

# TC4与1Cr18Ni9Ti的扩散焊接工艺研究

孙永胜

(江门市新会机电职业技术学校 广东 江门 529141)

**摘要:** 扩散焊接是一种常见的金属连接技术,具有高强度、高可靠性和节能环保等优点。TC4和1Cr18Ni9Ti是常见的两种金属材料,广泛应用于机械、航空等领域。本文对TC4与1Cr18Ni9Ti的扩散焊接工艺进行研究。首先主要介绍了TC4与1Cr18Ni9Ti的物理和化学特性等,然后探讨了扩散焊接工艺的优势和存在的不足之处,并提出改善方案。结论表明,通过技术改进,扩散焊接工艺可以更好地满足工业生产的需求。

**关键词:** TC4; 1Cr18Ni9Ti; 扩散焊接; 优势; 不足之处; 改善方案

## 1 物理和化学等特性比较

TC4是一种耐高温、高强度钛合金,被广泛应用于航空航天、汽车、医疗器械等领域。1Cr18Ni9Ti则是一种耐蚀性良好的不锈钢,常用于制作化工设备、压力容器、核电站设备等。关于TC4与1Cr18Ni9Ti的物理和化学等特性的详细介绍和比较如下。

### 1.1 物理特性

TC4的密度为 $4.43\text{g/cm}^3$ ,属于轻质材料,比钢的密度低约40%。1Cr18Ni9Ti的密度为 $7.93\text{g/cm}^3$ ,属于重质材料,比铝的密度高约3倍。TC4的熔点为 $1668\text{ }^\circ\text{C}$ ,比1Cr18Ni9Ti高出近 $200\text{ }^\circ\text{C}$ 。TC4和1Cr18Ni9Ti的线膨胀系数分别为 $8.6\times 10^{-6}\text{K}^{-1}$ 和 $16.5\times 10^{-6}\text{K}^{-1}$ 。TC4的热导率相对较低,为 $7.5\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ,而1Cr18Ni9Ti的热导率为 $16.3\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 。

### 1.2 化学特性

TC4主要成分为钛、铝、钒和铁等金属元素,其中钛元素含量占比较大。它具有优异的耐腐蚀性、耐磨性和高温稳定性,可以在液态氮、液态氧等极端环境下使用。1Cr18Ni9Ti则为18Cr-9Ni-Ti不锈钢,含铬量较高,具有优良的耐蚀性。它也具有一定的耐磨性和高温强度,但相对于TC4而言,1Cr18Ni9Ti的高温性能要逊色一些<sup>[1]</sup>。

### 1.3 成型加工特性

TC4是一种难以加工的材料,需要采用高速钨钢切削工具,并控制加工时产生的热量,以避免对材料结构造成影响。1Cr18Ni9Ti则相对容易加工,常见的加工方式包括冷拔、冷轧、模锻等。

### 1.4 耐久性

TC4是一种高强度材料,具有优异的疲劳寿命和低温韧性。1Cr18Ni9Ti也具有一定的疲劳寿命和韧性,但相对于高强度材料而言,耐久性会稍微逊色一些。

## 2 扩散焊接工艺的优势

TC4是一种钛合金,具有优异的强度、耐腐蚀性和耐热性。1Cr18Ni9Ti是一种不锈钢,具有良好的耐腐蚀性和高温强度。扩散焊接是一种金属加工技术,使得两种材料之间的化学键稳定,提高二者之间的界面结合力,从而实现材料的合并。TC4与1Cr18Ni9Ti的扩散焊接工艺的优势具体表现为高强度、耐腐蚀性、耐高温性、成本低。

### 2.1 高强度

TC4和1Cr18Ni9Ti具有各自独特的优点,TC4具备较强的强度和硬度,而1Cr18Ni9Ti则表现出卓越的韧性和高温强度。为实现高强度的结合,人们通过扩散焊接这种技术,成功地将这两种材料结合在一起,从而形成了一种硬度高、强度强的金属材料。

扩散焊接技术具有较小的焊接热影响区域,能够有效减少材料的变形,因此该方法不仅可以两种材料结合,同时也能够维持材料的机械性能,确保材料的高质量稳定性。该技术的应用并不局限于以上两种材料的结合,还可以广泛应用于其他材料的焊接和结合,因此具有很大的发展潜力和应用前景。扩散焊接技术正在成为一种技术热点,并有望在未来的材料加工领域中发挥更大的作用<sup>[2]</sup>。

