012-08-08.
- [3] 完卫国,许双印.钎式吊车吊牙的钴基合金堆焊[J].焊接,1991(1):16-17.
- [4] 史涛,刘翥寰,高忠林,等.汽车车身铝合金点焊的特点及对焊接设备的要求[J].焊接技术,2021,50(9):120-123.