### 2.2 耐腐蚀性

TC4合金和1Cr18Ni9Ti这两种材料不仅在机械

性能上存在明显差异,而且它们的耐腐蚀性也存在差异。通过扩散焊接技术可以实现两种材料之间化学键的稳定,从而显著提高二者的界面结合力。这种技术的应用可以有效地提高合并材料的耐腐蚀性能,使其可以在恶劣的环境下应用。

### 2.3 耐高温性

TC4和1Cr18Ni9Ti都属于高温材料,它们具有良好的高温强度和耐腐蚀性能。然而,在实际生产中,两种材料的化学成分和物理性质存在较大差异,因此往往难以直接焊接起来,从而限制了它们的运用。而扩散焊接则是一种能够有效将两种材料合并成一体的技术,通过将二者加热至足够高的温度,在受热和压力的作用下,二者原子间的扩散作用得以发生,形成了一层结构致密、性能均匀的扩散层<sup>[3]</sup>。

扩散层的形成,不仅可以满足高温环境下的需求,而且还能够提高其在腐蚀介质中的耐腐蚀性能,从而增强其使用寿命和安全性。此外,扩散焊接还可以使得焊接过程中产生的变形量大大降低,从而减少焊接变形。

### 2.4 成本低

扩散焊接技术相较于传统的大气保护焊接等技术,操作上更加便捷简单,且对设备的技术要求也相对较低,从而使得生产成本有所降低。传统的大气保护焊接需要设备实施保护,而扩散焊接不需要这一条件,只需要在短时间内将连接部件加热至足够高的温度,然后通过压力实现连接,因此操作上更加简单易行。相比之下,大气保护焊接技术需要使用特定的设备才能保证连接部件不受空气带来的氧化影响,增加了设备经费的开销。

此外,扩散焊接后的材料具有卓越的性能表现,因此能够更有效地降低维护成本。扩散焊接后的材料性能表现相对于传统焊接技术更佳,它能够更有效地防止接合部位的裂纹、变形等问题,大幅降低使用过程中维护的成本,使得整体使用寿命得到了更为充分而完善的保证<sup>[4]</sup>。

## 3 扩散焊接工艺存在的不足之处

TC4是一种具有优秀综合性能的高强度、耐腐蚀的钛合金,而1Cr18Ni9Ti是一种具有良好耐腐蚀性和抗氧化性的不锈钢,两者的组合可以产生更优异的性能。两种材料的物理化学性质不同,因此它们的焊接工艺存在一些不足之处。

### 3.1 难以达到高强度焊缝

在焊接钛合金时,会存在一些问题。一方面,TC4和1Cr18Ni9Ti的熔点和热膨胀系数不同,因此焊接时可能会出现显微裂纹,这对焊缝质量和强度都会带来不利的影响。而另一方面,钛合金的可塑性较差,焊接时易出现挤压变形,进而导致焊缝强度下降,难以达到期望的高强度效果。总体而言,焊接钛合金是一个具有挑战性的任务。

### 3.2 易产生热裂纹

在进行钛合金和不锈钢的焊接时,两者的热膨胀系数存在不一致,因此在加热和冷却的过程中,极易造成应力集中和应力差,从而导致热裂纹的产生。同时,钛合金的热导率较低,导热性能也较差,难以有效地散热,这会导致焊接温度难以准确控制,增加了产生热裂纹的风险。

### 3.3 焊接后易产生电化学腐蚀

焊接钛合金和不锈钢时,它们之间的电位差异可能导致电化学腐蚀的发生,从而加速金属的腐蚀和损坏。产生这种现象的原因是钛合金和不锈钢之间的电化学反应。这种反应会导致材料中的阳极、阴极作为金属电极进行电流的流动,从而引起钢材腐蚀。

## 4 扩散焊接工艺的改善方案

随着无缝钢管的广泛应用,很多制造企业在在使用焊接技术时,会遇到不同的难题。其中,TC4与1Cr18Ni9Ti之间的扩散焊接,两种材料化学成分不同,因此扩散焊接存在一定的难度。针对这一问题,提出了4点改善方案。

### 4.1 预处理材料表面

进行TC4和1Cr18Ni9Ti两种材料的扩散焊接时,保证预处理材料表面的干净是至关重要的。为此,需要采取多种措施来保证焊接的质量,并确保制品在高温和高压的工况下运行的稳定性。首先,要保证材料表面的干净。在进行扩散焊接时,杂质和污染物会阻碍焊接过程中金属的相互扩散,从而对焊接接头产生负面影响。因此,在进行焊接前,必须对材料表面进行彻底的清洁,以去除任何杂质或污染物,可以采用各种清洗方法,如酸洗、碱洗或电解除清洗等,以确保表面干净和无任何污染。

其次,高温处理是提高材料稳定性的关键。在正式焊接之前,将材料表面暴露在高温环境下,有

助于提高它们的表面活性和稳定性。高温处理可以使氧化物等表面污染物被清除,从而提高表面活性,有利于焊接的进行。在高温下处理,也会进行一些物理和化学变化,比如形成致密的氧化层,从而增强金属的抗腐蚀性能。除了在焊接前对表面进行处理,还需要在焊接过程中采取一些措施来确保焊接的质量和稳定性。例如,在焊接时要控制焊接的温度和时间,以确保金属扩散彻底和均匀;还要注重保护气氛的控制,以减少氧化等不利因素的干扰<sup>[5]</sup>。

#### 4.2 使用适当的焊接技术

扩散焊接是一种常用的金属材料连接方法,它通过在材料表面产生扩散层,使得材料表面分子结构紧密连接,从而实现材料的结合。除了需要预处理材料表面外,焊接技术的选择也非常重要。选择合适的焊接技术,不仅可以实现焊接过程中热量均匀分布和温度控制精准,还可以减小热变形和应力集中等问题,同时保证焊缝的质量和稳定性。在TC4和1Cr18Ni9Ti两种材料焊接时,经常使用电子束焊接、激光焊接和等离子焊接等多种焊接技术<sup>[6]</sup>。

##### 4.2.1 电子束焊接技术

电子束焊接技术是一种将高能量电子聚集在一起的方法,产生高密度热源,从而能够实现高速、高效和高精度的焊接。电子束焊接具有高功率密度、焊接速度快、热影响区小等优点。在TC4和1Cr18Ni9Ti两种材料焊接时,电子束焊接技术可以有效地实现热量均匀分布和温度控制精准,减少热变形和应力集中等问题。

##### 4.2.2 激光焊接技术

激光焊接技术是一种具有高密度热源的热加工方法。激光束经过聚焦,可在材料表面产生高密度热源,从而实现局部熔化和结合。在TC4和1Cr18Ni9Ti两种材料焊接时,激光焊接技术具有焊接速度快、热影响区小和热变形小等优点。此外,激光焊接还可以对焊缝进行精细化控制,从而实现更高质量和稳定性的焊缝质量。

##### 4.2.3 等离子焊接技术

等离子焊接技术是一种使用高能离子束进行热加工的方法。等离子束可以在材料表面产生高密度热源,在材料表面形成特定的化学反应和物理变化,从而实现材料的结合。在TC4和1Cr18Ni9Ti两种材料焊接时,等离子焊接技术可以实现热量均匀分布和温度控制精准,减小热变形和应力集中等问题。此外,

等离子焊接还可以实现对焊缝的细节控制,提高焊缝质量和稳定性。

综上所述,电子束焊接、激光焊接和等离子焊接等各有优缺点,需要根据具体情况进行适当选择。只有实现热量均匀、温度控制精准,才能有效减小热变形和应力集中等问题,同时保证焊缝的质量和稳定性。

#### 4.3 调整焊接参数

扩散焊接所需的焊接参数控制是至关重要的。在实践中,焊接参数包括电流、电压、焊接速度、预热温度和局部回火等,其对焊接过程和焊接结果会产生多方面的影响。在扩散焊接中,不同的焊接参数对焊接质量和焊接效果产生的影响是不同的。例如,电流和电压的提高可以促进扩散反应的进行,提高焊接能量密度,从而加快焊接速度;但过高的电流和电压会导致电磁辐射加剧和过热形成,从而破坏了金属的组织结构和机械性能。因此,在控制焊接参数时要遵循“高电流/电压+快速焊接”原则。

另外,预热温度的控制也是一个十分重要的环节。实践表明,良好的预热可以提高金属的韧性和延展性,提高金属表面的清洁度和氧化膜的光亮度,从而使焊接更加平稳和稳定。在熔化区的局部回火也是需要控制的关键因素。如果使用过高的焊接参数进行扩散焊接,会导致熔化区域内金属晶粒迅速长大,局部回火度升高,影响焊缝的质量和稳定性。此时,应该适当降低焊接参数,控制好局部回火的程度,从而保证焊缝的质量、均匀和稳定<sup>[7]</sup>。

此外,控制焊接参数所需的精度和精确性也是需要考的一个问题。焊接参数的变化会对焊接过程和焊接结果产生影响,因此,需要对所有参数进行严密的控制和监测。在焊接过程中,焊接工人应对各项参数进行不断的检测和调整,以确保焊接质量的稳定性和连续性。这可以通过采用现代化的无损检测仪器来实现。

最后,扩散焊接需要根据实际需求调整各项参数,以达到最佳的焊接效果。每个焊接工作都应该有一个特定的目标和标准,因此,焊接参数的选择和调整需要根据具体的焊接任务来进行。这需要焊接工人具备扎实的理论知识和丰富的实践经验。

#### 4.4 焊接前进行实验研究

通过焊接前的实验研究,可以验证和完善所选的焊接技术和参数。一些测量和试验的样品可以被选

出来,数据收集和分析可以进行,并且可以对实验结果进行修改和优化。这种方法将有助于更好地理解焊接过程中的物理机制和化学反应,并提供可以用来改善焊接性能的有用信息。

然而,仅仅依靠实验室的测试是不够的。焊接实际生产过程中,焊接技术和参数可能会面临许多挑战,比如不同的材料、不同的环境等。因此,需要在焊接实际生产的过程中进行小规模实验或修正,以提高焊接质量和稳定性。在实际生产中,可以使用焊接质量检测技术来确保焊接的可靠性和质量。焊接接头和焊缝可以进行缺陷检测和瑕疵成像,以确定是否存在合适的焊接接合。焊接实例可以进行快速瑕疵检测,以便快速发现和处理任何质量问题。通过使用这些技术,可以在减少焊接缺陷和质量问题的同时,提高焊接的生产效率。

## 5 结语

本文通过深入研究 TC4 与 1Cr18Ni9Ti 的物理和化学特性以及扩散焊接技术的优势和不足之处,提出了改善焊接质量的措施,这对于促进扩散焊接技术的应用和推广具有重要意义。研究钛合金与不锈钢异种金属的焊接,对于合理、充分、高效地利用钛合金材料具有重要意义,同时为综合发挥两种合金各自优良的性能,提高相关产品的适用性开辟了

一条新的途径。

## 参考文献:

- [1] 陈一帆,张占领,邱然锋.不同扩散焊工艺下以钼+铜为复合中间层的钛合金/不锈钢接头性能[J].机械工程材料,2022,46(06):36-43.
- [2] 李鹏,李京龙,熊江涛,等.添加Ni+Nb中间层的钛合金与不锈钢扩散焊工艺研究[J].航空材料学报,2011,31(03):46-51.
- [3] 齐增星,梁铖,吴同一,等.TC4自锁螺母三点收口成型工艺有限元仿真研究[J/OL].机械科学与技术:1-7[2023-04-06].DOI:10.13433/j.cnki.1003-8728.20230118.html.
- [4] 张秋峰.TC4钛合金与1Cr18Ni9Ti不锈钢的扩散焊接工艺研究[D].南京:南京航空航天大学,2008.
- [5] 王骅,王鹞,戚文,等.3d打印TC4牙种植体机械学性能的评价[J].安徽理工大学学报(自然科学版),2022,42(01):99-102.
- [6] 段卫东,吕早生,钟冬望,等.铜和铝作为钛-钢爆炸焊接夹层时的复合工艺及焊接界面的实验研究[J].爆破器材,2001,30(01):27-31.
- [7] 周荣林,郭德伦,张银根.相变扩散连接工艺参数对钛与不锈钢接头强度的影响[J].中国有色金属学报,2002,12(04):663-667.

